



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA**

JAIM JOSÉ DA SILVA JUNIOR

**DESTRUIÇÃO CRIATIVA E PROGRESSO TÉCNICO
AGRÍCOLA: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS
DOS INOCULANTES NA CULTURA DA SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
AO INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
CIÊNCIAS ECONÔMICAS.

PROF. DR. JOSÉ MARIA FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA – ORIENTADOR

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA POR JAIM JOSÉ DA SILVA
JUNIOR E ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ MARIA
FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jms", is written over a horizontal line.

CAMPINAS, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
Maria Teodora Buoro Albertini – CRB8/2142 –
CEDOC/INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP

Si38d	<p>Silva Junior, Jaim José da, 1983- Destruição criativa e progresso técnico agrícola: avaliação dos impactos econômicos dos inoculantes na cultura de soja/ Jaim José da Silva Junior. – Campinas, SP: [s.n.], 2012.</p> <p>Orientador: José Maria Ferreira Jardim da Silveira. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. 1. Destruição criativa. 2. Inovações tecnológicas. 3. Biofertilizantes. 4. Fertilizantes nitrogenados. 5. Relações intersetoriais. I. Silveira, José Maria Ferreira Jardim da, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.</p> <p>12-014-BIE</p>
-------	--

Informações para Biblioteca Digital

Título em Inglês: Creative destruction agricultural and technical progress: assessing the economic impacts of inoculants in soybean

Palavras-chave em inglês:

Creative destruction

Technological innovations

Biofertilizers

Nitrogen fertilizers

Input-output analysis

Área de Concentração: Ciências econômicas

Titulação: Mestre em Ciências Econômicas

Banca examinadora:

José Maria Ferreira Jardim da Silveira

Marcelo Pereira da Cunha

Isaias de Carvalho Borges

Data da defesa: 27-02-2012

Programa de Pós-Graduação: Ciências Econômicas

Dissertação de Mestrado

Aluno: JAIM JOSÉ DA SILVA JUNIOR

DESTRUIÇÃO CRIATIVA E PROGRESSO TÉCNICO AGRÍCOLA: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DOS INOCULANTES NA CULTURA DA SOJA

Defendida em 27/02/2012

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha
CTBE



Prof. Dr. Izaias de Carvalho Borges
PUCCAMP

*Aos meus pais,
Jaim e Ronilda.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Ao meu orientador Prof. José Maria, obrigado pelo apoio e pelo conhecimento adquirido durante o período de orientação. Ao Prof. Joaquim Guilhoto e a Marcelo Pereira Cunha, que colaboraram de forma decisiva com a parte empírica da dissertação. Marcelo e Izaías Borges tornaram minha defesa um debate interessante aos poucos espectadores presentes, obrigado. De certo as sugestões e os comentários que recebi na qualificação foram muito importantes, por isso sou grato aos Profs. Paulo Fracalanza e Rodrigo Lanna. Agradeço também aos professores das disciplinas que cursei no mestrado pelas aulas enriquecedoras, em especial a Antônio Márcio Buainain, Ademar Romeiro, Mariano Laplane, Célio Hiratuka, Fernando Sarti, Ricardo Carneiro e Rosângela Ballini. Muito obrigado a Mariangela Hungria e toda a equipe da Embrapa Soja pela recepção em Londrina e todos os ensinamentos sobre os microrganismos de importância agrícola.

Há pouco tempo escutei que cada ano vivido em uma república equivale a dez anos em uma casa não-república. Por todo este longo período de convivência e momentos inesquecíveis agradeço aos amigos Fernando D'Angelo, Pedro Rossi, Bruno Conti, Juan Ernesto, Diego Barbosa, Adrián, Rodrigo Orair e Vitarque Coelho. Ao amigo Marco Antônio pela companhia em nossa casa-república, camarada desde a UFRJ, muito obrigado. Aos amigos da turma de mestrado, Henrique Braga, Daniela Alfredo, Eduardo Azevedo, Caio Seconelo, Igor Lopes, Roberto Borghi, Guilherme Magacho, Humberto Bettini, Leonardo Flauzino, Humberto Lima, Elia Cia, Mariana Peralva e Debora Modolo, foi ótimo conviver com vocês! Agradeço também aos amigos do Núcleo de Economia Agrícola e do Meio Ambiente da UNICAMP, Caroline Nascimento, Paulo Ricardo, Bruno Miyamoto, e Josilene Ramos.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento que tive a oportunidade de receber. O principal objetivo deste trabalho foi, com certeza, contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. Por fim, agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e a felicidade de sempre.

RESUMO

O objetivo geral deste estudo é discutir a inserção da biotecnologia moderna no sistema de produção agrícola, com foco na nutrição vegetal. Nas lavouras brasileiras de soja, a tecnologia da inoculação é capaz de suprir toda a demanda das plantas por nitrogênio através da fixação biológica do nutriente. Com isso, o uso dos inoculantes permite a substituição integral dos fertilizantes nitrogenados no cultivo da soja no Brasil e constitui um processo de destruição criativa. Com intuito de avaliar de forma empírica o impacto econômico deste processo é desenvolvido um modelo insumo produto a partir da matriz insumo produto da economia brasileira do ano de 2006. Apesar da fixação biológica de nitrogênio, o uso dos inoculantes resulta também no enriquecimento da matéria orgânica do solo, em melhorias no padrão de germinação das sementes, em maior adsorção de nutrientes e no controle de estresses hídricos e térmicos do solo. Em conjunto, tais fatores possibilitam a prática de atividades agrícolas mais sustentáveis, sem comprometer o nível de produção. Porém, não são capazes de impulsionar a difusão dos inoculantes. A incorporação destes benefícios proporcionados pela inoculação ao sistema agrícola requer a construção de mecanismos de avaliação dos impactos dos inoculantes que extrapolem o âmbito dos mecanismos de mercado. Para isso, com base nas abordagens sistêmicas da inovação, este trabalho propõe ações que visam o fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes. Em linha com os objetivos deste estudo, a institucionalização de políticas de incentivo à difusão da inoculação constitui uma “porta de saída” para os esforços das organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento agrícola e, aumentam as possibilidades de inovação em demais produtos biotecnológicos via o acúmulo de conhecimento nesta área.

Palavras-Chave: Destruição criativa, trajetória tecnológica ampliada, inoculantes, fertilizantes nitrogenados, matriz insumo-produto.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to discuss the insertion of modern biotechnology in the agriculture production system, in particular the plant nutrition. In the Brazilian soybean cultivation, the inoculation technology can supply all the nitrogen that plants need via the biological fixation of nutrients. Thus, the inoculation can replace all the nitrogen fertilizers in soybean production representing a process of creative destruction. Seeking to empirically assess the economic impact of this process, an input-output model using the data from input-output matrix for the Brazil economy in 2006, is developed. In spite of nitrogen biological fixation, the inoculation also results in soil organic matter enrichment, better patterns of seed germination, great nutrients absorption and control of soil hydric and temperature stresses. Jointly, these factors contribute for more sustainable agriculture practices, without decreasing the production output. However, they cannot boost the diffusion of inoculation technology. To agriculture benefit from the adoption of inoculation technology it is necessary to build an evaluation mechanism that goes beyond the market mechanisms. Based on the systemic approaches innovation, this thesis recommends policies for strengthening the inoculation technology trajectory. In accordance with the proposal of this study, the institutionalization of policies that incentive the diffusion of inoculation technology represent a “way” to transform the efforts of public Research and Development centers in new products and process for agriculture. Additionally, it also increases the chance of innovation for other biotechnology products and processes via the learning by doing process.

Key Words: Creative destruction, increased technological trajectory, inoculant, nitrogen fertilizers, input-output.

Lista de Ilustrações

Figuras

Figura 01: Cadeia produtiva da indústria de fertilizantes.....	32
Figura 02: Organização das firmas no mercado de fertilizantes.....	39
Figura 03: Estrutura da indústria brasileira de nitrogenados.....	42
Figura 04: Empresas ANPII- principais produtos.....	49
Figura 05: Estrutura da matriz insumo produto.....	58
Figura 06: Mapa de agregação da matriz insumo produto.....	63
Figura 07: Cenários do modelo.....	73
Figura 08: Modelo insumo produto.....	78
Figura 09: Resultados do modelo.....	79
Figura 10: Desagregação MIP 2006- Soja x Fertilizantes.....	80

Gráficos

Gráfico 01: Consumo mundial de nutrientes NPK- 2010.....	30
Gráfico 02: Importações de nutrientes NPK / consumo (%): principais países.....	31
Gráfico 03: Brasil 2010 – consumo x produção de nutrientes.....	31
Gráfico 04: Intensificação do uso de fertilizantes.....	37
Gráfico 05: Valor das exportações de soja em grão- países selecionados x total exportado.....	76
Gráfico 05: Quantidade de importação de soja em grão- países selecionados x total importado.....	76

Tabelas

Tabela 01: Relação dos elementos essenciais da nutrição vegetal.....	28
Tabela 03: Matriz insumo produto- Brasil 2006 – 5 setores.....	60

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I- DESTRUIÇÃO CRIATIVA E SISTEMA DE INOVAÇÕES	5
I.1.Destruição Criativa e Economia Evolucionária.....	6
I.2.Sistema de Inovações.....	11
I.3.Sistema de Inovação Agrícola	17
CAPÍTULO II- NUTRIÇÃO VEGETAL, FERTILIZANTES E INOCULANTES	26
II.1.Nutrição Vegetal	27
II.2.Fertilizantes	31
II.2.1.Fertilizantes Nitrogenados	39
II.3. Inoculantes	43
CAPÍTULO III- IMPACTOS ECONÔMICOS DOS INOCULANTES	54
III.1.O Modelo Teórico de Leontief.....	55
III.1.1.Organização dos Dados na Matriz Insumo Produto	61
III.2.Modelo Insumo Produto de Avaliação dos Impactos Econômicos dos Inoculantes.....	68
III.3. Avaliação dos Resultados.....	79
III.3.1.Fortalecimento da Trajetória Tecnológica dos Inoculantes.....	83
CONCLUSÃO	89
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXOS	
Anexo 01: Coeficiente de valor adicionado bruto, matriz 28 setores-2006.....	101
Anexo 02: Coeficiente de emprego, matriz 28 setores-2006.....	102
Anexo 03: Índice de sensibilidade de dispersão, matriz 57 setores-2006.....	103
Anexo 04: Índice de poder de dispersão, matriz 57 setores-2006.....	105

INTRODUÇÃO

A emergência da biotecnologia moderna marca o início de um novo estágio para a agricultura. No qual os avanços no campo da genética vegetal têm como efeito reduzir a dependência excessiva das inovações químicas e mecânicas, pilares da revolução verde. Embora a biotecnologia moderna seja um tema recente, sua contribuição ao sistema de produção agrícola já foi avaliada por uma gama de estudos dedicados à mensuração dos impactos econômicos, sociais e ambientais do uso de sementes transgênicas. Por outro lado, os impactos da difusão de biotecnologias agrícolas intermediárias permanecem desconhecidos. O *commom prior*¹ estabelecido para interações entre as análises econômicas da biotecnologia agrícola moderna permanece restrito ao ramo da transgenia.

O objetivo geral deste estudo é discutir a inserção da biotecnologia moderna no sistema de produção agrícola, com foco na nutrição vegetal. Nas lavouras brasileiras de soja, a tecnologia da inoculação é capaz de suprir toda a demanda das plantas por nitrogênio através da fixação biológica do nutriente. Com isso, o uso dos inoculantes permite a substituição integral dos fertilizantes nitrogenados no cultivo da soja no Brasil. Para além de simples deslocamentos ao longo da função de produção agrícola, a difusão dos inoculantes é interpretada como um processo de destruição criativa.

Conceito central da dinâmica capitalista schumpeteriana, a destruição criativa foi incorporada às novas teorias do crescimento econômico como fenômeno acelerador da depreciação de tecnologias antigas, e produtor de rendas monopolistas para os agentes inovadores. Em sentido mais amplo, o processo de destruição criativa compreende as formas de transmissão entre inovação e alterações na alocação de recursos, que sustentam o curso do desenvolvimento econômico e a elevação do padrão de vida. Contudo, a transposição do conceito de destruição criativa para o setor agrícola requer mediações que explicitem as especificidades que tornam o setor um tema não identificado por estudos no campo da economia industrial.

¹ Neste trabalho foi adotado o conceito proposto por Aoki (2007), que atribui ao *common prior* o papel de estrutura básica de conhecimento compartilhada entre todos os agentes envolvidos na atividade.

A atuação da natureza constitui força suficiente para moldar a organização das atividades produtivas na agricultura. Além disso, a evolução dos diversos sistemas biológicos nos quais o sistema de produção agrícola está inserido engendra transformações constantes na estrutura do setor. Com relação ao progresso tecnológico, um traço característico diz respeito ao modo de interação entre as tecnologias aplicadas no sistema de produção agrícola.

Nos setores industriais, a difusão de inovações produz mudanças tecnológicas nas atividades que interagem com o setor *locus* da inovação. No sistema de produção agrícola, para a difusão de inovações radicais é *imprescindível* a mudança tecnológica nas atividades que interagem com a tecnologia inovadora. Com relação ao fenômeno alvo deste estudo, a substituição dos fertilizantes nitrogenados pela tecnologia da inoculação implica mudanças nas atividades de análise da qualidade do solo, no modelo de comercialização dos insumos para a nutrição vegetal e nos insumos mecânicos utilizados na etapa de semeadura das lavouras.

O presente trabalho adota a hipótese de que o modo de interação entre as tecnologias empregadas na produção agrícola trata-se de um processo coevolutivo. De forma esquemática, para a interpretação do progresso tecnológico no sistema agrícola é proposto o conceito de trajetória tecnológica ampliada, definido como o conjunto de várias trajetórias tecnológicas que interagem num processo co-evolutivo. O exemplo da interação entre a difusão de cultivares mais produtivos de soja e as inovações na tecnologia da inoculação ilustra os argumentos desenvolvidos até aqui.

Com efeito, a tecnologia da inoculação caminha *pari passu* à difusão de cultivares superiores de soja, através da descoberta de produtos mais bem adaptados ao novo material genético, capazes de suprir toda a demanda por nitrogênio das plantas sem comprometer o nível de produção. Em comparação, na trajetória tecnológica do setor de fertilizantes nitrogenados, o fenômeno da difusão de cultivares superiores acarreta no incremento da quantidade de nutrientes depositados no solo. Fato que implica a elevação nos gastos dos agricultores com insumos e compromete o ganho de produtividade resultante da adoção do cultivar superior. No entanto, apesar de sustentar os ganhos de produtividade e reduzir os gastos com insumos nas lavouras de

soja, a tecnologia da inoculação não está difundida em demais culturas “comerciais” como milho, trigo e cana-de-açúcar.

Fatores intrínsecos à trajetória tecnológica dos inoculantes, como a baixa apropriabilidade das inovações e as incertezas relacionadas aos resultados obtidos com a inoculação nas demais culturas, influenciam a expansão do mercado destes produtos. Em outra perspectiva, a avaliação dos resultados da inoculação focada exclusivamente na quantidade produzida pelas lavouras ofusca uma série de melhoramentos no sistema agrícola proporcionados pela tecnologia da inoculação.

A despeito da fixação biológica de nitrogênio, o uso dos inoculantes resulta também no enriquecimento da matéria orgânica, em melhorias no padrão de germinação das sementes, em maior adsorção de nutrientes e no controle de estresses hídricos e térmicos do solo. Em conjunto, tais fatores possibilitam a prática de atividades agrícolas mais sustentáveis, de menor risco, sem alterações no nível de produção. Porém, não são capazes de impulsionar a difusão dos inoculantes. A incorporação destes benefícios proporcionados pela inoculação ao sistema agrícola requer a construção de mecanismos de avaliação dos impactos dos inoculantes que extrapolem o âmbito dos mecanismos de mercado.

Para isso, com base nas abordagens sistêmicas da inovação, este trabalho propõe ações que visam o fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes. Dentre estas, destaca-se a inclusão dos inoculantes nas atividades de renovação dos canaviais. Em linha com os objetivos deste estudo, a institucionalização de políticas de incentivo à difusão da inoculação constitui uma “porta de saída” para os esforços das organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento agrícola e, aumentam as possibilidades de inovação em demais produtos biotecnológicos via o maior acúmulo de conhecimento nesta área.

No cumprimento dos objetivos traçados o trabalho está dividido em três seções, além desta introdução. O primeiro capítulo faz uma revisão bibliográfica com enfoque no referencial teórico schumpeteriano. O primeiro item do capítulo analisa a incorporação de conceitos da dinâmica capitalista schumpeteriana às novas teorias do crescimento econômico. A segunda parte do

capítulo descreve de modo sucinto as principais características das abordagens sistêmicas da inovação. O item trata de analisar a articulação entre o referencial teórico neoschumpeteriano e o paradigma da economia evolucionária, materializada nas abordagens dos sistemas nacionais e setoriais de inovação. A última parte do capítulo discute as especificidades do progresso tecnológico agrícola e apresenta o conceito de trajetória tecnológica ampliada.

O segundo capítulo dedica-se à abordagem dos setores alvos do estudo, inoculantes e fertilizantes minerais. Assim como do papel destas tecnologias no desenvolvimento do sistema de produção agrícola. O primeiro item apresenta conceitos da nutrição vegetal, com intuito de depurar o papel da fertilização mineral e da fixação biológica de nitrogênio no sistema de produção agrícola. A segunda parte do capítulo analisa a estrutura da indústria nacional de fertilizantes, com ênfase no segmento de fertilizantes nitrogenados. O último item do capítulo examina a tecnologia da inoculação, destaca-se o processo de evolução conjunta entre a tecnologia da inoculação e os cultivares mais produtivos de soja. Além disso, o item apresenta as principais instituições e agentes atuantes na organização da indústria dos inoculantes.

O terceiro capítulo avalia os impactos econômicos dos inoculantes. Para isso faz a apresentação do modelo insumo produto que executa tal tarefa. Assim como do referencial adotado para organização dos dados do sistema de contas nacionais que compõem a matriz insumo produto base do modelo. O último item do capítulo faz a análise dos resultados estimados e aborda temas não capturados pela metodologia, em especial as possibilidades de fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes lastreadas em mecanismos de avaliação menos restritos aos incrementos no nível de produção. A título de considerações finais, a última parte do trabalho avalia os impactos da tecnologia da inoculação em uma perspectiva de longo prazo.

CAPÍTULO 1- DESTRUICÃO CRIATIVA E SISTEMA DE INOVAÇÕES AGRÍCOLA

O objetivo deste capítulo é apresentar os pressupostos teóricos em economia que norteiam o trabalho. Não obstante, o fenômeno da difusão dos inoculantes trata-se de um evento cujos desdobramentos socioeconômicos possibilitam diferentes tipos de abordagens.

A primeira parte do capítulo descreve os aspectos centrais da dinâmica capitalista schumpeteriana e de que modo alguns conceitos schumpeterianos foram incorporados ao paradigma da economia evolucionária. Nesse contexto, a difusão dos inoculantes é tratada como um processo de destruição criativa que contribui para o progresso tecnológico e o crescimento econômico. Embora enquadrem a difusão dos inoculantes em nível macro de análise, os conceitos expostos na primeira parte do capítulo não explicam a diversidade de fatores inerentes ao desenvolvimento e à adoção desses produtos. Não obstante, a segunda parte do capítulo trata destes temas e, para isso, apresenta as abordagens sistêmicas da inovação.

A adoção da tecnologia da inoculação não se apóia exclusivamente em mecanismos de mercado, guiados pelo comportamento dos preços relativos. Diferentes agentes e instituições contribuem para dirimir as incertezas relacionadas ao uso dos inoculantes. De modo semelhante, o desenvolvimento destes produtos não se trata de um processo linear, ciência-tecnologia-inovação. Os esforços para o desenvolvimento dos inoculantes são marcados por procedimentos de tentativa e erro, e envolvem uma gama de estudos e experimentações em rede antes do lançamento de novos produtos no mercado. Tais características da trajetória tecnológica dos inoculantes revelam o elevado grau de especificidade setorial das inovações. Muito em função disto, estudos do progresso tecnológico na agricultura exigem mediações que explicitem suas especificidades não identificáveis em abordagens dos setores industriais.

A última parte do capítulo discute a ação da natureza no sistema de produção agrícola. Postula-se que esta especificidade é capaz de moldar o sistema produtivo e o modelo de desenvolvimento tecnológico do setor. De modo sucinto, o sucesso das inovações no setor agrícola requer a evolução conjunta de diversas tecnologias complementares. O conceito de trajetória tecnológica ampliada é proposto com o intuito de definir este modo de interação entre

as diversas tecnologias que compõem o sistema de produção agrícola. Este conceito é necessário para a compreensão dos desdobramentos da difusão da tecnologia da inoculação. Tema tratado no capítulo seguinte.

1.1. Destruição Criativa e Economia Evolucionária

O impulso fundamental que põe e mantém em funcionamento a máquina capitalista procede dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criadas pela empresa capitalista. Para Schumpeter (1984, pg.106), o processo de destruição criativa materializa esse impulso fundamental que revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro, destruindo incessantemente o antigo e criando elementos novos. O fenômeno da destruição criativa permite uma interpretação alternativa à abordagem estática² da dinâmica capitalista.

Em uma perspectiva macroeconômica de análise, o processo de destruição criativa atua como mecanismo de interação entre o progresso tecnológico e as mudanças estruturais engendradas. Em trabalho seminal, Aghion e Howitt (1998) propõem um modelo de crescimento endógeno “schumpeteriano”, com base no processo de destruição criativa.

A nova teoria do crescimento endógeno³ contribui com a corrente *mainstream* do pensamento econômico e reforça o papel central do processo de destruição criativa, e da produção de conhecimento, no crescimento da economia. Em linhas gerais, abordagens deste tipo pressupõem externalidades negativas para o progresso tecnológico e formalizam o lado “destruidor” da dinâmica capitalista. Se por um lado, a inovação bem sucedida proporciona

² No modelo teórico convencional, mudanças provocadas pela introdução de novidades se manifestam apenas como fricções momentâneas ao perfeito funcionamento do sistema econômico. Os pressupostos do modelo convencional asseguram a alocação mais eficiente possível dos bens consumidos e das remunerações, atribuindo aos elementos dinamizadores a capacidade de provocar apenas alterações marginais na conduta econômica. De acordo com Prado (2006), racionalidade substantiva, livre mobilidade de capitais e retornos marginais decrescentes asseguram a expansão equilibrada e com remuneração máxima dos fatores de produção em todos os setores da economia.

³ Para uma comparação entre a velha e a nova teoria do crescimento endógeno ver, Aghion e Howitt (1998, cap.1).

métodos produtivos mais eficientes e a captura de rendas monopolistas, por outro, ela acelera a obsolescência de tecnologias velhas e destrói as rendas monopolistas capturadas anteriormente. Neste arcabouço, parte do conhecimento fundamental (não aplicado) desenvolvido pela firma inovadora assume caráter público e transborda para toda a economia. Tal movimento produz, no nível agregado, retornos crescentes de escala (Silveira, 2002; Verspagen, 2007).

A contribuição “schumpeteriana” de Aghion e Howitt à teoria do crescimento endógeno tornou-se fonte de inspiração para diversos trabalhos relacionados ao tema. Este fato poderia ser interpretado como sinal da convergência de diferentes escolas de pensamento em torno da abordagem schumpeteriana da dinâmica capitalista. No entanto, as críticas originais de Schumpeter à visão convencional permanecem válidas mesmo se direcionadas aos modelos neoclássicos inspirados por suas ideias. Embora os modelos neoclássicos acomodem a visão schumpeteriana do desenvolvimento econômico via destruição criativa, em geral, permanecem distantes dos demais argumentos centrais da dinâmica schumpeteriana. Quer dizer, os modelos de crescimento endógeno não podem ser categorizados como abordagens schumpeterianas devido à rigidez dos pressupostos acerca do equilíbrio temporal, do agente representativo e do crescimento setorial convergente. (Chiaromonte, Dosi e Orsenigo 1993; Alcouffe e Kuhn, 2004; Fagerberg, 2007).

Com efeito, Schumpeter analisa a economia no contexto amplo de vida social e concentra seus esforços para prover uma visão da evolução da sociedade como um todo, que deve ser abordada por uma ciência social universal e tratar de temas como a economia, a política, as relações sociais, as artes, a ciência e a moralidade (Shionoya, 2008). De acordo com Andersen (2011) uma revisão da obra de Schumpeter permite a assimilação de três modelos diferentes do processo evolucionário. O modelo “Mark I” descreve a evolução da economia como o produto da interação entre o empresário inovador e firmas incumbentes “*routine-based*”. O modelo “Mark II” descreve a evolução econômica como o produto da “concorrência oligopolística inovadora” entre firmas incumbentes. O modelo “Mark III” descreve a evolução socioeconômica como um processo de evolução conjunta entre os principais setores da sociedade.

Grosso modo, o conceito genérico de evolução trata de algo que evolui, seja um *pool* de genes de uma espécie, uma linguagem falada, tecnologias e instituições de uma economia ou o conjunto de ideias produzidas pela mente humana (Witt, 2008). Mesmo que tais entidades possam mudar devido a diversos tipos de “choques exógenos”, a característica evolutiva comum trata da capacidade de se transformarem endogenamente ao longo do tempo (Dopfer, 2005).

O marco principal da incorporação efetiva de argumentos evolucionários no campo da teoria econômica foi o trabalho de Nelson e Winter (2005), que inaugurou terreno fértil para a expansão do escopo e das ferramentas para uma análise da dinâmica evolutiva em economia (Possas, 2008). A partir do enfoque schumpeteriano da dinâmica capitalista, os autores propõem um referencial teórico evolucionário para estudos da mudança em economia. A inspiração na biologia evolucionária fornece os mecanismos básicos para a análise do comportamento dos agentes econômicos. Rotinas, mecanismos de busca e ambiente de seleção, constituem as ferramentas básicas propostas por Nelson e Winter (2005), em analogia aos princípios darwinianos de variação, hereditariedade e seleção, para analisar o comportamento dos agentes na luta pela sobrevivência em ambiente concorrencial característico, marcado pela constante transformação. Pode-se afirmar que ainda não há um consenso sobre as características específicas que delimitam o conceito de economia evolucionária (Witt, 2008; Dopfer, 2005).

No campo das teorias do crescimento, desde a formalização proposta por Solow (1956) sabe-se que o acúmulo de capitais tangíveis e o crescimento populacional explicam não mais do que 20% do crescimento econômico dos países desenvolvidos (Metcalf, 2002; Aghion e Howitt, 1998; van den Klundert, 2001; Solow, 2000). Desde então, não se questiona, no âmbito da corrente *mainstream*, a importância do progresso tecnológico para o crescimento econômico. O problema crucial se tornou conhecer como o sistema capitalista cria e destrói as estruturas existentes. Ao interpretarem os efeitos do progresso tecnológico através de indicadores agregados, os modelos neoclássicos da teoria endógena do crescimento desconsideraram uma série de eventos percebidos no nível micro de análise, extremamente relevantes para a compreensão dos mecanismos indutores de mudanças qualitativas na economia.

Fenômenos recorrentes da vida econômica, como os mecanismos de defesa das firmas incumbentes responsáveis pela superação dos “efeitos devastadores” da inovação ou políticas de incentivo às firmas inovadoras de setores estratégicos, são determinantes para o ritmo e a direção do progresso técnico. Para além da avaliação estática dos modelos neoclássicos, reservada aos agregados macroeconômicos, o processo de destruição criativa atua na conexão entre o tipo de concorrência intra e interindústria, o crescimento da economia, e as mudanças políticas ou sociais (Heertje e Perlman, 1993, Metcalfe, 1998).

De acordo com Andersen (2004), o processo de destruição criativa compreende dois elementos distintos de avaliação. Em primeiro lugar, a destruição criativa em si, substanciada no movimento de seleção de firmas ou de algumas rotinas destas, sob pressão da inovação. Além disso, o conceito abrange a análise do **processo** de destruição criativa, que representa a combinação do tipo de seleção descrito e a atividade inovadora que guia o processo. Para Metcalfe e Ramlogan (2006) o processo de destruição criativa compreende as formas de transmissão entre inovação e alterações na alocação de recursos, que sustentam o curso do desenvolvimento econômico e a elevação do padrão de vida. Por esse motivo, modelos evolucionários imbuídos por uma visão schumpeteriana, nos quais o processo de destruição criativa ocupa papel central na dinâmica do sistema, contribuíram com a “abertura da caixa preta” das teorias do crescimento (Safarzynska e van den Bergh, 2010)

“An evolutionary theory of economic growth is naturally designed to answer the all-important question “How is wealth created from knowledge?” No serious economist doubts that the growth of per capita income and welfare is a consequence of the growth of understanding about the human built and natural worlds, but how useful knowledge is created and translated into economic development is a matter of great complexity. At the heart of this problem is the need for a disaggregated framework of understanding that explains much more than the rate of growth of aggregate economic activity and the evolution of broad macroeconomic indicators” (Metcalfe e Foster , 2010).

Conforme tratado anteriormente, a admissão de conceitos evolucionários em modelos neoclássicos de crescimento não significou a convergência intelectual em torno da interpretação schumpeteriana da dinâmica capitalista. Apesar disso, o modelo desenvolvido por Nelson e

Winter (2005), apontado como o primeiro modelo evolucionário, representa um ponto de inflexão nas abordagens evolucionárias da economia⁴.

Talvez o aspecto mais importante e original do trabalho de Nelson e Winter seja sua fundamentação microeconômica. Nesse modelo, os agregados macroeconômicos examinados por Solow (1956) foram construídos a partir de dados microeconômicos que, por sua vez, foram obtidos com base em regras de decisão, busca e seleção no nível da firma individual, e definem o esquema analítico evolucionário (Nelson e Winter, 2005, pg.308).

Quase três décadas após a contribuição de Nelson e Winter ao paradigma da economia evolucionária os modelos evolucionários apresentam uma grande diversidade de abordagens. Apesar da sofisticação metodológica, os “*building blocks*”⁵ desses modelos ainda não são capazes de capturar toda a diversidade de microevoluções institucionais, científicas e comportamentais percebidas na economia⁶, que constituem evidências históricas indispensáveis à compreensão da dinâmica capitalista schumpeteriana.

Freeman e Soete (2008) afirmam que as análises quantitativas devem ser complementadas por estudos de história econômica, social e tecnológica, se pretendem iluminar os processos de mudanças reais alvo do trabalho. Nesse sentido, qualquer abordagem evolucionária do crescimento deve estar conectada aos estudos da inovação, da história da tecnologia e da produção de conhecimento. Estas literaturas são complementos naturais para uma teoria evolucionária do crescimento; pois enquadram a compreensão do processo gerador e limitante da inovação, além disso, fornecem inúmeros exemplos empíricos para moldar o pensamento sobre a conexão conhecimento-crescimento (Metcalf e Foster, 2010).

⁴ Cabe ressaltar que a formalização de ideias evolucionárias em modelos matemáticos aplicados no campo da biologia remete a equação do replicador, introduzida por Fisher (1930).

⁵ Para Silverberg e Verspagen (2005), os pressupostos fundamentais dos modelos evolucionários dizem respeito à heterogeneidade, mutação e geração de novidade, seleção e o resultado econômico da análise. Na interpretação de Safarzynska e van den Bergh (2010), diversidade, inovação e seleção, racionalidade limitada, difusão, *path dependence* e *lock-in*, coevolução, seleção de grupos e mecanismo de crescimento, são os componentes mais recorrentes em análises evolucionárias.

⁶ Aqui resgatamos o conto *O Zahir* de Jorge Luis Borges, que questiona a utilidade de um mapa cuja escala é semelhante ao tamanho real da cidade retratada.

1.2. Sistema de Inovações

De acordo com Dosi, Malerba e Orsenigo (1993), uma teoria satisfatória da evolução industrial e, portanto, do desenvolvimento econômico, deve tentar contabilizar a persistência de grande variedade de comportamentos e tipos de organização dentro e entre setores; a existência de especificidades setoriais nos padrões de dinâmica industrial; a existência de coerência e ordem nos padrões de dinâmica industrial apesar da grande variabilidade percebida em nível micro.

Em certa medida, a modelagem evolucionária do crescimento econômico não captura a diversidade de atores e instituições engajadas na produção de conhecimento e desenvolvimento tecnológico. A título de exemplo, no modelo original de Nelson e Winter (2005) as atividades de busca e geração de novidades consistem na exploração de um conjunto de possibilidades tecnológicas preexistentes. Desse modo, pressupõe-se que não ocorram transformações nas atividades de ciência, tecnologia e inovação fora dos setores industriais.

Segundo Silverberg e Verspagen (2005) a maioria dos modelos evolucionários traduz o resultado das atividades inovadoras praticadas no interior das firmas, guiadas por características setoriais do ambiente competitivo e dos mecanismos de seleção. Modelos deste tipo desconsideram aspectos técnicos e sociais intrínsecos ao conjunto de inovações incrementais decisivas para a difusão de novos produtos dominantes. Em muitos casos estes fatores atuam no ambiente exógeno aos setores industriais e, são motivados por questões distintas daquelas previstas pelos pressupostos comportamentais do modelo evolucionário, como por exemplo, os aperfeiçoamentos do produto resultantes das interações entre vendedores e compradores.

Novas campanhas de *marketing*, inovações em *design* e estratégias de segmentação de mercado, tornaram-se fontes inesgotáveis de ganhos de competitividade das firmas. Além disso, evidências históricas indicam que as inovações incrementais incorporadas ao processo de produção não correspondem à metade daquelas que ficaram pelo caminho (Freeman e Louçã, 2001). De modo geral, as críticas mencionadas suscitaram questões chave para a compreensão das conexões entre as variáveis microeconômicas e os agregados macroeconômicos. Quais são os

motivos determinantes para o fracasso ou o sucesso das inovações? Como avaliar os efeitos da ciência básica na trajetória tecnológica e na organização industrial?

Até o início da década de 1980, a discussão sobre as fontes mais importantes de inovação polarizou-se entre aqueles que atribuíam maior importância ao avanço do desenvolvimento científico (*science push*) e os que destacavam a relevância das pressões da demanda por novas tecnologias (*demand pull*) (Cassiolato e Lastres, 2005). De certo modo, pode-se afirmar que a abordagem sistêmica da inovação sintetiza o debate *demand pull x supply push*, pois trata de ambos os lados da discussão e contribui para o avanço do tema ao enfatizar os modos de interação entre os agentes (compradores e vendedores).

Fagerberg (2005) define o sistema de inovação (SI) como sendo todos os fatores econômicos, sociais, políticos, organizacionais e institucionais capazes de influenciar o desenvolvimento, a difusão e o uso de inovações. Com relação ao comportamento dos agentes, a abordagem considera a inovação o resultado do processo interativo entre grande variedade de atores e enfatiza que as empresas não inovam isoladamente: a inovação é vista como um processo coletivo. Universidades, centros de pesquisa, agências governamentais, instituições financeiras e demais atores envolvidos na produção e uso de conhecimento aplicado constituem o sistema de inovação (Edquist, 2005).

Segundo Hall (2005), o principal ponto levantado pela perspectiva dos sistemas de inovação diz respeito à constatação de que a natureza e o valor do conhecimento incorporado às inovações não pode ser visto como independente dos processos requeridos para sua consecução, assim como do contexto socioeconômico no qual a novidade está inserida. Em outras palavras, atividades de pesquisa e desenvolvimento não estão isoladas do contexto social, político e institucional vigente (Biggs, 1990). Com base nesta argumentação, afirma-se que o impacto das inovações não pode ser avaliado de forma linear, ciência-tecnologia-inovação. A compreensão do processo de destruição criativa requer uma visão mais ampla da produção de conhecimento e dos fenômenos propícios à sua difusão. Em linha com o trabalho de Clark (2002), a menos que a influência destes ambientes seja explicitada por tomadores de decisão, os esforços para avaliação e planejamento de políticas de pesquisa e desenvolvimento permanecerão incompletos.

“ Desse ponto de vista, a data de uma inovação básica (ou de uma série de inovações básicas) é menos relevante do que a interação de um “cluster” de inovações ou de uma mudança social que permita o crescimento rápido de um mercado específico ou o investimento de grande quantidades de capital (Freeman, Clark, Soete, 1982, pg.66).

O conceito de sistema de inovação apoia-se em relações estruturais- notadamente entre estrutura produtiva e a estrutura institucional (Érber, 1998). Nas palavras de Freeman (1995), o sucesso das inovações, cuja expressão remete aos ganhos de produtividade e competitividade das firmas no mercado globalizado, depende de certa variedade de fatores que extrapolam o âmbito dos gastos com P & D industrial. Quer dizer, a descoberta de inovações pode não atingir os resultados econômicos possíveis e esperados mediante estratégia de difusão tecnológica mal sucedida. Conforme será tratado neste trabalho, em certos casos o processo de destruição criativa é incapaz de desenvolver, apoiado exclusivamente nos mecanismos de mercado, todas as possibilidades tecnológicas demarcadas.

Com efeito, os argumentos desenvolvidos no parágrafo anterior sustentam a tese formulada por Freeman, Clark e Soete (1982) e Freeman (1987), de que o ganho de competitividade da indústria japonesa no início na década de 1980 não resultou da redução relativa nos gastos com insumos, e sim de políticas ativas de investimento em qualificação profissional, laboratórios nacionais, instituições de apoio à ciência e tecnologia e no fortalecimento da demanda nacional de setores estratégicos. Tal interpretação ressalta a dimensão político-social do progresso tecnológico e o caráter imprescindível das interações público-privadas para o sucesso das inovações. Nas palavras de Freeman, Clark e Soete (1982): *no country can be a technological leader in all areas, an all can learn from international experience.*

A repercussão positiva desta interpretação alternativa das ondas de inovações criou um quadro de referência objetivo para avaliação de políticas tecnológicas e industriais, materializado no monitoramento dos sistemas nacionais de inovação (Lastres, Cassiolato e Arroio, 2005; Freeman e Soete, 2008). Conforme destaca Albuquerque (1996), a construção de um sistema nacional de inovação viabiliza a realização de fluxos de informação que, caso contassem apenas com os mecanismos de mercado teriam um funcionamento subótimo.

Foi particularmente relevante o fato de o conceito ter sido criado e desenvolvido em meados dos anos 80, exatamente quando tomava corpo, e rapidamente se difundia, a tese sobre a aceleração da globalização econômica que, inclusive, foi associada à hipótese de certa tendência ao tecnoglobalismo. O desenvolvimento desta abordagem reforçou o foco no caráter localizado (e nacional) da geração, assimilação e difusão da inovação em oposição à ideia simplista de um suposto tecnoglobalismo (Cassiolato e Lastres, 2005). Cabe ressaltar que, a arquitetura dos sistemas nacionais de inovação não resulta de decisões autônomas tomadas por governantes dotados de racionalidade substantiva, tão pouco seus impactos são percebidos de forma homogênea por todos os setores da economia. Nesta linha de raciocínio, análises da formação, assim como da evolução, dos sistemas de inovação de países asiáticos tornaram-se referência para trabalhos relacionados ao tema.

De acordo com Hobday (2005), a aceleração do progresso tecnológico em economias de industrialização recente (EIRs) como Malásia, Cingapura, Tailândia e Coréia do Sul deve ser abordada a partir das estratégias globais de empresas transnacionais (ETNs), datadas no final da década de 1960. Segundo o autor, as empresas locais das EIRs ingressaram no mercado internacional da indústria eletrônica na fase estabelecida do ciclo de vida dos produtos dominantes. Nesse contexto, as políticas industriais desenvolvidas pelas EIRs no período de formação dos seus sistemas de inovação atuaram no fortalecimento de poucos setores, em especial indústrias que já apresentavam alguma relação comercial com as ETNs. Em última instância, a composição inicial dos sistemas de inovação das EIRs atuou para que as vantagens comparativas relacionadas ao custo do trabalho nas EIRs fossem exploradas pelas ETNs. Para isso, a subcontratação das empresas locais ocorreu mediante sistema específico (FEO). Sob o qual o produto acabado é fabricado com especificações estipuladas pelo comprador, que após a produção o comercializa através de sua marca própria (Hobday, 2005).

Boa parte do sucesso da estratégia de inserção internacional, materializado na aceleração do progresso tecnológico e no *catch-up* das EIRs, deve-se ao desenvolvimento de mecanismos para obtenção, controle e difusão das tecnologias de ponta disponibilizadas pelas ETNs (Kim e Nelson, 2005; Lundvall *et al.* 2006). Fatores como aspectos culturais ou circunstâncias específicas das tecnologias internalizadas também contribuíram para o resultado positivo.

Conforme ressalta Lall (2005), um produto de alta tecnologia exportado por determinado país pode resultar da montagem local de componentes importados, com poucos insumos locais, físicos ou tecnológicos, já em outro país, esse mesmo produto pode estar baseado substancialmente em equipamentos, componentes, projetos, desenvolvimentos e engenharia locais. Tais argumentos mostram com clareza as diferentes aptidões dos países para lidar com a mudança tecnológica.

Com relação à evolução dos sistemas de inovação, pressões advindas de transformações externas ou o fortalecimento de contradições internas representam fatores capazes de desencadear processos de mudança. Progressos na ciência básica, alterações no padrão de consumo, fortalecimento de determinados segmentos da sociedade e grupos de interesse, dentre outros, constituem fatores capazes de conceber mudanças na arquitetura dos sistemas nacionais de inovação. Nesse sentido, o foco das análises não deve ater-se à estrutura dos sistemas de inovação em apenas um momento específico. Segundo Lundvall *et all.* (2006), para uma abordagem mais ampla torna-se imprescindível a análise das mudanças qualitativas do conjunto de leis, normas e agentes componentes dos sistemas nacionais de inovação.

Não obstante, avaliações das características estruturais das atividades produtivas em que operam os componentes institucionais dos sistemas nacionais de inovação ocupam lugar de destaque em análises da dinâmica dos sistemas de inovação. Em outras palavras, propriedades setoriais como a base de conhecimento, a extensão do mercado e a organização industrial agem como fontes externas de pressões para transição dos sistemas nacionais. Além destas, aspectos relacionados ao processo de aprendizado das firmas e às “propriedades econômicas⁷” das tecnologias contribuem para a transição dos sistemas nacionais. Afirma-se que a evolução dos sistemas de inovação apresenta comportamentos intrínsecos aos diferentes setores industriais.

Com efeito, o ritmo de crescimento e o modo de organização das atividades inovadoras diferem substancialmente entre os setores industriais. Tal constatação vai ao encontro da interpretação schumpeteriana da dinâmica capitalista que refuta a possibilidade de taxas de

⁷ As propriedades econômicas dizem respeito à cumulatividade, apropriabilidade e oportunidade das tecnologias. O conceito de regime tecnológico reúne todas estas propriedades e ainda abrange o processo de aprendizado das firmas. Sobre este assunto ver, Breschi, Malerba e Orsenigo, (2000) e Nelson e Winter (2005).

crescimento setorial convergente, e traduz a relevância de abordagens dos sistemas de inovação em nível setorial de agregação. De acordo com Malerba (2005), análises de sistemas setoriais de inovação devem ressaltar cinco pontos chave: o papel da demanda e da oferta, (assim como dos mecanismos de mercado), no processo de inovação; a avaliação de outros tipos de agentes além das firmas; a ênfase em interações irrestritas aos mecanismos de mercado; o papel central das instituições; o foco no processo de transformação setorial e da constante alteração dos limites setoriais.

Na abordagem dos sistemas setoriais de inovação um setor traduz o arranjo de atividades interligadas por um grupo de produtos destinado a uma demanda (estabelecida ou emergente), que compartilham o mesmo conhecimento básico. As firmas de um setor compartilham características em comum, porém são heterogêneas e dotadas de objetivos, competências e comportamentos distintos. Em um sistema setorial a demanda não é vista como um conjunto de compradores similares, ela é constituída por consumidores individuais, firmas, agências públicas e outras organizações. Os processos de consolidação e transformação da demanda exercem papel central na dinâmica e evolução do sistema setorial (Malerba, 2002).

O conceito de sistemas setoriais de inovação engloba pressupostos da economia evolucionária descritos neste trabalho. A inovação é entendida como um processo de interações sistemáticas entre a grande variedade de atores envolvidos na produção e intercâmbio de conhecimento. Fenômenos como a busca de oportunidades tecnológicas e a seleção de novas firmas, produtos ou tecnologias, são fortemente influenciados pelas formas de interação⁸ e de *networks* entre os agentes (Breschi, Malerba e Orsenigo, 2000).

A análise dos sistemas de inovações a “*la Malerba*” captura a natureza das transformações setoriais em seus mais diferentes aspectos (institucionais, organizacionais, atores) e faz a ligação entre as inovações e a evolução das características estruturais do setor. O papel central da teoria evolucionária no quadro de referência proposto pelos sistemas setoriais de

⁸ Os agentes podem interagir através de processos de troca, cooperação, competição, comunicação e comando.

inovação é o traço característico que distingue este enfoque das demais abordagens sistêmicas em nível setorial de agregação.

Em linhas gerais, o presente trabalho aplica a abordagem dos sistemas setoriais de inovação ao estudo do progresso tecnológico do setor agrícola. Em função dos objetivos desta pesquisa, o escopo da abordagem setorial permanecerá restrito à cultura da soja no Brasil, em especial, o processo de substituição dos fertilizantes nitrogenados por microrganismos fixadores de nitrogênio (inoculantes). A tarefa compreende a avaliação dos impactos econômicos deste processo de destruição criativa e, lastreada na abordagem sistêmica da inovação, pretende expor a necessidade de mecanismos extramercado para potencializar a difusão dos inoculantes. De acordo com Silveira (2010), o enfoque de sistema de inovação para a agricultura permite não apenas ir além da ideia genérica de que os preços relativos guiam o processo inovativo, mas também introduzir a ideia de que estes processos implicam inovação, adaptação e geração de complementaridade entre atores, fontes de inovação e instituições.

Cabe ressaltar que abordagens evolucionárias precisam estar conectadas aos estudos da inovação, da história da tecnologia e da produção de conhecimento. O setor agrícola, em particular, requer mediações que explicitem as suas especificidades e tornem factíveis análises do progresso tecnológico, e do crescimento da produção, fiéis ao paradigma da economia evolucionária.

1.3. Sistema de Inovação Agrícola

Trabalhos dedicados ao estudo da dinâmica de inovações na agricultura ocupam lugar de destaque na literatura econômica. Contudo, para o tratamento teórico adequado das atividades agrícolas faz-se *mister* a exposição das especificidades que tornam o setor um tema não identificado por estudos no campo da economia industrial. Em síntese, o *tour de force* elaborado nesta seção aborda o papel da natureza no sistema produtivo agrícola.

Afirma-se que a especificidade da agricultura está cristalizada na sazonalidade da produção e nos choques aleatórios provocados por intempéries climáticas. O significado desta

assertiva é a principal diferença entre a lógica produtiva agrícola e a atividade industrial. De uma forma objetiva, o papel desempenhado pela natureza, e pelos recursos naturais, na função de produção agrícola constitui força capaz de moldar o processo produtivo e definir estruturas de produção específicas.

Na função de produção do tipo *Cobb-Douglas*, por exemplo, a organização dos fatores não precisa se adaptar a uma estrutura de tempo e espaço específica. *Coeteres paribus*, a combinação dos insumos resultará inquestionavelmente em uma determinada quantidade de produto. Na agricultura esta caixa preta não funciona de maneira homogênea e linear. A incorporação da sazonalidade e dos choques aleatórios à função de produção agrícola adiciona aos contratos do setor custos de transação característicos. Uma forma de mitigar estas falhas de mercado não conjunturais trata de dividir a função de produção agrícola em ciclos, estágios e tarefas, tal qual desenvolvido de forma original por Allen e Lueck (2002).

De acordo com os autores supracitados, o ciclo de cada produto agrícola possui diferentes estágios e, para cada estágio um número correspondente de tarefas. O atraso na realização de uma tarefa pode comprometer todo o estágio da produção. A tipologia atomizada permite delimitar o horizonte temporal das decisões e decompor o ciclo produtivo agrícola em um nexo de contratos com prazos definidos. Nesse contexto, pode-se afirmar que a especialização de tarefas resulta em ganhos de produtividade.

Uma tentativa de formalizar o raciocínio do parágrafo anterior deve tratar de características não observáveis dos insumos, além de considerar a especificidade causada pela ação da natureza nas interações entre os agentes. De acordo com o modelo básico proposto por Allen e Lueck (2002), a estrutura da função de produção agrícola é representada da seguinte maneira:

$$q = h(e, l, k) + \theta \quad (1)$$

Onde o parâmetro q corresponde ao total da produção, e representa o esforço médio desejado da força de trabalho, l são os atributos do insumo que estão quantificados no contrato, k são os atributos do insumo que não são precificados na transação, e θ trata de capturar no modelo básico o papel desempenhado pela natureza na função de produção. O parâmetro q representa o resultado de uma única tarefa do ciclo produtivo, que possui insumos específicos não aplicáveis em outras tarefas, como por exemplo, a semeadura. Com isso, todas as atividades e insumos necessários para a execução das tarefas integram o sistema de produção agrícola.

Portanto, a organização da atividade agrícola é definida neste trabalho em sentido amplo, envolvendo não apenas as atividades a montante e a jusante da fazenda, como também um amplo sistema de ciência e tecnologia que envolve interações complexas com os diferentes sistemas biológicos dos quais a produção agrícola usufrui. A natureza evolucionária dos sistemas biológicos produz imperativos para transformação dos elementos componentes do sistema de produção agrícola.

Nesse contexto, a visão do progresso técnico agrícola que pressupõe um modelo linear de geração e adoção de inovações, guiado pelo comportamento dos preços relativos, não captura a complexidade do sistema de produção. Tão pouco o modelo proposto por Hayami e Ruttan (1970) que interpreta o progresso técnico agrícola como o deslocamento do conjunto de insumos ao longo de uma meta-função de produção. Isto porque o conceito de meta-função de produção limita as possibilidades de inovações.

Para se tornarem inovações, as descobertas no sistema agrícola passam por avaliações técnicas e processos internos de adoção, configurados por variáveis ambientais e sociais que determinam o padrão de difusão. O processo de inovação na agricultura, que define tanto a questão da adoção quanto os mecanismos da difusão tecnológica, é constituído no interior de arranjos produtivos complexos (sistema de produção) e, mediado por instituições promotoras do crescimento, como centros de pesquisa, universidades, empresas de extensão rural e órgãos reguladores do Estado (Viera Filho, 2009).

Esta configuração do progresso técnico agrícola remete ao conceito de trajetória tecnológica desenvolvido por Dosi (1982), definido como o padrão normal de soluções de problemas, (progresso tecnológico) no âmbito de paradigma tecnológico específico, no caso em questão do sistema de produção agrícola. Contudo, o traço característico que distingue o progresso técnico na agricultura diz respeito ao tipo de interação entre os diversos elementos do sistema de produção.

Nos setores industriais, os efeitos das inovações radicais propagam-se até os “*roundabout methods of production*”. Na agricultura, na maioria dos casos, para o sucesso das inovações é indispensável o desenvolvimento concomitante de inovações nas tecnologias complementares. Por exemplo, a difusão dos cultivares híbridos de alto rendimento (HYVs) foi possível mediante a intensificação no uso de fertilizantes químicos, o desenvolvimento de defensivos específicos para a nova realidade de cultivo e a fabricação de tratores adequados. Apesar de cada tecnologia possuir trajetória tecnológica distinta, o sistema de produção agrícola requer a mudança “em bloco” de diferentes trajetórias tecnológicas. De forma esquemática, para a interpretação do progresso tecnológico no sistema agrícola, é sugerido o conceito de trajetória tecnológica ampliada, definido como o conjunto de várias trajetórias tecnológicas que interagem num processo co-evolutivo.

Em outra perspectiva, a diversidade de condições edafoclimáticas exerce forte influência no progresso tecnológico do setor agrícola. Isto é, características regionais de clima e solo são determinantes para o desenho de políticas de incentivo à produção de conhecimento aplicado à agricultura. O processo de transferência de tecnologias agrícolas, por exemplo, apresenta níveis de desagregação e complexidade das atividades não identificáveis nas estratégias de inserção internacional de setores industriais das EIRs descritas anteriormente neste trabalho.

Embora o processo não linear de transferência tecnológica -marcado por inúmeros procedimentos interativos de tentativa e erro- e o caráter sistêmico da difusão de inovações na agricultura sejam argumentos consensuais desde o modelo empírico desenvolvido por Griliches

(1957)⁹, tais ideias permaneceram pouco exploradas em estudos do progresso técnico agrícola até o final da década de 1990 (Banco Mundial, 2008a, pg. 5).

De acordo com Spielman (2005), a rápida convergência em torno da abordagem sistêmica de inovações, em especial trabalhos aplicados à agricultura de países em desenvolvimento, traduz a capacidade deste tipo de análise em tratar os novos desafios impostos aos sistemas nacionais e internacionais de pesquisa agrícola (NARS e INARS). Problemas relacionados à escassez de recursos, dificuldades para formação e manutenção de bons cientistas e obstáculos no acesso às novas descobertas científicas e tecnológicas, representam restrições significativas ao funcionamento ideal daquelas organizações.

Clark (2002) também aponta fatores responsáveis pelo enfraquecimento dos NARS no papel de motores do progresso técnico agrícola¹⁰. Segundo o autor, o viés profissional dos cientistas engajados nas atividades de pesquisa, dotados de objetivos pouco alinhados àqueles perseguidos pelos agricultores, acarretou no isolamento econômico dos NARS. Além disso, o modelo hierárquico na tomada de decisões para a alocação de recursos, apoiado em critérios científicos de excelência ao invés de privilegiar o desenvolvimento da agricultura, resultou em dificuldades para o estabelecimento de estruturas organizacionais capazes de lidar com a interdisciplinaridade e a natureza evolucionária dos problemas enfrentados pelos agricultores. Grosso modo, tais limitações repercutiram na incapacidade dos NARS em satisfazer as

⁹ A análise de Griliches (1957) identifica os fatores responsáveis pela diferença entre, as regiões produtoras de milho dos EUA, da taxa de adoção de sementes híbridas. De modo original, a pesquisa ressalta atividades capazes de influenciar o ritmo e a direção do progresso tecnológico para além das flutuações de curto-prazo nos preços e na dotação dos fatores de produção. Nesta perspectiva, a intensidade de pesquisas para o desenvolvimento de sementes de alto rendimento (HYVs) adaptadas às especificidades de solo, clima, hábitos nutricionais e culturais de cada região foram apontados como as variáveis responsáveis pela diferença, entre regiões, nas taxas de adoção da inovação. Nas palavras do autor: “O milho híbrido foi a invenção de um método de inventar, um método de criação de milho superior para localidades específicas. Não foi uma invenção adaptável em toda parte (Griliches, 1957, pg.502).

¹⁰ Cabe ressaltar que a análise não se aplica ao sistema nacional de pesquisa agrícola de Índia, Brasil e China. Conforme será tratado neste capítulo, as organizações públicas de pesquisa agrícola do Brasil têm fortalecido sua atuação em atividades de pesquisa científica básica e desenvolvimento de novas tecnologias em alguns setores. Nesse contexto, Beintema, Avila e Fachini (2010) apresentam a evolução dos investimentos públicos na formação de pesquisadores e no financiamento de pesquisas no período 1976-2009.

exigências dos demandantes de tecnologia. Afirma-se que tais transformações foram causadas por mudanças na dinâmica do setor agrícola.

Cada vez mais, o desenvolvimento da agricultura vem sendo guiado por fatores que não correspondem exclusivamente àqueles consagrados pela Revolução Verde¹¹. Nesse novo quadro, fenômenos como a urbanização e o incremento na renda per capita de parcela significativa da população mundial, assim como a crescente integração dos produtos agrícolas às cadeias industriais, têm impulsionado as principais transformações nos padrões de consumo, comércio e produção dos bens agrícolas (Byerlee e Echeverría, 2002; Pardey, Alston e Piggott, 2006; Banco Mundial, 2008b).

“Aplicando-se a visão neoschumpeteriana, tem-se que os seguintes três fatores definiram o contorno atual do agronegócio: i) a exploração de oportunidades tecnológicas – em grande parte pelo persistente estímulo da demanda, fruto de políticas de segurança alimentar e dos incentivos da cadeia agroindustrial e alimentar a jusante; ii) a cumulatividade no uso de inovações, redefinindo padrões mínimos de escala e qualidade para produzir; e iii) um processo de seleção que gerou regiões com maior proporção de agricultores com mais sucesso que em outras (Silveira, 2010).”

Regulações sanitárias e fitossanitárias, ambientais e socioeconômicas conferidas aos diferentes estágios da produção agrícola, assim como demandas relacionadas ao *design*, às propriedades nutricionais e ao método de fabricação dos alimentos processados, descortinaram uma gama de oportunidades tecnológicas que culminaram no alargamento das cadeias de valor da agricultura e reduziram a ênfase nas pesquisas de tecnologias para o aumento da produção por hectare das lavouras.

Segundo Pardey *et al.* (2006), um dos aspectos evidentes do modelo atual de desenvolvimento agrícola diz respeito a maior complexidade da base de conhecimento aplicada às atividades do setor. Tecnologias de informação, comunicação e transporte, produtos

¹¹ O prêmio Nobel da paz de 1970, oferecido ao agrônomo Norman Borlaug por seu papel de liderança na revolução verde, indica o nível de aceitação deste movimento pela sociedade. Embora o fortalecimento econômico das nações menos desenvolvidas e a expansão do uso de insumos industrializados contribuíssem com a difusão de novas tecnologias na agricultura, talvez a garantia da segurança alimentar tenha sido o argumento consensual e principal motor do progresso técnico. Nas palavras de Kloppenburg (1988): *“It was this volatile mix of business, philanthropy, science and politics that marked the Green Revolution”*.

biotecnológicos, práticas agronômicas modernas e inovações administrativas, acumularam-se aos insumos químicos, mecânicos e biológicos pilares da trajetória tecnológica agrícola associada ao período da Revolução Verde.

Argumenta-se que o maior conteúdo tecnológico das tarefas produtivas agrícolas possibilitou, aos produtores mais especializados - fazendas comerciais e líderes setoriais da agroindústria-, ganhos significativos de competitividade em domínio global. No entanto, para permanecer competitivo ou mesmo tratar de problemas de natureza evolucionária, é necessário um processo contínuo de aprendizagem e inovação (Hall, 2006). Para isso, dado o caráter multidisciplinar das atividades agrícolas, tornou-se imprescindível o acesso ao conhecimento de vários tipos diferentes de bases de conhecimento. Nesses termos, conclui-se que a formação de parcerias, redes e outras formas de alianças, para além das atividades de pesquisa científicas básicas, são estratégias de inovação fundamentais neste setor.

“No caso da agricultura, há um problema relacionado aos padrões históricos de desenvolvimento de capacidade em ciência e tecnologia e aos conceitos que definiram a prática adequada 40-50 anos atrás. Naquela época pensava-se desejável a criação de organizações de pesquisa agrícola especialistas, produtoras de tecnologias validadas cientificamente, adotadas posteriormente por agricultores e demais agentes. É claro que estes “centros de excelência” são importantes, porém, sabe-se que igualmente crucial é a forma como o trabalho destas organizações integra e interage com outras formas de conhecimento (Hall, 2005)”.

Imbuídos desta visão sistêmica do progresso técnico agrícola, Ekboir e Parellada (2002) traçam um breve histórico da difusão do plantio direto na agricultura argentina. A pesquisa ressalta as interações formais e informais, entre pesquisadores, agricultores e firmas ofertantes de insumos agrícolas, decisivas para o desenvolvimento da tecnologia em questão. Destaca-se o papel da Associação Argentina de Produtores em Plantio Direto (AAPRESID) na coordenação das interações entre os agentes engajados neste processo, com ênfase na difusão de informações diretamente relacionadas às demandas dos agricultores.

Jayne *et all.* (2003) aponta fatores estruturais e conjunturais que impedem o desenvolvimento do mercado de fertilizantes em países da África. A despeito dos gargalos em infraestrutura de transporte, da logística pouco desenvolvida e do baixo poder aquisitivo de

grande parte dos agricultores, a análise comparativa dos mercados de Etiópia, Quênia e Zâmbia revela que fatores institucionais e organizacionais específicos de cada região representam os maiores entraves à difusão dos fertilizantes químicos. Em que pese as incertezas relacionadas aos programas de distribuição dos insumos que dificultam a formulação de estratégias comerciais de longo prazo.

Rausser, Simon e Ameden (2000) adotam a perspectiva sistêmica para tratar o tema das parcerias entre universidades públicas e organizações privadas. Para os autores, a questão não é se as universidades públicas e demais instituições públicas de pesquisa devem lidar com o mundo exterior, mas a forma concreta desta interação. O estudo de caso da aliança *Berkeley- Novartis* ilumina os mecanismos elaborados para que os projetos de pesquisa financiados pela firma permanecessem sob o controle do corpo docente, ao invés de deixar a tomada de decisões para os legisladores, burocratas e funcionários de empresas.

Borges (2010) avalia como a percepção de riscos e benefícios por parte dos *stakeholders* pode influenciar o desenvolvimento da engenharia genética na agricultura. O estudo aponta que o contato direto com as atividades agrícolas tende a reduzir à oposição aos cultivos geneticamente modificados (GM). Nesse sentido, países de grande população rural estão mais propensos a acessar os benefícios econômicos e ambientais dos cultivos geneticamente modificados. Graff, Hochman e Zilberman (2009) enfatizam a atuação de grupos de interesses no intuito de caracterizar negativamente a tecnologia GM junto à opinião pública. Numa perspectiva schumpeteriana, fundamentada no processo de destruição criativa atribuído à difusão dos GM, argumenta-se que firmas incumbentes do setor agroquímico, grupos específicos de fazendeiros e ativistas ambientais, atuam racionalmente em interesse próprio com o objetivo de bloquear e atrasar a difusão destas inovações.

Hall e Clark (1995) ilustram a diversidade de fatores que os agricultores assumem para avaliar o desempenho de novas tecnologias. O estudo conclui que a adoção dos inoculantes, em diferentes regiões de cultivo de soja na Tailândia, não foi guiada apenas pelos efeitos da tecnologia sobre a quantidade produzida. Fatores observados pelos agricultores, como melhoras na germinação das sementes e na matéria orgânica do solo, não previstos pelos pesquisadores na

etapa de desenvolvimento da tecnologia, mostraram-se decisivos na difusão dos inoculantes. O argumento sustenta a tese de que existem duas metades no sistema de inovações agrícola ideal, um lado circunscrito pelo conhecimento codificado na ciência agrícola formal e, a outra metade, relativa ao contexto de aplicação da inovação.

Conforme será discutido no próximo capítulo, o ritmo e a direção do progresso na tecnologia da inoculação são fortemente influenciados pelo contexto de aplicação das inovações. Alguns fatores determinantes da demanda por inoculantes não fazem parte dos parâmetros de busca e seleção por novidades das firmas. Tal constatação vai de encontro à interpretação do padrão de mudança tecnológica na agricultura proposto por Pavitt (1984), que identifica o modelo de progresso tecnológico na agricultura como um fenômeno dominado pelos ofertantes, cuja trajetória tecnológica é do tipo *cost-cutting*.

Segundo Possas *et al.*(1996) a análise de Pavitt é parte integrante de uma abordagem mais geral do progresso técnico, posto que para além das firmas dos setores de insumos agrícolas (defensivos, fertilizantes, sementes, tratores e máquinas) e dos setores de alimentação, as instituições públicas de pesquisa agrícola e extensão rural e o conhecimento em nível regional acumulado pelos agricultores exercem grande influência sobre a trajetória tecnológica agrícola.

A partir desta perspectiva sistêmica, o presente trabalho discute as características da mudança técnica agrícola com ênfase nos fatores determinantes da demanda por inovações no setor produtor de inoculantes. Embora nas lavouras de soja o uso de inoculantes seja justificado pela redução dos custos na etapa da nutrição vegetal, a justificativa para a difusão destes produtos em demais lavouras como o milho e a cana-de-açúcar requer a avaliação de fenômenos que extrapolam o âmbito das funções de produção características. Uma vez que a mudança técnica não altera a quantidade produzida e significa um incremento de custo da produção.

II. Nutrição Vegetal, Fertilizantes e Inoculantes

Este capítulo aborda os setores alvos do estudo, fertilizantes minerais e inoculantes. Antes disso, são apresentados alguns conceitos básicos da nutrição vegetal com o intuito de melhor posicionar a discussão acerca da substituição dos fertilizantes minerais pelos inoculantes. Afirma-se que a tecnologia da inoculação é capaz de suprir toda a demanda por nitrogênio das lavouras de soja no Brasil.

A análise da cadeia dos fertilizantes minerais descreve a estrutura e a organização das firmas do setor. Ressalta-se a elevada imobilização de capital em ativos físicos e as estratégias de integração vertical das atividades de produção de matéria-prima e fertilizantes básicos. Com relação ao segmento dos fertilizantes finais, o estudo destaca os ganhos competitivos regionais proporcionados pela estrutura tarifária. Em item separado, avalia-se o segmento produtor de fertilizantes nitrogenados, com ênfase nos investimentos em expansão da capacidade de produção de uréia projetados pela Petrobrás. A relevância para a economia nacional do plano estratégico da Petrobrás é tal que, quando concluídos, tais investimentos conduzirão o país à auto-suficiência em fertilizantes nitrogenados. Uma vez posta esta condição, questiona-se a reação das firmas exportadoras desses produtos para o Brasil e os mecanismos de defesa do poder de mercado adotados. De modo semelhante, cabe questionar qual será o impacto desses investimentos sobre o financiamento público de pesquisas para descoberta de produtos substitutos dos fertilizantes nitrogenados, como por exemplo, os inoculantes.

A análise da evolução dos inoculantes na cultura da soja resgata o conceito de trajetória tecnológica ampliada, formulado no capítulo anterior. Isto porque, o desenvolvimento da tecnologia da inoculação ocorre concomitantemente à descoberta de cultivares superiores da soja, e implica no aporte “em bloco” de novos conhecimentos às lavouras. Ao contrário da dinâmica de interação entre os cultivares superiores e os fertilizantes minerais, a difusão de plantas com produtividade elevada não requer a aplicação de doses maiores de inoculantes no solo, e sim, a descoberta de estirpes mais adaptadas ao novo material genético, com maior eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN).

II.1. Nutrição Vegetal

Qualquer pedaço de terra, qualquer solo, é composto por quatro partes: ar, água, matéria orgânica e porção mineral. O solo sustenta as plantas e forma uma capa permeável para as raízes, além de desempenhar a função de depósito de nutrientes. Os nutrientes presentes no solo são absorvidos pela superfície radicular. A superfície foliar, por sua vez, permite a captação da energia solar. Entre as duas superfícies está o sistema de transporte, composto por vasos condutores.

Em condições naturais, percebidas em florestas nativas ou terras inexploradas, a maior parte dos elementos requeridos para a nutrição adequada às plantas encontra-se previamente disponível no solo. Isto ocorre porque os nutrientes liberados por plantas em estágio de decomposição enriquecem a fertilidade natural e desenham a cobertura vegetal em tela. No entanto, a lógica de produção atual das lavouras não compreende a etapa de decomposição vegetal. Por esse motivo, a produção agrícola não restitui ao solo os nutrientes carregados com a colheita. Quer dizer, a continuidade da produção agrícola acarreta no esgotamento da fertilidade natural do solo e compromete o rendimento de produções subsequentes. O desenvolvimento de fertilizantes minerais capazes de ofertar nutrientes em formato assimilável pelas plantas representa um ponto de inflexão no sistema de produção agrícola.

Na primeira metade do século XIX, o progresso tecnológico em curso na indústria química alemã foi capaz de transbordar em outras áreas do conhecimento. Na química inorgânica, a formalização científica de fenômenos importantes da nutrição vegetal forjou os elementos da trajetória tecnológica dos fertilizantes minerais. Dentre estes, destacam-se as pesquisas que resultaram na identificação dos elementos essenciais¹² para o crescimento das plantas.

¹² Arnon e Stout (1939) estabeleceram três critérios que devem ser atendidos para que um elemento possa ser considerado essencial: (1) O elemento é essencial se sua deficiência impede que planta complete o seu ciclo vital. (2) Para que um elemento seja essencial, ele não pode ser substituído por outro com propriedades similares. (3) O elemento deve participar diretamente do metabolismo da planta.

Tabela 01: Relação dos elementos essenciais da nutrição vegetal

Elemento	Autor	Ano
Carbono (C)	Saussure	1804
Oxigênio (O)	Saussure	1804
Hidrogênio (H)	Saussure	1804
Nitrogênio (N)	Saussure	1804
Potássio (K)	Sachs e Knop	1860
Cálcio (Ca)	Sachs e Knop	1860
Fósforo (P)	Vill	1860
Magnésio (Mg)	Sachs e Knop	1860
Ferro (Fe)	Sachs e Knop	1860
Enxofre (S)	Sachs e Knop	1865
Manganês (Mn)	Mazé e McHargue	1915
Boro (B)	Warington	1923
Zinco (Zn)	Sommer e Lipman	1926
Cobre (Cu)	Lipman e McKinney	1931
Molibdênio (Mo)	Arno e Stout	1938
Cloro (Cl)	Broyer <i>et al.</i>	1954
Níquel (Ni)	Brown <i>et al.</i>	1987

Fonte: Malavolta (2002); Novais *et al.* (2006).

A manutenção da fertilidade do solo em áreas de produtividade agrícola elevada exige a utilização de fontes externas de nutrientes. Os fertilizantes minerais constituem a principal fonte externa de nutrientes adotada na produção agrícola mundial¹³. O conhecimento aplicado na recomendação do volume de adubação adequado às lavouras provém de contribuições multidisciplinares. No entanto, a resposta das plantas à oferta de nutrientes (fonte mineral ou orgânica) é condicionada por fatores químicos, físicos e biológicos que determinam a fertilidade do solo.

Ainda que a fertilidade natural do solo apresente características regionais, os nutrientes mais requeridos pelas plantas não são cometidos a grandes variações regionais. Estes elementos são classificados em dois grandes grupos, de acordo com a quantidade exigida na nutrição vegetal. Os macronutrientes (C,H,O,N,P,K,Ca,Mg e S) correspondem aos elementos requeridos

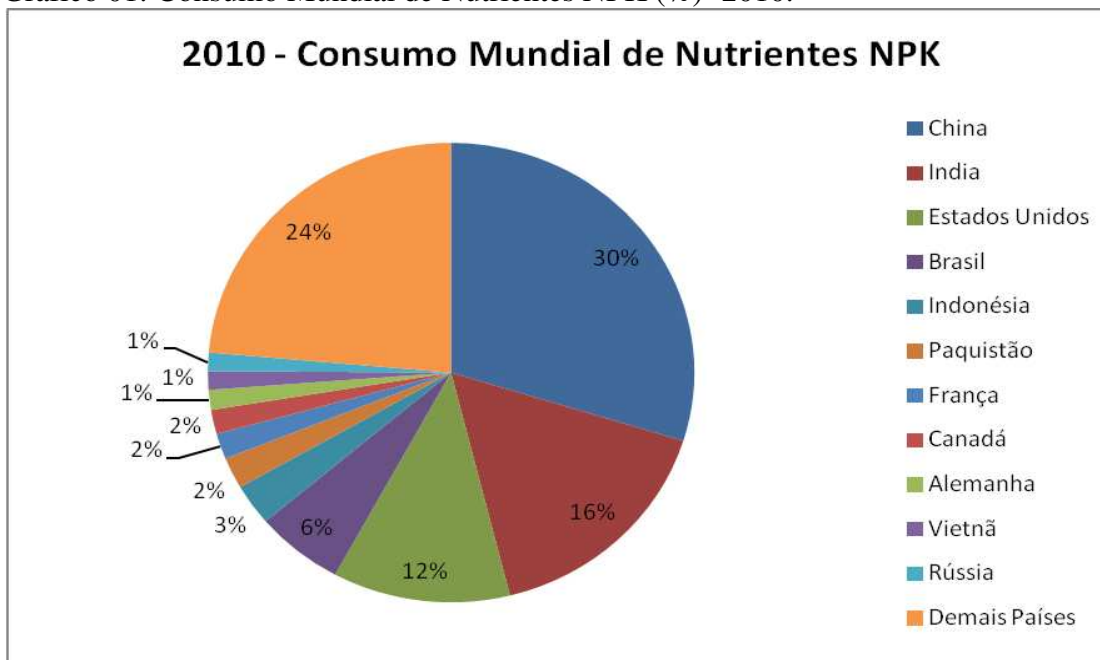
¹³ Devido à baixa concentração de nutrientes em suas formulações, os adubos orgânicos não prescindem o suplemento de fertilizantes minerais, Mesmo assim, os adubos orgânicos são altamente recomendados uma vez que melhoram a fertilidade natural do solo (capacidade de adsorção) e aumentam a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas.

em maior quantidade no processo de nutrição vegetal. Demandados em menor quantidade, os micronutrientes (B,Cl,Cu,Fe,Mn,Mo,Ni e Zn) cumprem funções específicas no crescimento das plantas e não podem ser substituídos por outros elementos. Quase todos estes elementos essenciais são absorvidos do solo, à exceção de carbono, hidrogênio e oxigênio, os quais as plantas retiram do ar.

Do ponto de vista industrial, o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K) são os elementos mais importantes. Nas palavras de Malavolta (2002), qualquer material natural ou industrializado que contenha ao menos cinco por cento de macronutrientes em sua composição pode ser classificado como fertilizante ou adubo. A descoberta isolada dos elementos químicos essenciais para a nutrição vegetal, apresentada na tabela 01 acima, não acarretou imediatamente na fabricação em larga escala de fertilizantes minerais.

A classificação habitual dos produtos da indústria de fertilizantes expressa o percentual de macronutrientes NPK presente em uma tonelada do adubo. De acordo com a Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes (IFA, 2011), a demanda mundial de nutrientes NPK no ano de 2010 foi de 164 milhões de toneladas. O valor estimado da produção mundial de adubos NPK no mesmo ano ultrapassou a marca dos US\$ 100 bilhões. Em conjunto, China, Índia e Estados Unidos representam mais da metade do consumo mundial de fertilizantes. Cabe ressaltar que o grau de disponibilidade de matéria prima em fontes economicamente exploráveis influencia o *ranking* mundial dos principais produtores de fertilizantes. Metade da produção mundial de potássio, por exemplo, está concentrada na Rússia e no Canadá. A extensão do mercado mundial de fertilizantes indica a importância do setor na economia dos países.

Gráfico 01: Consumo Mundial de Nutrientes NPK (%)- 2010.

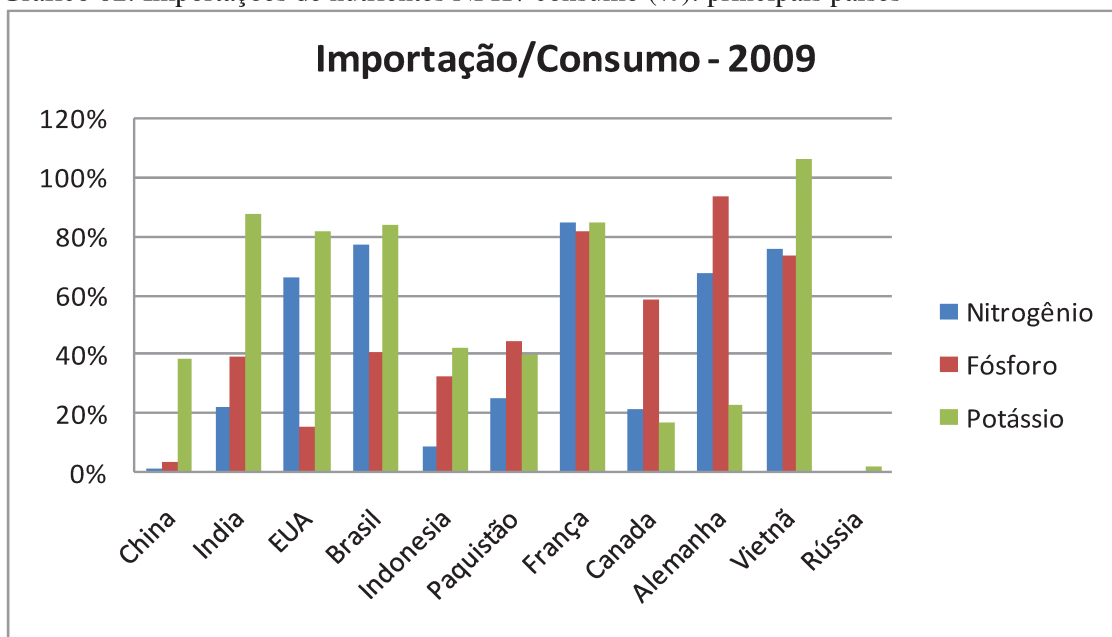


Fonte: ANDA (2010).

A conjugação entre elevada concentração geográfica da produção, provocada pela concentração das reservas minerais de matéria prima, e o caráter essencial deste insumo para as atividades agrícolas resulta em intenso comércio internacional de adubos. De fato, o elevado nível de comércio internacional da produção total é um traço marcante do setor de fertilizantes. Huang *et all.* (2008) e Dawson e Hilton (2011) indicam que a matéria prima é responsável por grande parte dos custos de produção dos fertilizantes.

Nesse contexto, os principais países exportadores de fertilizantes possuem abundância de reservas naturais de matéria-prima em seus territórios. Em outra perspectiva, o gráfico a seguir revela a dependência dos principais países consumidores de fertilizantes por nutrientes importados. Nota-se que a relação entre a quantidade de nutrientes importados e fertilizantes consumidos no Brasil não difere do padrão mundial.

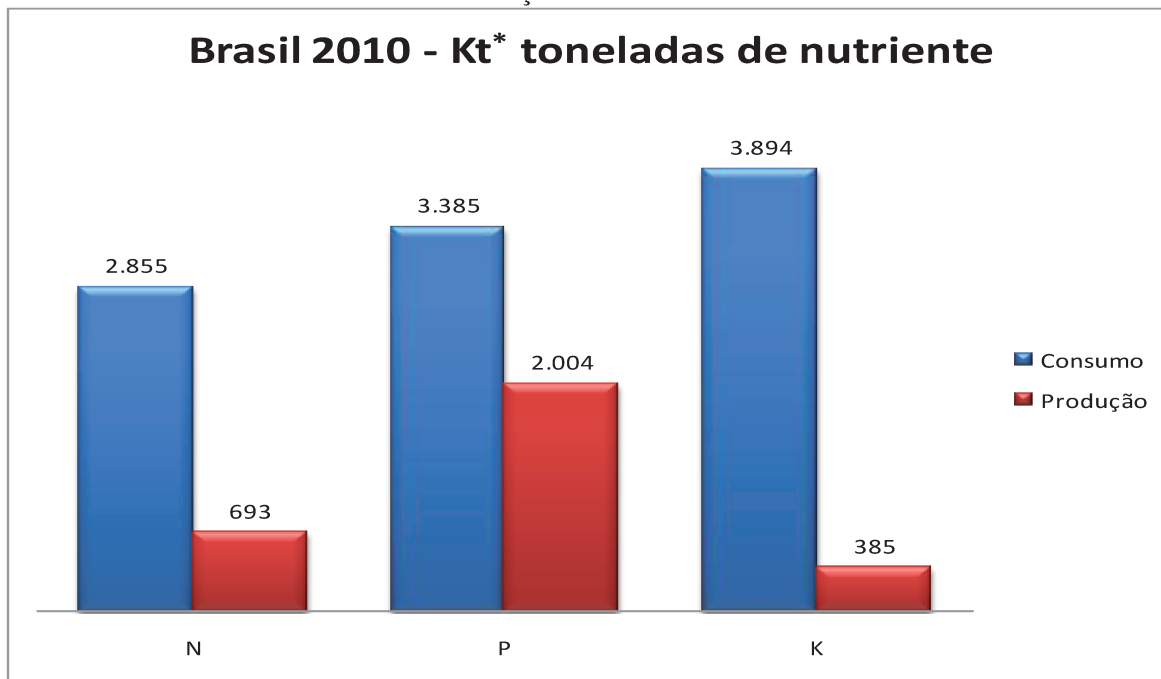
Gráfico 02: Importações de nutrientes NPK / consumo (%): principais países



Fonte: FAOSTAT.

Conquanto ocupe a quarta posição no mercado consumidor mundial de nutrientes, o Brasil não se destaca como grande produtor de adubos. O próximo item deste trabalho pretende analisar a indústria brasileira de fertilizantes.

Gráfico 03: Brasil 2010 – Consumo x Produção de Nutrientes



Fonte: ANDA (2010). * Kt = Mil toneladas

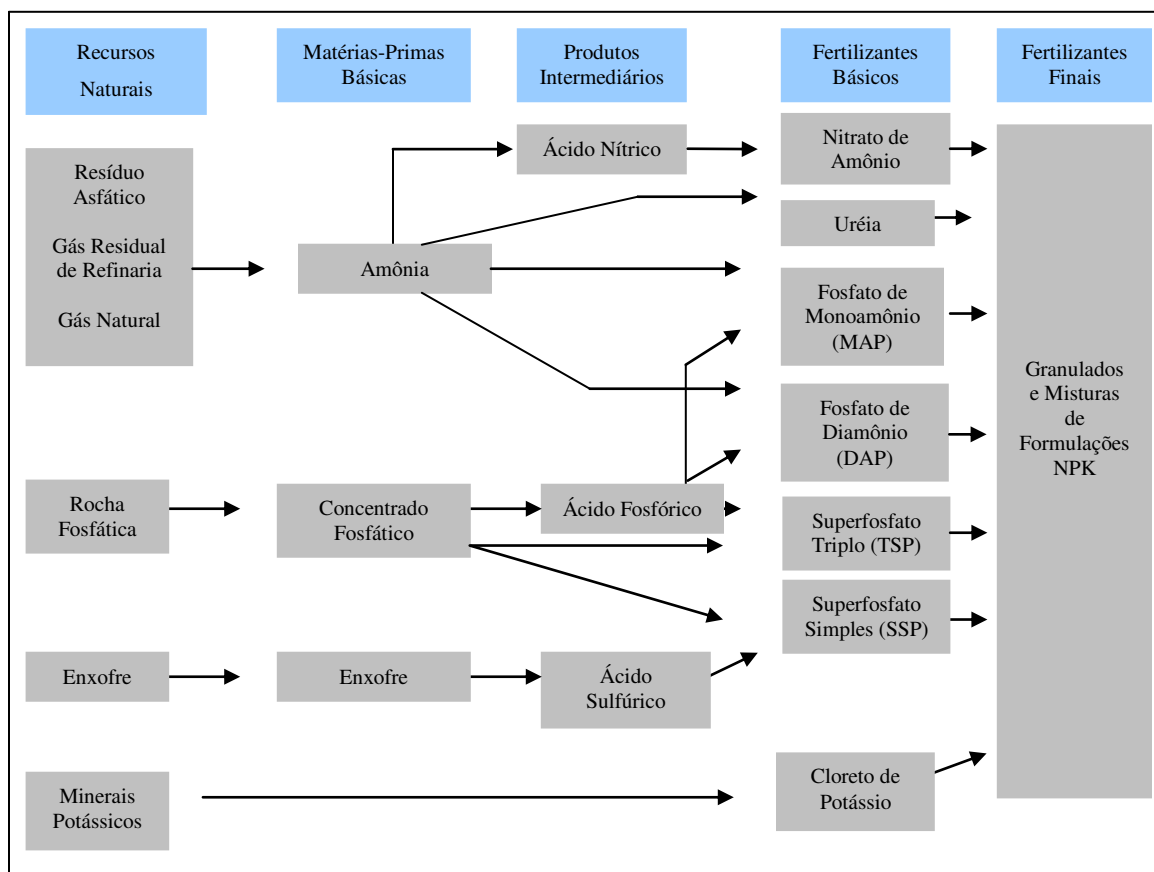
II.2. Indústria de Fertilizantes no Brasil

Dados da pesquisa industrial anual de produtos (PIA-Produtos) realizada pelo IBGE indicam que a extensão do mercado brasileiro de fertilizantes NPK no ano de 2009 foi de aproximadamente R\$ 12 bilhões. Essa magnitude posiciona, de acordo com o valor total das vendas, os fertilizantes NPK entre os 15 maiores produtos da economia nacional. Com base na PIA-Produtos (2009), observa-se que o mercado nacional dos adubos NPK é maior que o de televisores e refrigeradores juntos.

Embora os adubos sejam comercializados em formulações compostas NPK, a indústria de fertilizantes minerais apresenta etapas produtivas que compreende atividades econômicas distintas. O primeiro elo da cadeia atua na extração de recursos naturais não renováveis, como o gás natural, utilizados de matéria prima na fabricação dos produtos intermediários. Afirma-se que a dimensão dos gastos irrecuperáveis nas atividades de extração e beneficiamento da matéria prima constitui a principal barreira à entrada na indústria de fertilizantes (BNDES, 1995; IFA, 2011; Saab e Almeida, 2008).

De certo modo, o fato da matéria prima básica provir de recursos não renováveis limita os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de inovações nas atividades relacionadas ao primeiro elo da cadeia dos fertilizantes. Isto porque, o processo de fabricação da matéria prima é condicionado por fenômenos como o grau de impurezas, o teor de nutriente recuperável e o nível de disponibilidade do recurso mineral. Em conjunto, tais características são fiadoras da viabilidade econômica da reserva geológica e, além disso, influenciam a trajetória tecnológica das etapas à jusante.

Figura 01: Cadeia produtiva da indústria de fertilizantes



Fonte: BNDES (1995).

Um atributo comum às rotas tecnológicas de nitrogênio, fósforo e potássio mineral trata-se da integração vertical das atividades de extração dos recursos naturais, produtos intermediários e fertilizantes básicos. No mercado global de fertilizantes, estratégias empresariais bem sucedidas de integração vertical das atividades proporcionam ganhos de competitividade sistêmicos (IFPRI, 2011; PotashCorp, 2008). A relativa estabilidade dos fatores de conversão¹⁴ e a reduzida diferenciação dos produtos são elementos indicativos da maturidade tecnológica na produção dos fertilizantes básicos. Pode-se afirmar que a estrutura de custos das firmas neste mercado é determinada em grande medida pelos custos diretos.

¹⁴ Por exemplo, para a fabricação de 1 tonelada de MAP (fosfato de monoamônio) são necessários: 0,13 ton de amônia; 0,5 ton de enxofre; 1,65 ton de rocha fosfática.

Semelhante à indústria petroquímica, descrito em Suarez (1986), as vantagens competitivas obtidas pela firma do setor de fertilizantes integrada verticalmente contemplam desde economias de escala técnicas, fruto da integração em processo contínuo das atividades de extração, beneficiamento, fabricação e armazenamento, até economias pecuniárias que possibilitam evitar choques na produtividade da firma, provocados por oscilações no preço dos insumos básicos. Desse modo, as empresas líderes do setor concentram suas atividades industriais em complexos integrados, com capacidade para produzir milhares de toneladas de fertilizantes básicos por ano.

O formato mais recorrente da organização industrial da cadeia dos fertilizantes, até a etapa dos fertilizantes básicos, está identificado no conceito de oligopólio homogêneo, fenômeno alvo da análise clássica de Sylos-Labini (1957), caracterizado por significativas descontinuidades tecnológicas e economias de escala. Em função da imobilização de elevada quantidade de capital nas atividades de extração dos recursos naturais, insumos básicos da cadeia, os investimentos nas etapas de produtos intermediários e fertilizantes básicos são realizados a partir da garantia do suprimento daqueles insumos. No Brasil, este tipo de análise é válido para toda a cadeia de fertilizantes, com exceção da etapa dos fertilizantes finais.

No segmento de fertilizantes finais, a principal vantagem competitiva das firmas “misturadoras¹⁵” estabelecidas frente às entrantes em potencial diz respeito aos custos fixos. Gastos com campanhas de diferenciação do produto e capacitação mercadológica regional são exemplos de estratégias eficientes para o crescimento das firmas neste setor. As dimensões continentais do país e a imobilidade das fontes de matéria prima implicam em gastos com transporte dos adubos até o consumidor final que dificultam a concentração do mercado em poucas firmas. Nesse contexto, a estrutura tributária diferenciada entre as operações de

¹⁵ Os processos adotados para a produção de formulações finais resultam em três grupos de produtos bem definidos: granulados, mistura de grãos e mistura em pó. Na produção de fertilizantes granulados as matérias-primas são alimentadas na forma de pó ou mesmo fluídas, sendo aglomeradas conjuntamente de forma a produzir grânulos de composição homogênea. A mistura de grãos, técnica mais difundida no país, procura homogeneizar as distribuições granulométricas sem proceder à decomposição das matérias-primas em pó. Na mistura em pó, defasada tecnologicamente, é realizada a mistura direta dos componentes das formulações por meio de pás, betoneiras ou misturadores rotativos (Novais *et al.*, 2006).

importação e de comércio interestadual representa outro fator com efeitos diretos sobre o ambiente concorrencial do segmento.

O principal imposto incidente sobre o comércio dos produtos da cadeia dos fertilizantes é o ICMS interestadual, que pode variar entre 4,95 e 8,4% dependendo da origem e do destino da mercadoria (SEAE, 2011). No entanto, o ICMS só incide sobre o comércio interestadual de produtos nacionais. O imposto de importação foi reduzido a 0% desde 2006, mesmo que o importador esteja em regiões não portuárias. Desse modo, caso importador e consumidor operem no mesmo Estado, não há cobrança tarifária sobre o comércio dos produtos importados desde a fabricação até o consumo dos fertilizantes (SEAE, 2011). Misturadoras localizadas em Estados não produtores de fertilizantes básicos recebem um incentivo fiscal para a compra de produtos importados. Nota-se que nesse caso o comércio de fertilizantes está isento de cobrança tarifária, mesmo que o Estado não seja produtor de insumos básicos e não possua região portuária.

A despeito da estrutura tarifária, o segmento dos fertilizantes finais tem apresentado um ritmo de mudança técnica distinto das demais etapas da cadeia. Fertilizantes fluídos com elevada concentração de elementos, microcápsulas com liberação controlada de nutrientes, produtos específicos para fertirrigação, dentre outros, são exemplos de inovações capazes de superar os ganhos competitivos regionais. No entanto, os granulados NPK representam mais de 90% do mercado nacional segundo as estatísticas mais recentes (ANDA, 2010).

O mercado de fertilizantes é altamente sazonal, sendo a maior parte das vendas concentradas no segundo semestre, o que demanda uma forte logística de estocagem e produção por parte das firmas misturadoras (Kulaif, 2009). Agricultores menos capitalizados encontram dificuldades em armazenar os fertilizantes nas condições ideais que evitam o empedramento e o agrupamento por tamanho dos grânulos. Por falta de instalações adequadas como paióis ou galpões, além de evitar incorrer em riscos procedentes do armazenamento não segurado de alto valor em mercadorias, os produtores optam por adquirir os fertilizantes no momento mais próximo possível da adubação das lavouras. Argumenta-se que a sazonalidade dos ciclos agrícolas constitui elemento determinante da dinâmica comercial na etapa final da cadeia dos fertilizantes.

As principais culturas demandantes de fertilizantes no Brasil são a soja e o milho (ANDA, 2010). Nesse contexto, Leme e Zylberstajn (2008) ressaltam que a aquisição de fertilizantes pelos produtores de soja pode ocorrer por meio do mercado *spot* ou na forma de pacotes de insumos e serviços. Além da compra com emprego de recursos próprios, os agricultores de soja têm a opção de adquirir os fertilizantes lastreando o pagamento ao compromisso de entrega futura de parcela da produção, utilizando o contrato de soja verde. Nesse tipo de contrato, o produtor se compromete a entregar para a empresa que lhe vendeu o fertilizante o valor da transação em soja, após a colheita. Desse modo, o agricultor, comprometido com outras despesas no período da entressafra, tem a opção de financiar os gastos com adubos sem a presença de intermediários financeiros.

Segundo os autores supramencionados, tal modalidade de crédito estende-se a outros cultivos e pode ser operada por cooperativas, revendedores e firmas misturadoras. É importante destacar que aquela pesquisa reforça o papel do financiamento privado na dinâmica do mercado de fertilizantes. Tais argumentos sustentam a hipótese de Nicolella, Dragone e Bacha (2002) de que a demanda por fertilizantes é inelástica a variações de preço e ao volume de crédito rural de programas governamentais. Fato coerente com as estimativas internacionais e com a essencialidade que o fertilizante tem para a agricultura brasileira.

Os primeiros trabalhos empíricos sobre demanda de fertilizantes no Brasil foram desenvolvidos na década de 70, e avaliaram desde a demanda de fertilizantes por Estado (São Paulo), até o nível de região e país (Carmo, 1982). Em linhas gerais, as pesquisas apontam que, no mercado brasileiro de fertilizantes, aspectos como os preços recebidos pelos agricultores são determinantes na magnitude da demanda. Em outra perspectiva, FAO (2008) traça estimativas para a demanda por nutrientes englobando variáveis agronômicas como a quantidade de fertilizantes aplicados no período anterior.

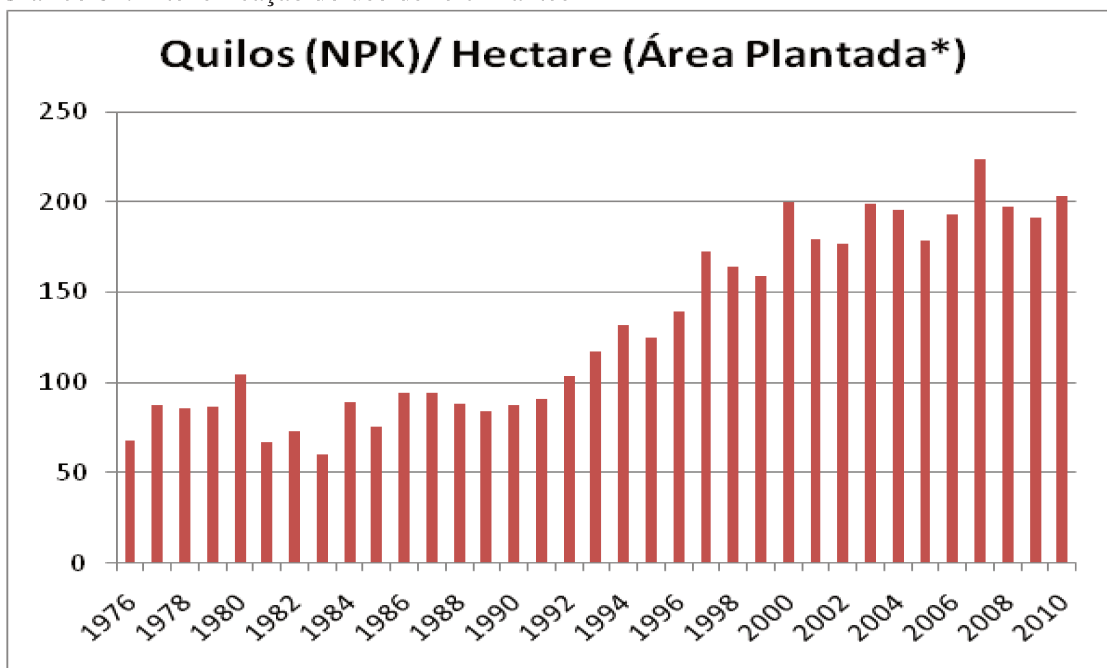
No Brasil, as relações de troca¹⁶ entre os fertilizantes minerais e produtos agrícolas selecionados indicam uma evolução favorável ao agricultor. No caso do cultivo de algodão, por exemplo, no ano de 2001 foi necessário comercializar 53 sacos de 15 quilos de algodão para

¹⁶ Dados disponíveis em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=550&t=2>

comprar uma tonelada de fertilizantes. No ano de 2011, esta relação de troca caiu para 10 sacos de 15 quilos de algodão por uma tonelada de fertilizantes.

Insumo básico da produção de alimentos, os fertilizantes contribuem para elevar a rentabilidade das lavouras comerciais. Dados disponibilizados pela CONAB sobre a série histórica de produção dos principais cultivos no Brasil indicam que, desde 1980, a evolução no consumo de fertilizantes ocorre num cenário de pequeno crescimento da área plantada. Nesse período a intensificação no uso de insumos por hectare contribuiu para o crescimento da produtividade da agricultura brasileira (IPEA, 2004). O quadro abaixo facilita a comparação entre a evolução na demanda nacional de fertilizantes, expressa em toneladas de nutrientes NPK, e a série histórica de área plantada com os 18 principais cultivos do país.

Gráfico 04: Intensificação do uso de fertilizantes



Fontes: CONAB (2012), ANDA (2010).

* Série Histórica da CONAB da área plantada com lavouras de algodão, amendoim, arroz, aveia, canola, centeio, cevada, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, trigo, triticale.

Não obstante, a grande dependência em importações para suprir a demanda nacional é uma característica compartilhada por todos os mercados de nutrientes no país. Afirma-se que em

2009, cerca de 60% da oferta brasileira de fertilizantes registrou a participação de produtos importados (ANDA, 2010). A grande parcela de importações na cadeia de fertilizantes remete ao segmento de fertilizantes básicos. Nesse contexto, as compras externas de cloreto de potássio, uréia, sulfato de amônio e enxofre têm grande impacto na balança comercial do setor.

Estimativas de comércio internacional indicam que, para valores FOB expressos em dólares correntes de 2009, o total de importações brasileiras de matérias primas e produtos intermediários de fertilizantes alcançou o patamar de US\$ 4,5 bilhões (ANDA, 2010). Ao avaliar a quantidade irrisória das exportações de fertilizantes fabricados no Brasil, pode-se acessar o impacto negativo dos fertilizantes no saldo em balança comercial do país.

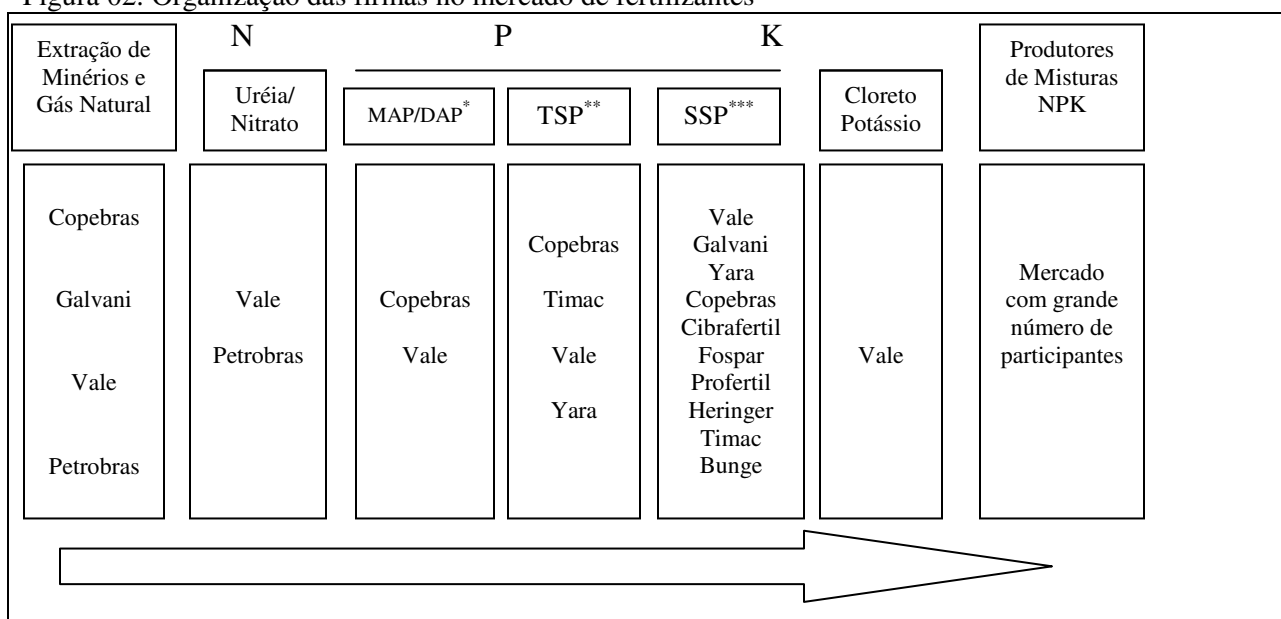
Do lado da oferta, o nível de complexidade das atividades requer análises distintas para cada nutriente. Logo que as atividades produtivas da cadeia dos fertilizantes englobam diversas áreas do conhecimento. A produção de substâncias minerais, por exemplo, utiliza conhecimentos geológicos para identificação de jazidas no território nacional. Projetos para construção de plantas industriais (*greenfield*) dependem de avaliações de impacto ambiental do empreendimento. No caso dos fertilizantes potássicos, a concessão da única reserva de matéria prima em atividade no país trata-se de um fator que sanciona a organização industrial neste segmento.

A evolução histórica da estrutura da cadeia dos fertilizantes no Brasil, tratada a exaustão por BNDES (1995, 2006, 2009), não permaneceu independente às transformações na orientação da política econômica. Até o início dos anos 1990, havia uma marcante presença estatal na produção de matéria-prima e produtos básicos, por intermédio de companhias como Fosfertil, Ultrafertil, Goiásfertil e Indag. Entre 1992 e 1993, dentro do Programa Nacional de Desestatização (PND), essas empresas foram privatizadas. No período posterior às privatizações teve início um processo mais acentuado de fusões e aquisições que culminou com o fortalecimento dos grupos privados Fosfertil, Bunge, Mosaic e Yara (Valor Econômico, 2008).

Em maio de 2010, a Companhia Vale do Rio Doce concluiu a aquisição da Fosfertil (atual Vale Fertilizantes S/A) e dos ativos de fertilizantes da Bunge no Brasil (Vale Fosfatados). Estas

movimentações, em conjunto com a expansão da capacidade instalada de fertilizantes nitrogenados previstos no plano estratégico da Petrobrás para o período 2011-2015¹⁷, personificam a nova rodada de investimentos em curso, marcada pela intensificação do processo de concentração do capital e por uma maior integração das atividades produtivas. A reestruturação pós-privatização da cadeia dos fertilizantes no Brasil segue a dinâmica descrita por Rocha e Silveira (2009), em resumo, de retorno da participação estatal e consolidação de grupos econômicos nacionais. O quadro abaixo sintetiza a organização atual das firmas do mercado de fertilizantes.

Figura 02: Organização das firmas no mercado de fertilizantes



Fonte: ANDA (2010)

* MAP – Fosfato de Monoamônio (Concentração: N= 9%, P=46%). DAP- Fosfato de Diamônio (Concentração: N= 18%, P=46%)

** TSP- Superfosfato Triplo (Concentração: P=18%)

*** SSP- Superfosfato Simples (Concentração: P=42%)

A expansão das atividades da CVRD em diversos segmentos da cadeia dos fertilizantes faz parte de uma estratégia global da empresa. O conjunto de ativos formado pelos projetos internacionais Rio Colorado (Argentina) e Regina (Canadá) e a triplicação da produção de potássio no Sergipe, tornam a Vale um relevante *player* global no segmento de fertilizantes

¹⁷ Para maiores informações sobre este plano, acessar: http://www.slideshare.net/petrobrasri/apresentao-imprensa-pn-20112015?from=ss_embed

potássicos. Com relação ao mercado de fosfatados, à fusão dos ativos da Fosfertil e da Bunge no Brasil somam-se os projetos internacionais de extração mineral de rocha fosfática em Bayóvar (Perú) e Evate (Moçambique).

As expectativas de crescimento da demanda por fertilizantes na agricultura brasileira remetem ao novo padrão de desenvolvimento agrícola, descrito no primeiro capítulo deste trabalho. Qual seja, maior integração dos produtos agrícolas às atividades industriais e competitividade em domínio global. Nesse contexto, acentua-se a fragilidade da agricultura nacional relacionada à grande dependência em importações de fertilizantes.

A ameaça de quedas na produtividade da agricultura brasileira ocasionadas por flutuações nos preços dos fertilizantes importados compromete a competitividade do setor agrícola no mercado internacional. Em certa medida, a posição estratégica da agricultura na economia do país, indicada pelo número de empregos, contribuição ao PIB e obtenção de divisas internacionais, justifica os investimentos em ampliação da capacidade no setor de fertilizantes. A estratégia de expansão da Petrobrás no segmento de fertilizantes nitrogenados é tratada no próximo item.

II.2.1. Fertilizantes Nitrogenados

O nitrogênio constitui vários compostos essenciais às plantas, com destaque para os aminoácidos, os ácidos nucléicos e a clorofila. Nota-se que a deficiência de nitrogênio proporciona menor síntese de clorofila, inibindo o aproveitamento de luz solar como fonte de energia no processo fotossintético. Desse modo, a insuficiência de nitrogênio compromete a habilidade da planta de executar funções essenciais como a absorção de nutrientes e o incremento de proteínas (IFA,2009). Nas palavras de Dawson e Hilton (2011), *without the input of fertiliser nitrogen it is estimated that only half of the current global population can be supplied with sufficient food energy and protein.*

O desenvolvimento da indústria de fertilizantes nitrogenados é bastante recente. O uso comercial de fertilizantes nitrogenados data apenas do início do século XX, quando o guano

peruano, o salitre do Chile e vários resíduos orgânicos tornaram-se produtos comerciais. O ano de 1913 marca um ponto de inflexão na tecnologia de produtos à base de nitrogênio, quando Haber e Bosch realizaram a síntese direta da amônia. Mesmo cerca de um século após a difusão da inovação, a tecnologia de Haber-Bosch é empregada na síntese da amônia qualquer que seja o processo de preparação do gás de síntese.

Com efeito, a amônia é o insumo básico de diversas indústrias químicas. Plásticos, explosivos, tintas, são exemplos de produtos fabricados com derivados da amônia. No mercado de fertilizantes nitrogenados, a uréia destaca-se como produto de maior quantidade de nutriente por peso. Por esse motivo, o processo acoplado de fabricação de amônia e uréia, a partir do gás natural, se tornou a tecnologia dominante na produção de fertilizantes nitrogenados (IFPRI, 2011; PotashCorp, 2011).

No Brasil, a produção de uréia consome aproximadamente 40% da amônia fabricada no país (ANDA, 2010). Além das vantagens estáticas relacionadas à eficiência da uréia, as economias de escala e escopo obtidas pela integração gás natural-amônia-uréia proporcionam vantagens dinâmicas à fabricação deste nitrogenado. A integração de processos contínuos permite a superação de restrições físicas ao comércio de amônia e das especificidades dos ativos comercializados no mercado de gás natural.

Do ponto de vista das atividades na cadeia do gás natural, a presença de economias de rede implica na necessidade de atuação coordenada nas indústrias de exploração, produção, transporte e distribuição. Elevados índices de queima de gás natural ou grande capacidade instalada de transporte ociosa reduzem a competitividade e tencionam a elevação do custo total médio das empresas do segmento. Não obstante, setores industriais intensivos em gás natural podem se beneficiar dos ganhos de produtividade obtidos na produção do insumo.

Na cadeia dos fertilizantes, a expansão na produção de nitrogenados com base na tecnologia dominante (gás natural-amônia-uréia) precede a estabilidade no suprimento de gás natural ao empreendimento. No segmento de transporte de gás natural brasileiro, a estrutura de governança trilateral institucionalizada com a Lei 11.909 (Lei do Gás) objetiva reduzir os custos

de transação inerentes aos contratos de capacidade e incentivar a entrada de novos agentes em todos os segmentos da cadeia. Medidas como a separação dos direitos de propriedade da *commodity* do serviço de transporte do gás, e o novo modelo de regulação tarifária, permitem à firma transportadora atuar somente no seu mercado (Ferraro, 2010). Com efeito, a instituição do livre acesso à malha dutoviária nacional serve de atrativo para instalação de fábricas intensivas em derivados do gás natural em território brasileiro.

No setor de fertilizantes, conforme afirmado anteriormente, a tecnologia dominante na produção de nitrogenados tem como insumo principal o gás natural. O conjunto de atributos regulatórios da Lei 11.909 (Ferraro, 2010, pg.247) teoricamente desvincula as empresas interessadas em participar do mercado brasileiro de nitrogenados do investimento em infraestrutura de transporte de gás natural. Quer dizer, a governança trilateral no setor de gás natural proporciona uma significativa redução nas barreiras à entrada na indústria de fertilizantes e reduz incertezas relacionadas à estrutura de custo direto das empresas do segmento de nitrogenados.

O progresso tecnológico e a ampliação da capacidade produtiva global de fertilizantes nitrogenados são processos marcados por descontinuidades não desprezíveis. A indústria chinesa, por exemplo, possui apenas três tamanhos ótimos de escalas na produção de amônia: até 60 Kt-ano; até 180 Kt-ano; até 300 Kt-ano (IFA, 2009). Na economia brasileira, a título de comparação, ao alcançar o nível ótimo de operação a UFN III (Três Lagoas-MS) será capaz de produzir 716 Kt-ano de amônia.

Cabe ressaltar que as economias de escala e escopo são obtidas com base em características estruturais e permanentes da produção dos nitrogenados. Desse modo, o problema da concorrência no segmento deve ser considerado numa visão de longo prazo. O quadro abaixo apresenta a evolução da capacidade nacional de produção de amônia, assim como os investimentos previstos para o setor.

Figura 03: Estrutura da indústria brasileira de fertilizantes nitrogenados

Empresa	Ano de operação/ unidade	Matéria-prima	Capacidade de Produção (ton de amônia)
Vale	1970-Piaçaguera (SP)	Gás Natural	191.000
Vale	1972-Camaçari (BA)	Gás Natural	462.000
Petrobrás	1982-Laranjeiras (SE)	Gás Natural	412.500
Petrobrás	1982-Araucária (PR)	Resíduo Asfáltico	438.000
Petrobrás	2014-Três Lagoas (MS)	Gás Natural	716.000
Petrobrás	2015-Uberaba (MG)	Gás Natural	519.000
Petrobrás	2017-Linhares (ES)	Gás Natural	430.000

Fontes: Valor Econômico (2008); ANDA (2010).

A expansão da capacidade projetada irá repercutir no ambiente competitivo da indústria brasileira de fertilizantes nitrogenados. Análises dos impactos sobre a concorrência no setor, advindos da construção de plantas maiores e mais eficientes, poderão capturar a resposta dos demais agentes do mercado à estratégia de expansão da Petrobrás. Como irão reagir as instalações menos eficientes (menor escala) da indústria nacional? E as empresas estrangeiras exportadoras de nitrogenados, qual estratégia irão adotar para manter o poder de mercado no país?

O aumento na oferta nacional de nitrogênio trata-se de um objetivo em comum de todas as áreas do conhecimento envolvidas na nutrição vegetal e produção agrícola. Ações tomadas para a descoberta de fertilizantes mais eficientes, instalação de novas unidades de produção e o fortalecimento de fontes alternativas provedoras de nitrogênio às plantas compartilham do mesmo propósito, sustentar o nível de produção e rendimento da agricultura nacional.

Com esse intuito, o próximo item do trabalho descreve aspectos relacionados ao mercado de inoculantes. No caso das plantações de soja no Brasil a difusão da inoculação contribui com a fixação biológica de nitrogênio em detrimento do uso de fertilizantes minerais. A análise que segue tem como objetivo identificar possíveis gargalos e oportunidades para o mercado deste tipo de insumo no país.

II.3. Inoculantes

Os inoculantes são biofertilizantes que contêm microrganismos favoráveis ao crescimento de plantas. Estes microrganismos de importância agrícola¹⁸ podem ser fungos, bactérias, protozoários, ácaros, que desempenham papel fundamental nos processos de estruturação dos solos, ciclagem e aporte de nutrientes (Dobereiner, 1997). Inoculantes fabricados a partir de bactérias fixadoras de nitrogênio em leguminosas, ou em gramíneas, são amplamente aplicados na agricultura de diversos países. Produtos compostos por fungos que estimulam o sistema radicular de diferentes grupos de plantas são comercializados em menor escala. Nichos de mercado como o de insumos específicos para a produção de mudas clonais de eucalipto ou o comércio de biofungicidas atestam as possibilidades de crescimento do setor para além da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Contudo, em função dos objetivos deste trabalho, serão tratados com maior ênfase os produtos para fixação biológica de nitrogênio na soja.

Nestes termos, as bactérias fixadoras de nitrogênio podem ser classificadas, de acordo com o modo de vida no solo e a relação com as raízes das plantas, em três categorias: vida livre não associativa, vida livre associativa e simbiótica. Cabe ressaltar que a simbiose compreende a formação de nódulos na raiz da planta hospedeira e, só ocorre em plantas da família das leguminosas. Do ponto de vista industrial, as bactérias são classificadas em estirpes, diferenciadas de acordo com a capacidade de fixar o nitrogênio e transferi-lo para a planta (Baldani e Baldani, 2005).

¹⁸ Para maiores informações sobre microrganismos de importância agrícola e suas aplicações na agricultura brasileira, ver Hungria (1994).

Assim como se selecionam plantas e animais por suas características produtivas, também existe um enorme trabalho para selecionar estirpes de bactérias a fim de incorporá-las ao inoculante. As pesquisas para seleção de estirpes mais eficientes adotam critérios como a capacidade de colonização e infecção dos tecidos das plantas, capacidade de nodulação e fixação de nitrogênio, aspectos relacionados à competitividade das bactérias perante a população indígena de microrganismos do solo, à tolerância a estresses ambientais e à estabilidade genética (Araujo, 1981).

“Estabelece-se, então, um verdadeiro diálogo entre a bactéria e a planta hospedeira, envolvendo a ativação de vários genes e desencadeando processos específicos que permitem à bactéria penetrar na raiz, formar um cordão de infecção e provocar o crescimento das células do córtex da planta hospedeira, até resultar na formação de uma estrutura específica na planta, o nódulo, cuja função é alojar a bactéria e permitir que ela realize em condições adequadas o processo de fixação biológica do nitrogênio (Hungria, Campo e Mendes, 2007).”

Em contraste com os resultados obtidos em casas de experimento agrícola, nas condições naturais de solo diversos fatores podem limitar a nodulação, a fixação do nitrogênio e até a sobrevivência do microrganismo. O comportamento das estirpes apresenta diferenças regionais e especificidades para cada tipo de cultivo, as estirpes recomendadas para a soja não irão obter resultados semelhantes se aplicadas ao milho. Do mesmo modo, o desempenho das estirpes apresenta resultados distintos para cada tipo de cultivar.

No caso das bactérias simbióticas da soja, a eficiência da estirpe tem pouca validade quando avaliada isoladamente. Isto acontece porque a capacidade de fixação de nitrogênio também é influenciada pelas características genéticas da planta hospedeira. Conforme ressaltam Lopes e Giardini (1981), para que o sistema simbiótico soja x bactéria seja capaz de suprir a planta de nitrogênio na sua máxima potencialidade, há necessidade de uma perfeita compatibilidade entre os dois organismos. Nesse contexto, as atividades de seleção de bactérias evoluem em conjunto com o melhoramento genético dos cultivares de soja.

De fato, a busca por bactérias adaptadas às condições brasileiras de cultivo da soja avançou concomitantemente à expansão das lavouras de soja no país (Freire e Vidor, 1981; Alves, Boddey e Urquiaga, 2003). Como a soja não é nativa do Brasil, os solos brasileiros não

possuem bactérias nativas capazes de formar nódulos efetivos com a leguminosa. Afirma-se que tal fato impôs dificuldades extras à difusão dos inoculantes no país, devido ao desempenho insatisfatório dos produtos importados.

Com efeito, a soja foi apresentada à agricultura brasileira ainda no final do século XIX. No entanto, o cultivo permaneceu em base experimental até o início da década de 1940. Os primeiros estudos de avaliação de estirpes de bactérias conduzidos na seção de bacteriologia agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), na década de 1930, utilizaram bactérias isoladas de inoculantes importados dos EUA e da Austrália aplicadas à cultura do feijão (Lopes, 1974).

Nos primeiros anos da década de 1940, a soja passou a constar nas estatísticas oficiais de produção agrícola do Rio Grande do Sul. Nesse período, os esforços para o desenvolvimento e produção de inoculantes para a soja concentravam-se apenas na Secretaria de Estado do Rio Grande do Sul, sob a tutela da seção de microbiologia agrícola do Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO-RS), a partir de estirpes importadas.

No início dos anos 1950, a expansão das lavouras de soja para São Paulo, Paraná e Santa Catarina esteve atrelada à expansão das lavouras de trigo. Dado o conhecimento acumulado no sistema brasileiro de produção agrícola da época, a soja tornou-se a cultura de verão ideal quando plantada em rotação com o trigo cultivado nos meses de inverno (Alves, Boddey e Urquiaga, 2003). Cabe ressaltar o convênio formado neste período entre INTOSOJA/FECOTRIGO/IPAGRO/IPEAS¹⁹, que estendeu o financiamento das pesquisas para além do melhoramento vegetal e das práticas agronômicas, ao incluir atividades de desenvolvimento de produtos alimentares à base de soja.

Na esteira do aumento na área plantada com soja durante a década de 1950, os recursos humanos e financeiros da seção de microbiologia do IPAGRO se tornaram insuficientes para atender todas as demandas de produção e desenvolvimento de inoculantes em nível nacional. No

¹⁹ Em sequência, Instituto Privado de Fomento à Soja, Federação das Cooperativas Brasileiras de Trigo e Soja, Instituto de Pesquisas Agronômicas e Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul.

tocante à produção, as atividades foram reorganizadas com intuito de incentivar a participação de firmas privadas. Para isso, a transferência da tecnologia desenvolvida pela IPAGRO ocorreu gratuitamente. A coleção de estirpes de bactérias da seção de microbiologia agrícola (Coleção de Culturas SEMIA) foi disponibilizada, a partir de 1956, às firmas entrantes no setor de inoculantes.

Contudo, a “Coleção de Culturas SEMIA” original era formada apenas por estirpes importadas, sendo que várias destas não se mostraram adaptáveis às condições de solo e clima das lavouras de soja no Brasil. Ao mesmo tempo, a ausência de regulamentações acerca dos padrões desejáveis ao inoculante comercializado contribuiu para a difusão de produtos de baixa qualidade. Segundo Moretti (2007), a ausência de normas para adequação dos produtos aumentou a incerteza dos agricultores com relação aos efeitos da inoculação e provocou uma redução no uso desses produtos no mercado argentino. No Brasil, os benefícios da inoculação se tornaram perceptíveis com a descoberta de estirpes adaptadas ao solo nacional.

Os sistemas biológicos em que está inserida a produção agrícola evoluem até na ausência de intervenção humana. Nesse contexto, a continuidade das pesquisas para seleção de estirpes eficientes na FBN conseguiu, em 1966, o isolamento da primeira estirpe “adaptada” nacional. Tal fato significou um ponto de inflexão no desenvolvimento do mercado brasileiro de inoculantes. A “SEMIA 566” era capaz de nodular efetivamente as cultivares mais utilizadas de soja na época e, com isso, seu uso nos inoculantes repercutiu na maior adoção destes produtos (Hungria e Campo, 2007). Não obstante, na década de 1970, um desafio ainda maior se impôs aos microbiologistas envolvidos no desenvolvimento dos inoculantes: a expansão das lavouras de soja para os solos dos Cerrados brasileiro.

Para fins esquemáticos, a expansão das lavouras de soja nos Cerrados pode ser classificada como a segunda etapa do desenvolvimento do mercado nacional de inoculantes. A primeira etapa remete ao período de consolidação das lavouras nos Estados do Sul e Sudeste. A distinção entre as etapas é identificada através de uma visão sistêmica do processo de transformação do mercado de inoculantes, focada nas instituições e organizações atuantes no desenvolvimento tecnológico exigido para o sucesso da tarefa.

No processo de adaptação da tecnologia da inoculação às condições de cultivo da soja nos Cerrados, destaca-se o modelo de organização das atividades de pesquisa realizadas na Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa). A partir da década de 1970, a localização descentralizada no território nacional das unidades da Embrapa possibilitou a especialização das pesquisas por produtos, recursos e temáticas (Alves, 2010). Com isso, a Embrapa Cerrados exerceu papel central nos esforços de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que permitiram a adaptação das lavouras de soja à nova área de cultivo. Resgatando o conceito de trajetória tecnológica ampliada, o sucesso da expansão da soja nos solos dos Cerrados exigiu a evolução conjunta de cultivares, estirpes, insumos mecânicos, práticas agrônômicas, dentre outros. O “pacote tecnológico” adotado nas lavouras de soja das regiões Sul e Sudeste não logrou resultados satisfatórios quando aplicado aos Cerrados.

No caso dos inoculantes, foram concentrados esforços na seleção de bactérias apropriadas aos Cerrados, que conduziram à identificação de duas estirpes de *Bradyrhizobium elkanii*, a SEMIA 5019 e a SEMIA 587 (Hungria, Mendes e Campo, 2007). De fato, a continuidade dos trabalhos de seleção de estirpes eficientes para a cultura da soja, com vistas a atender a crescente demanda por nitrogênio das cultivares mais produtivas, é um fator decisivo para o sucesso da FBN no Brasil. O conhecimento acumulado nas organizações pioneiras em pesquisas para FBN como o IAC e a FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisas Agrônômicas, antigo IPAGRO)²⁰ está presente nas inovações desenvolvidas pela Embrapa Cerrados, a Embrapa Soja e a Embrapa Agrobiologia. Cabe enfatizar o prosseguimento do modelo de transferência gratuito de tecnologia, adotado desde o início das pesquisas para FBN no país.

Outra instituição importante para a difusão dos inoculantes diz respeito ao controle oficial da qualidade dos produtos, realizado desde 1975 pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento (MAPA). Através da inspeção do MAPA, todos os inoculantes comercializados no país se enquadram aos parâmetros de qualidade estabelecidos pelos agentes envolvidos em atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos. Dado a natureza evolucionária do sistema de produção e inovação agrícola os padrões de qualidade são revistos periodicamente. O processo de evolução conjunta entre as regulamentações dos produtos comercializados e as

²⁰ Para maiores informações acessar, <http://www.fepagro.rs.gov.br/>.

pesquisas para seleção de estirpes mais eficientes pode ser apontado como elemento decisivo do sucesso da FBN no Brasil.

As etapas da cadeia de produção dos inoculantes têm início, portanto, no laboratório, com as atividades de seleção de estirpes. As estirpes previamente selecionadas são submetidas a testes de campo em diversas regiões do Brasil, sob o domínio da rede de laboratórios para recomendação, padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbianos de interesse agrícola (RELARE). A experimentação em rede das estirpes elegidas prevê que o acompanhamento dos testes de campo seja feito no mínimo por dois anos e em duas regiões de plantio distintas. Criada em 1985, a RELARE congrega centros de pesquisa, firmas da indústria de inoculantes, além de representantes do MAPA.

Após o processo de seleção de estirpes com atributos desejáveis, os trabalhos de campo com resultados satisfatórios são apresentados à RELARE. As estirpes aprovadas nos testes de campo são então cadastradas no MAPA, e depositadas em bancos de estirpes, sendo o banco sob a custódia da FEPAGRO um dos mais requisitados do país.

Anualmente o administrador do banco genético (FEPAGRO) envia as estirpes aprovadas às empresas produtoras de inoculantes registradas junto ao MAPA. As empresas produtoras de inoculantes recebem gratuitamente as estirpes e tratam principalmente da reprodução das bactérias em larga escala. O crescimento bacteriano é dividido em fases, de acordo com a escala dos tanques de fermentação. Após o líquido nos maiores tanques de fermentação atingir elevada concentração de bactérias (em média 5×10^9 bactérias por mililitro) tem início a etapa final do processo de fabricação dos inoculantes, inserção das bactérias em turfa ou meio líquido.

Atualmente, a instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011, divulga as normas vigentes sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem de inoculantes destinados à agricultura, bem como a relação das estirpes autorizadas e recomendadas para produção de inoculantes²¹. A regulamentação estipula às firmas produtoras de inoculantes

²¹ <http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=25/03/2011&jornal=1&pagina=3&totalArquivos=224>

características do produto como o número de bactérias e o prazo de validade. O inoculante registrado no MAPA deve garantir no mínimo 1×10^9 unidades de células de bactéria por grama ou mililitro de produto até o final do prazo de validade, geralmente não inferior a seis meses. Cabe ressaltar que a regulamentação estipula os padrões mínimos de qualidade do produto. Desse modo, não impõe limites às estratégias empresarias de diferenciação do produto. Cada fabricante é responsável pela recomendação da dosagem mais apropriada aos consumidores.

Figura 04: Empresas ANPII- Principais Produtos

Empresa	Inoculante		Fertilizantes Foliare	Bioinseticida	Biofungicida
	Leguminosas	Gramíneas			
BASF Agrícola	x				
Bioagro	x				
Grupo Biosoja	x		x		
Microquímica	x		x		
Nitral	x	x	x	x	
Rizobacter	x		x		
Stoller	x	x	x		
Total Biotecnologia	x	x			
Turfal - Novozymes	x			x	x

Fonte: dados da pesquisa

Uma avaliação da amostra composta por empresas filiadas à Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII) indica que a maior parte das firmas produtoras de inoculantes atua também na produção de fertilizantes líquidos e produtos para tratamento de sementes. O comércio de inoculantes está organizado de modo a agregar serviços ao agricultor via assistência técnica direta sob responsabilidade da empresa vendedora. A interação com os consumidores é uma fonte constante de conhecimento útil ao desenvolvimento de novos produtos.

Os inoculantes são comercializados na forma líquida ou em pó. Os inoculantes em pó representam o produto tradicional, que durante um longo período foi o único tipo de inoculante disponível no país. No processo de produção dos inoculantes em pó, o “caldo” dos tanques de fermentação é misturado à turfa. A turfa apresenta propriedades que resultam em proteção física

às bactérias, como por exemplo, a capacidade de retenção de umidade. Além disso, o teor elevado de matéria orgânica da turfa representa uma fonte de nutriente para as bactérias. No entanto, a turfa trata-se de um recurso natural não renovável e, sua utilização como veículo para as bactérias fixadoras de nitrogênio exige a esterilização do material para evitar a competição entre as bactérias fixadoras de nitrogênio e microrganismos presentes na turfa.

A despeito das restrições para fabricação dos inoculantes em pó, os agricultores também relataram problemas com o uso da turfa. Em síntese, a baixa aderência do inoculante turfoso às sementes obriga a aplicação de substâncias adesivas no processo de inoculação. Este procedimento implica custos adicionais ao agricultor e acarreta o desgaste acelerado das máquinas semeadoras devido ao acúmulo de turfa na caixa de sementes (Hungria, Campos e Mendes, 2007). A saída encontrada para as limitações dos inoculantes turfosos foi o desenvolvimento dos inoculantes líquidos.

O comércio de inoculantes líquidos no Brasil permaneceu restrito até o início dos anos 2000. Nesse período, os produtos importados, principalmente da Argentina, eram comercializados ilegalmente no país. As restrições visavam evitar a entrada de produtos não fiscalizados de acordo com a regulamentação vigente no mercado nacional. Os benefícios percebidos pelos agricultores com a utilização dos inoculantes líquidos incentivaram os membros da RELARE à regulamentar o registro dos inoculantes líquidos, seguindo o modelo adotado para os inoculantes turfosos. A eficiência agrônômica e a facilidade de esterilização do meio de cultivo das bactérias representam vantagens competitivas dos inoculantes líquidos. A abertura do mercado aos inoculantes líquidos, e a garantia da qualidade mediante fiscalização do MAPA, resultaram na rápida difusão destes produtos nas lavouras brasileiras.

Estatísticas divulgadas pela ANPII indicam que no ano de 2008 foram comercializadas aproximadamente 19 milhões de doses de inoculantes no país²². No mesmo ano, as lavouras de soja consumiram 13 milhões de doses de inoculantes líquidos e cinco milhões de doses de

²² Informações disponíveis em <http://www.anpii.org.br/homesite/default.asp>

turfosos, quantidade equivalente à aproximadamente 95% do mercado nacional. Estima-se que as empresas filiadas à ANPII são responsáveis pela oferta de 90% das doses comercializadas.

Para uma inoculação eficiente recomenda-se a aplicação de no mínimo 600.000 células de bactéria por semente. A quantia de inoculantes aplicada por hectare de soja é obtida de acordo com a concentração de bactérias no produto (mínimo de 1×10^9 por mililitro ou grama) e quantidade de sementes semeadas por hectare (70 quilos em média). Com base nesses cálculos e conhecendo o preço por mililitro ou grama do inoculante pode-se obter o custo da inoculação por hectare. Em média, estima-se um gasto de R\$ 8,00 com inoculantes por hectare plantado de soja. Em comparação, para suprir a quantidade de nitrogênio requerida em lavouras de soja de produtividade em torno de 2.800 quilos por hectare, a adubação recomendada seria de aproximadamente 460 quilos de uréia²³, com gasto aproximado de R\$ 400,00.

É importante mencionar que o volume de inoculação indicado às lavouras não segue o padrão das recomendações de adubação. Quer dizer, as análises de solo tradicionais não determinam a quantidade de inoculantes que devem ser aplicados nas lavouras. Ao invés de avaliações concentradas nas propriedades químicas e físicas do solo, a base de conhecimento utilizada na recomendação de inoculação engloba atividades como análises de fatores biológicos do solo (contagem da população microbiana, teor de nitrogênio e carbono da biomassa microbiana), assim como características térmicas e hídricas do terreno cultivado.

Nota-se que o “bloco lógico” de conhecimentos requeridos para produção e uso dos inoculantes reforça a hipótese da trajetória tecnológica ampliada. A mudança técnica na prática da nutrição vegetal, materializada na substituição dos fertilizantes nitrogenados pela FBN, requer a transformação em uma gama de tecnologias complementares. Para além da simples adaptação ou reorganização das rotinas de análise do solo e adubação, a difusão dos inoculantes exige o aporte, em bloco, de novos conhecimentos ao sistema de produção agrícola. Nesse contexto, o desenvolvimento da biotecnologia moderna tende a fortalecer e ampliar a adoção dos inoculantes.

²³ Os parâmetros adotados para se obter esta quantia de uréia serão expostos no próximo capítulo. A título de comparação, os valores indicados cumprem o objetivo deste item do trabalho.

A biotecnologia é o campo em que se observa a importância crescente da interação entre os universos da ciência, da pesquisa tecnológica e da produção industrial e agrícola. Mais do que em qualquer outra atividade produtiva moderna, a natureza da pesquisa básica em biotecnologia é orientada pela busca do tipo de inovação que faz erodir as fronteiras entre ciência e tecnologia (Silveira, Borges e Fonseca, 2007). O termo biotecnologia se refere a um conjunto amplo de tecnologias utilizadas em diversos setores da economia, que têm em comum o uso de organismos vivos (ou parte deles, como células e moléculas) para a produção de bens e serviços. Em linhas gerais, do ponto de vista do nível de conhecimento científico e tecnológico embarcado, estas tecnologias podem ser divididas em dois grupos: a biotecnologia clássica ou tradicional e a biotecnologia moderna.

Processos biotecnológicos tradicionais como o tratamento biológico de resíduos, o controle biológico de insetos e patógenos e o melhoramento de cultivares via reprodução sexual, são utilizados na agricultura desde antes do século XX. A descoberta da tecnologia do DNA recombinante marca o ponto de inflexão entre a biotecnologia tradicional e a biotecnologia moderna.

No setor agrícola, a possibilidade de produzir plantas geneticamente modificadas contribuiu para a ampliação do espaço correspondente ao paradigma tecnológico estabelecido. Atividades como o melhoramento de cultivares e a produção de biotecnologias agrícolas intermediárias²⁴ passaram a empregar conhecimentos das áreas de genômica, engenharia genética e biologia molecular.

Com relação aos inoculantes, antes do aporte de conhecimentos da biotecnologia moderna era necessário isolar e cultivar os microrganismos alvos das pesquisas. Por outro lado, as atividades modernas de seleção de estirpes são realizadas a partir da clonagem direta de DNA das amostras ambientais. O seqüenciamento genético de bactérias fixadoras de nitrogênio acena para o desenvolvimento de bactérias geneticamente modificadas, capazes de operar como biofungicidas ou estender a atividade de FBN até a cultura subsequente. O progresso tecnológico

²⁴ As biotecnologias intermediárias atuam na produção de inoculantes e mudas, nos métodos de controle integrado de pragas, no suporte ao melhoramento animal e métodos diagnósticos, dentre outros.

no mercado de inoculantes caminha paralelamente às demais atividades do sistema de produção agrícola. O processo de adaptação da inoculação ao tratamento das sementes com fungicidas e micronutrientes sustenta este argumento.

A crescente produtividade das lavouras brasileiras acarretou em maiores exigências da soja por micronutrientes como o Molibidênio (Mo) e o Cobalto (Co). Mesmo em solos onde não ocorria a deficiência destes micronutrientes foram constatados incrementos significativos na produção após o suplemento destes elementos nas sementes. Do mesmo modo, a aplicação de fungicidas às sementes resultou em maior produtividade das lavouras de soja em solos previamente contaminados por patógenos. Embora seja possível compatibilizar, sem redução da produção, o tratamento das sementes com fungicidas e micronutrientes, tais práticas afetam a sobrevivência da bactéria, a nodulação e a FBN. A alternativa encontrada para superação deste obstáculo à difusão dos inoculantes foi o desenvolvimento da técnica de inoculação no sulco.

A tecnologia de inoculação no sulco viabiliza a aplicação de fungicidas e micronutrientes no tratamento das sementes, sem reduzir a FBN. A inoculação no sulco ocorre no estágio da semeadura, através do depósito dos inoculantes diretamente no solo. A substituição das rotinas consolidadas na inoculação das sementes exigiu a busca por inovações que acoplassem um pequeno “tanque” às semeadoras para o transporte dos inoculantes e, a adaptação da inoculação às rotinas da semeadura. Mesmo que o ritmo acelerado de progresso técnico no setor de inoculantes tenha conseguido superar grande parte dos problemas apresentados, a extensão do mercado brasileiro de inoculantes permanece aquém da sua capacidade de expansão.

Aspectos econômicos das tecnologias adotadas na produção dos inoculantes, como a baixa apropriabilidade dos ganhos extraordinários proporcionados pela descoberta de estirpes mais eficientes, elevam a incerteza do retorno esperado dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento das firmas do setor. A exposição perante comportamentos oportunistas dificulta o aporte de capitais privados em atividades de pesquisa e desenvolvimento de inoculantes. De

uma forma geral, a discussão acerca dos direitos de propriedade e regulação da inovação no setor de inoculantes não difere do tratamento dado ao tema na área das biotecnologias vegetais²⁵.

As políticas para biotecnologia devem buscar a definição de prioridades de desenvolvimento e devem, necessariamente, ser conduzidas de forma orgânica: financiamento, fortalecimento de mercados, formação de recursos humanos e participação de empresários dispostos a empreender projetos de criação, de capacitação e de formação de mercados (Coutinho e Ferraz, 1995, pg.390). Ainda que as condições de crédito e financiamento das empresas de inoculantes não justifiquem a estrutura de mercado atual de pequeno valor adicionado, o mercado brasileiro de inoculantes tem encontrado dificuldades em difundir seus produtos para demais culturas “plataforma” como o milho, o trigo e a cana-de-açúcar.

Em linha com a abordagem dos sistemas de inovações, argumenta-se que o impacto econômico da substituição dos fertilizantes nitrogenados pelos inoculantes na cultura da soja representa apenas um dos fatores capazes de orientar a direção e o ritmo do progresso tecnológico no setor. Além dele, fatores como a dinâmica de interação entre os agentes e a base tecnológica também influenciam no crescimento do mercado dos inoculantes. Nestes termos, o processo de difusão dos inoculantes extrapola a discussão dos retornos econômicos imediatos e abarca preocupações competitivas de longo prazo, balizadas em atividades produtivas sustentáveis. O próximo capítulo do trabalho analisa o impacto econômico dos inoculantes na cultura da soja no Brasil e avalia as possibilidades de difusão destes produtos para demais culturas.

²⁵ Sobre o tema ver, Just, Alston e Zilberman (2006) e Silveira (2010).

III. Avaliação dos Impactos Econômicos dos Inoculantes

A avaliação dos impactos econômicos dos inoculantes realizada neste capítulo tem como base a matriz insumo produto da economia brasileira do ano de 2006. O modelo proposto para avaliação dos impactos trata-se de simulações apoiadas em métodos de análise consagrados na literatura insumo produto, como o cálculo de índices de ligação setorial, de multiplicadores setoriais de renda e emprego, e dos efeitos sobre o valor total da produção nacional provocados pela substituição dos inoculantes por fertilizantes nitrogenados nas lavouras de soja.

A matriz insumo produto adotada foi elaborada a partir de informações disponíveis no sistema de contas nacionais e apresenta desagregados os setores alvos do estudo, soja e fertilizantes minerais. O capítulo compreende a explicação do método seguido para organização dos dados do sistema de contas nacionais e construção da matriz insumo produto.

Em busca de uma perspectiva mais ampla dos impactos econômicos da inoculação é realizada uma análise prospectiva dos efeitos dos inoculantes sobre o desempenho das exportações brasileiras de soja. Para isso, desenvolve-se um exercício contrafactual que mensura a perda de competitividade no mercado internacional de soja resultante da substituição dos inoculantes por fertilizantes nitrogenados. O exercício contrafactual avalia os efeitos sobre o valor total da produção nacional resultantes da queda nas exportações do setor de soja.

Com base em abordagens sistêmicas da inovação, a última parte do capítulo propõe a construção de canais institucionais para o fortalecimento da tecnologia da inoculação no país. Para além do incremento na produtividade via fixação biológica de nitrogênio, argumenta-se que os inoculantes podem contribuir com o sistema de produção agrícola de modo irrestrito aos incrementos no nível de produção. Como por exemplo, via melhoria da qualidade do solo, fato que torna as atividades agrícolas mais sustentáveis.

III.1. O Modelo Teórico de Leontief

Análises com base em modelos insumo produto assumem uma série de pressupostos acerca das atividades econômicas. Dentre estes, destaca-se a idéia da interdependência entre os

setores da economia que, em conjunto, formam um sistema produtivo conectado. Neste sistema, bens são produzidos a partir da destruição de outros bens, da força de trabalho, e da transformação de energia e matéria. Cabe ressaltar que nos modelos insumo produto os valores correspondentes às margens de lucro setoriais são estáticos.

Não obstante, questões relacionadas aos fatores responsáveis pela criação e distribuição de lucro entre os setores da economia serviram de guia aos trabalhos pioneiros com modelos insumo produto. Conforme ressaltam Kurz e Salvadori (2006), a hipótese central de Leontief (1928) defendia que os preços relativos dos produtos poderiam ser determinados exclusivamente em termos dos montantes observáveis de bens comercializados em um ano. Desse modo, Leontief buscava formular uma teoria alternativa à teoria marginalista da determinação do preço que está baseada na relação funcional entre a demanda e a oferta de bens. Contudo, esta linha de investigação não foi levada adiante pelo autor, que nos trabalhos subseqüentes optou pela adoção de coeficientes de valor adicionado para a determinação do preço dos bens.

Nesse contexto, o trabalho de Leontief (1936) é apontado como a formulação original do modelo insumo produto utilizado atualmente. A primeira aplicação do mecanismo de análise baseou-se no fluxo monetário entre os setores produtivos da economia norte-americana no ano de 1919. Desde então, o modelo é adotado em diferentes áreas como a economia regional, economia ecológica e ambiental. Destacam-se os trabalhos de Miyazawa (1976) que incorpora a estrutura de distribuição de renda às análises insumo produto²⁶ e, Haddad (1976) que aplica o modelo insumo produto em nível regional.

“In its most basic form, an input–output model consists of a system of linear equations, each one of which describes the distribution of an industry’s product throughout the economy. Most of the extensions to the basic input–output framework are introduced to incorporate additional detail of economic activity, such as over time or space, to accommodate limitations of available data or to connect input–output models to other kinds of economic analysis tools (Miller e Blair, 2009, pg.1).”

²⁶ Miller e Blair (2009) realizam apresentação detalhada do modelo insumo produto, assim como das diversas áreas em que o mecanismo é aplicado.

Portanto, os modelos insumo produto permitem avaliações de impactos sociais, econômicos e ambientais em países, ou regiões, em período específico. Em análises socioeconômicas, as matrizes insumo produto são construídas a partir do valor correspondente ao fluxo de produtos intra e interindústrias. A magnitude do consumo intermediário das indústrias é acrescida do valor da demanda de bens por parte dos agentes exógenos aos setores produtivos domésticos da economia. Exportações, consumo da administração pública, consumo das famílias e formação bruta de capital fixo, representam os elementos componentes da demanda exógena. Nota-se que a composição da demanda na matriz insumo produto preserva a identidade macroeconômica²⁷.

O modelo insumo produto permite avaliar como alterações no padrão de consumo intermediário de um único setor repercutem em toda a economia. As relações econômicas interindustriais na matriz insumo produto podem ser interpretadas como a tecnologia setorial. Com isso, mudanças técnicas setoriais impactam no número de empregos, nas importações, nos impostos e no valor adicionado de toda a economia. Do mesmo modo, análises insumo produto são capazes de mensurar o efeito no nível de produção da economia causado por transformações na composição da demanda exógena. O quadro abaixo reproduz de forma esquemática a organização dos dados na matriz insumo produto.

²⁷ Isto é, Demanda final (y) = consumo(c) + gastos do governo (g) + investimento (I) + exportações (e).

Figura 05: Estrutura da matriz insumo produto

		Setores compradores (j)				Consumo Intermediário (Z _i)	Demanda Exógena (Y)	Produção total (X)
		1	2	3	N			
Setores vendedores (i)	1	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{1n}	$\sum_{j=1}^n z_{1j}$	y_1	x_1
	2	z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{2n}	$\sum_{j=1}^n z_{2j}$	y_2	x_2
	3	z_{31}	z_{32}	z_{33}	z_{3n}	$\sum_{j=1}^n z_{3j}$	y_3	x_3
	N	z_{n1}	z_{n2}	z_{n3}	z_{nn}	$\sum_{j=1}^n z_{nj}$	y_n	x_n
Valor adicionado		va_1	va_2	va_3	a_n			
Produção Total		x_1	x_2	x_3	x_n			

Fonte: elaboração própria com base em Miller e Blair (2009) e Guilhoto (2009).

No modelo proposto por Leontief, a produção total da economia é o resultado do somatório entre o consumo intermediário dos setores industriais e os gastos correspondentes aos elementos componentes da demanda exógena. Um dos pressupostos básicos adotados em análises insumo produto assume que o fluxo de bens entre dois setores, do setor i para o setor j , está diretamente relacionado à produção total do setor j . Isto é, a quantidade de insumos produzidos no setor i requerida para se obter certo nível de produção total no setor j pode ser expressa por meio do conceito de coeficiente técnico direto. Miller e Blair (2009) definem o coeficiente técnico direto do seguinte modo:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (1)$$

O termo z_{ij} representa as vendas intersetoriais do setor i ao setor j e x_j a produção total do setor j . O termo a_{ij} corresponde ao coeficiente técnico direto de produção do setor j pelo setor i . Ao estender este cálculo a todos os setores da economia se obtêm a matriz de coeficientes técnicos diretos (A), de ordem $(n \times n)$. Com relação ao nível de produção, a organização dos dados setoriais resulta no vetor coluna x de ordem $(n \times 1)$. Os valores da demanda exógena a

todos os setores formam o vetor coluna da demanda final y ($n \times 1$). Com base nestas informações o modelo básico de Leontief pode ser escrito na forma matricial:

$$Ax + y = x \quad (2)$$

No entanto, em função da interdependência entre as atividades produtivas, alterações na demanda do setor j impactam indiretamente na demanda por insumos dos setores ofertantes ao setor j . De maneira semelhante, incrementos na demanda exógena são capazes de engendrar transformações na demanda por insumos de todas as atividades do sistema produtivo, direta e indiretamente. O mecanismo proposto por Leontief para capturar a dinâmica do fluxo monetário entre as atividades interconectadas “esgota” as possibilidades de propagação dos choques monetários iniciais, do seguinte modo:

$$(I - A)(I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^n) = (I - A)^{-1} \quad (3)$$

A matriz $L = (I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, ou a matriz inversa de Leontief. O elemento l_{ij} deve ser interpretado como a produção total do setor i necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor j . Nestes termos, a produção total da economia necessária para satisfazer a demanda total é obtida através de:

$$x = (I - A)^{-1}y \quad (4)$$

Na versão final do modelo as transformações nos componentes do consumo intermediário ou da demanda exógena propagam-se para todos os setores da economia através da matriz L . A matriz abaixo apresenta o fluxo monetário da economia brasileira no ano de 2006, agregada em cinco setores: **S1**-Agropecuária; **S2**-Indústria Extrativa; **S3**-Indústria de Transformação; **S4**-Serviços; **S5**- Administração, saúde e educação pública.

Tabela 02: Matriz insumo produto- Brasil 2006 – 5 setores

<i>Brasil 2006</i> <i>(R\$ bilhão)</i>	S1	S2	S3	S4	S5	Y	x
S1	16,06	0,01	109,10	3,00	0,57	69,86	198,59
S2	0,90	5,18	75,67	5,93	0,06	37,35	125,10
S3	41,61	14,35	436,89	195,42	22,38	679,84	1.390,49
S4	16,02	35,99	233,70	412,00	120,44	1.176,40	1994,75
S5	0,11	0,53	2,54	5,25	1,22	377,63	387,08
Vab*	111,57	58,86	353,39	1.234,46	241,22	--	--
Importações	12,32	10,18	179,20	110,98	19,70	274,35	--
x	198,59	125,10	1.390,49	1.994,75	387,08	--	--
Emprego	18.400.802	271.077	11.643.049	49.960.438	6.093.447	--	93.246.963

Fontes: dados da pesquisa

* Valor adicionado bruto = remunerações + excedente operacional bruto + rendimento misto bruto.

Um dos métodos básicos de análise a partir da matriz insumo produto compreende a mensuração dos impactos que mudanças no vetor de demanda final acarretam sobre o número de empregos, as importações (Imp) e o valor adicionado bruto (Vab). Tal exercício requer o cálculo de multiplicadores simples setoriais, apresentado da seguinte maneira:

$$\Delta x = L \Delta y \quad (5)$$

$$g_i = \frac{V_i}{X_i} \quad (6)$$

$$\Delta g = \hat{G} \Delta x \quad (7)$$

O vetor coluna Δy , de ordem $(n \times 1)$, representa a mudança na demanda setorial provocada pela transformação em algum de seus componentes, como a formação de capital fixo ou o valor das exportações. O vetor coluna Δx , de ordem $(n \times 1)$, captura os impactos sobre o valor total da produção decorrentes da alteração na demanda setorial. O somatório de todos os elementos do vetor coluna Δg representa o impacto sobre o volume total da variável alvo da análise causado pela alteração na demanda setorial. O termo \hat{G} é uma matriz diagonal $(n \times n)$ cujos elementos da diagonal são os coeficientes de emprego, importações ou valor adicionado bruto, obtidos através

da divisão da quantidade utilizada da variável em questão pela produção total do setor correspondente, conforme exposto em (6).

A título de exemplo, calcula-se a variação no valor adicionado bruto da economia brasileira no ano de 2006, provocada pelo incremento de R\$ 1 bilhão nas exportações do setor **S1- Agropecuária**. Para isso, as expressões (5) e (7) estão representadas na seguinte forma matricial:

$$\Delta x = \begin{bmatrix} 1,12 & 0,02 & 0,13 & 0,02 & 0,02 \\ 0,03 & 1,06 & 0,09 & 0,02 & 0,01 \\ 0,38 & 0,25 & 1,57 & 0,20 & 0,15 \\ 0,20 & 0,44 & 0,38 & 1,31 & 0,43 \\ 0,00 & 0,01 & 0,00 & 0,00 & 1,00 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,00 \\ 0,00 \\ 0,00 \\ 0,00 \\ 0,00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,12 \\ 0,03 \\ 0,38 \\ 0,20 \\ 0,002 \end{bmatrix}$$

$$\Delta g = \begin{bmatrix} 0,56 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,47 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,25 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,62 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,62 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,12 \\ 0,03 \\ 0,38 \\ 0,20 \\ 0,002 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,63 \\ 0,01 \\ 0,10 \\ 0,13 \\ 0,001 \end{bmatrix}$$

O resultado agregado da equação (5) indica que, devido aos efeitos diretos e indiretos, para sustentar o aumento de R\$ 1 bilhão nas exportações de produtos agropecuários é necessário incrementar em R\$ 1,73 bilhão a produção total nacional. De acordo com o resultado da equação (7), o incremento de R\$ 1 bilhão nas exportações agropecuárias aumentaria em R\$ 830 milhões o valor adicionado bruto da economia brasileira no ano de 2006. Conforme mencionado, a equação (7) possibilita a avaliação dos impactos em outras variáveis como emprego, impostos e importações. Para isso, a matriz \hat{G} deve apresentar os multiplicadores setoriais da variável alvo da análise, de acordo com a equação (6).

Cabe ressaltar que a última matriz insumo produto disponibilizadas pelo IBGE compreendem as informações da economia brasileira até o ano de 2005. Contudo, os valores expressos na matriz utilizada neste trabalho tratam de estimativas realizadas a partir dos dados

das Contas Nacionais de 2006²⁸. O próximo item apresenta o modo de organização dos dados e construção das matrizes utilizadas neste trabalho.

III.1.1. Organização dos Dados na Matriz Insumo Produto.

Para trabalhar com matrizes insumo produto de períodos não disponibilizados pelo IBGE faz-se *mister* a organização dos dados seguindo o padrão do Sistema de Contas Nacionais. Isto porque, divergências quanto à classificação setorial e aos valores atribuídos aos setores são recorrentes, e capazes de invalidar os resultados de análises insumo produto não alinhadas ao Sistema de Contas Nacionais (SCN). Nessa empreitada, a familiaridade com o SCN torna-se condição imprescindível.

As tarefas fundamentais das contas nacionais são classificar a imensa variedade de agentes, os fluxos econômicos e os estoques de ativos e passivos num número limitado de categorias essenciais e integrá-las num esquema contábil de forma a obter uma representação completa e clara, ainda que simplificada, do funcionamento da economia. O esquema contábil das contas nacionais tem sua lógica centrada na idéia de reproduzir os fenômenos essenciais da vida econômica de um país: produção de bens e serviços; geração, alocação e distribuição da renda; consumo e acumulação (IBGE, 2008).

A composição da matriz insumo produto adotada neste trabalho tem como base as informações contidas na tabela de recursos e usos (TRU) do sistema de contas nacionais. Nesse âmbito, as tabelas de produção (*tabela 1- matriz V*), e de usos de bens e serviços (*tabela 2- matriz U*) da TRU apresentam, respectivamente, detalhes da produção por setor e dos fluxos de bens e serviços por tipo de produto. Entretanto, na organização dos dados na matriz final cada produto é produzido por um único setor e cada setor produz um único produto. Esta condição remete ao pressuposto da inexistência de subprodutos dentro do processo produtivo.

A elaboração da matriz insumo produto deste trabalho trata-se de uma organização característica dos dados divulgados das tabelas 1 e 2 da TRU. Para isso, a matriz de produção *V* é

²⁸ O autor agradece ao Prof. Joaquim J.M. Guilhoto pela concessão dos dados assim como por todo apoio concedido na elaboração da matriz insumo produto utilizada neste trabalho.

pós-multiplicada pela inversa da matriz diagonal \hat{Q} , cujos elementos refletem a produção total de cada produto. O resultado desta operação é a matriz D , ou a matriz *market-share*, que representa a participação setorial no produto nacional.

$$D = V (\hat{Q})^{-1} \quad (8)$$

A matriz U de usos e recursos contém informações da demanda setorial e dos componentes da demanda exógena. Na composição da matriz insumo produto nacional, os valores da matriz U são organizados com intuito de representar a demanda necessária para dado nível de produto setorial. Desse modo, a matriz U é pós-multiplicada pela inversa da matriz coluna \hat{X} . Ressalta-se que o produto das matrizes DB representa a matriz de consumo intermediário da produção doméstica ou matriz Z .

$$B = U (\hat{X})^{-1} \quad (9)$$

Após as etapas de organização dos dados das Contas Nacionais, a composição da matriz insumo produto pode diferir de acordo com a hipótese adotada com relação ao modo de produção e a participação das indústrias no mercado de produtos. Em síntese, a hipótese da tecnologia baseada na indústria assume que os setores da economia podem alterar o nível de consumo intermediário sem modificações do nível de participação nos mercados em que atua. Por outro lado, a tecnologia baseada no produto permite alterações na participação de mercado dos setores, porém tal mudança implica transformações da mesma magnitude em todos os produtos do setor. Com efeito, a organização dos dados segundo a hipótese da tecnologia baseada na indústria trata-se do método mais utilizado em modelos insumo produto e, pode ser representada pela seguinte expressão:

$$x = (I - DB)^{-1}y \quad (10)$$

Nota-se que o produto das matrizes DB concebe a matriz de coeficientes técnicos diretos (A) do modelo de Leontief. Os modelos insumo produto compostos a partir da organização das matrizes do Sistema de Contas Nacionais seguem a classificação das atividades econômicas

presente nos manuais do Sistema de Contas Nacionais das Nações Unidas e, assim, possibilitam análises comparativas entre a estrutura econômica de diversos países.

No Brasil, a primeira matriz insumo produto construída a partir dos dados do Sistema de Contas Nacionais foi publicada em 1989²⁹, e retratou a economia do país com base na estrutura econômica vigente no ano de 1980. Atualmente as contas nacionais brasileiras são divulgadas em versão preliminar, no ano seguinte ao ano de referência ($t + 1$). Há uma primeira revisão da versão preliminar no ano posterior à sua publicação, e somente três anos após o de referência ($t + 3$) as contas nacionais são divulgadas na versão final. No entanto, não é necessário esperar até a divulgação dos dados finais para se trabalhar com as informações do SCN.

Nesse sentido, Guilhoto e Sesso Filho (2005) desenvolveram uma metodologia para estimação da matriz insumo-produto a partir dos dados preliminares da TRU das contas nacionais. A metodologia está concentrada na estimação da tabela 2 - matriz U , pois esta tabela de usos de bens e serviços da TRU apresenta valores a preços de mercado (ou preço do consumidor). Quer dizer, o fluxo monetário divulgado na matriz U engloba ao preço básico das mercadorias os valores das importações, os impostos indiretos líquidos e as margens de comércio e transporte. A matriz V pode ser retirada diretamente da tabela de produção do SCN, uma vez que apresenta os valores a preço básico. A matriz insumo produto base do modelo desenvolvido neste trabalho foi estimada de acordo com a metodologia de Guilhoto e Sesso Filho (2005). Contudo, os 56 setores produtivos classificados nas matrizes do Sistema de Contas Nacionais foram agregados em 28 atividades econômicas³⁰. Além disso, a matriz apresenta desagregados os setores alvo da análise, soja e fertilizantes minerais. A figura abaixo representa o mapa de agregação dos 56 setores das matrizes dos Sistemas de Contas Nacionais que resultou na matriz de 28 setores utilizada no trabalho

²⁹ Muito embora demais matrizes insumo-produto da economia brasileira já haviam sido formuladas com base em informações de diferentes origens. Para um histórico detalhado das matrizes insumo-produto brasileiras ver, Guilhoto *et al.* (2008).

³⁰ A agregação dos setores neste trabalho seguiu a metodologia proposta por Miller e Blair (2009), cap.4.

Figura 06: Mapa de Agregação da Matriz Insumo Produto

Setores do Trabalho	Descrição SCN
1 Soja	Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal
2 Outros Agricultura	Agricultura, Silvicultura e Exploração Vegetal
3 Pecuária e Pesca	Pecuária e Pesca
4 Indústria Extrativa	Petróleo e Gás Natural
	Minério de Ferro
	Outros da Indústria Extrativa
5 Alimentos, Bebidas e Produtos do Fumo	Alimentos e Bebidas
	Produtos do Fumo
6 Têxtil, Vestuário, Couro e Calçados	Têxteis
	Artigos do Vestuário e Acessórios
	Artefatos de Couro e Calçados
7 Produtos de Madeira – exclusive móveis	Produtos de Madeira – exclusive móveis
8 Celulose e Produtos de Papel	Celulose e Produtos de Papel
9 Jornais, Revistas e Discos	Jornais, Revistas e Discos
10 Química	Refino de Petróleo e Coque
	Álcool
	Outros Produtos Químicos
	Fabricação de Resina e Elastômeros
	Produtos Farmacêuticos
	Perfumaria, Higiene e Limpeza
	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas
	Produtos e Preparados Químicos Diversos
Artigos de Borracha e Plástico	
11 Defensivos Agrícolas	Defensivos Agrícolas
12 Fertilizantes Minerais	Outros produtos químicos
13 Minerais não Metalúrgicos	Cimento
	Outros produtos de minerais não metalúrgicos
14 Metalúrgica	Fabricação de Aço e Derivados
	Metalurgia de metais não ferrosos
	Produtos de Metal-exclusive máquinas e equi.
15 Máquinas e Equipamentos	Máquinas e Equipamentos
16 Eletrodomésticos	Eletrodomésticos

	Máquinas para escritório e equi. de informática
17 Material Elétrico, Eletrônico e de Comunicações	Máquinas aparelhos e mat. elétrico Mat. Eletrônico e equip. de comunicações
17 Material Elétrico, Eletrônico e de Comunicações	Instrumentos médicos e hospitalares
18 Material de Transporte	Automóveis, camionetas e utilitários Caminhões e ônibus Peças e Acessórios para veículos automotores Outros Equipamentos de Transporte
19 Móveis e Produtos das Indústrias Diversas	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas
20 Eletricidade, gás, água, esgoto e limp.urbana	Eletricidade, gás, água, esgoto e limp.urbana
21 Construção	Construção
22 Comércio	Comércio
23 Transporte, Armazenagem e Correio	Transporte, Armazenagem e Correio
24 Serviços de Informação	Serviços de Informação
25 Intermediação Financeira e Seguros	Intermediação Financeira e Seguros
26 Serviços Imobiliários e Aluguel	Serviços Imobiliários e Aluguel
27 Outros Serviços	Serviços de Manutenção e reparação Serviços de alojamento e alimentação Serviços Prestados às empresas Educação Mercantil Saúde Mercantil Serviços Prestados às famílias e associativas Serviços Domésticos
28 Educação, saúde, adm. pública e seguridade social	Educação Pública Saúde Pública Adm. Pública e Seguridade Social

Fonte: dados da pesquisa

A agregação setorial, tal qual exposta acima, busca preservar os valores referentes aos fluxos monetários dos setores chave da economia nacional. Setores chave são aqueles que possuem grande poder de encadeamento com os demais setores tanto à montante quanto à jusante. As análises das ligações setoriais são realizadas a partir da matriz de coeficientes técnicos diretos (*A*). Ao longo do tempo foram desenvolvidos diversos métodos para avaliação do

poder de encadeamento dos setores da economia. Dentre estes, destaca-se o método de avaliação calcado na construção dos índices de Hirschman-Rasmussem, apresentados do seguinte modo³¹:

$$U_j = \left(\frac{B_{*j}}{n} \right) / B^* \quad (11)$$

$$U_i = \left(\frac{B_{*i}}{n} \right) / B^* \quad (12)$$

Nas equações acima, define-se B^* como a média de todos os elementos da matriz inversa de Leontief (L) e, B_{*j} , B_{*i} como sendo respectivamente a soma da coluna e da linha desejada na matriz L . O parâmetro U_j corresponde ao índice do poder de dispersão e U_i ao índice de sensibilidade de dispersão. Contudo, conforme destaca McGilvray (1977), as diversas medidas de ligação entre as atividades produtivas são hipóteses pouco sofisticadas para a identificação de setores chave da economia. Nesse sentido, as estratégias de desenvolvimento econômico dos países têm como base, além dos indicadores brutos de ligações setoriais, observações acerca do ambiente competitivo nacional e internacional, o papel da dotação de recursos naturais e as características da base de conhecimento na dinâmica do setor. Apesar destes argumentos, afirma-se que as análises de ligação setorial representam ferramentas úteis aos tomadores de decisões, pois avaliam empiricamente os impactos das políticas setoriais.

Imbuídos deste propósito, Amorim, Coronel e Teixeira (2009), demonstram a importância da agropecuária brasileira na economia nacional, com uso da matriz insumo produto de 2005. O trabalho ressalta a elevada capacidade de multiplicação do emprego e da renda gerado com o aumento da produção no setor agropecuário. Isto ocorre devido ao peso das compras de insumos do setor agropecuário na economia nacional.

Em nível regional de análise, Figueiredo, Barros e Guilhoto (2006) avaliam o papel de setores intensivos em recursos naturais, como a soja e bovinos, na economia do Estado do Mato

³¹ Os anexos 03 e 04 apresentam as informações acerca dos índices de Hirschman-Rasmussem setoriais da economia brasileira no ano de 2006.

Grosso. Além disso, o trabalho apresenta os impactos das exportações de soja sobre demais setores da economia do Estado. Destaca-se o pequeno impacto no setor de adubos e fertilizantes da economia mato-grossense provocado pelas exportações de soja. Tal constatação reflete o elevado coeficiente de importações no setor de fertilizantes. Com relação à produção de soja, a substituição dos fertilizantes nitrogenados por inoculantes corrobora os resultados daquela pesquisa.

Seguindo esta linha de raciocínio, o presente trabalho pretende contribuir às análises insumo produto da agropecuária brasileira através da avaliação dos impactos econômicos dos inoculantes na cultura da soja. Para isso, foram desagregados, a partir das matrizes do Sistema de Contas Nacionais, os setores soja e fertilizantes minerais. A partir da metodologia de análise dos índices de Hirschman-Rasmussem, propõe-se a avaliação do poder de encadeamento setorial lastreada na capacidade de geração de emprego e valor adicionado. O próximo item do trabalho descreve o modelo insumo produto utilizado e desenvolve argumentos com intuito de facilitar a compreensão das informações que compõem a matriz.

III.2. Modelo Insumo Produto de Avaliação dos Impactos Econômicos dos Inoculantes

Destarte, o modelo avalia empiricamente o custo de oportunidade referente à inoculação das sementes de soja. Tal exercício deve-se a constatação de que a matriz insumo produto brasileira do ano de 2006 já traz incorporada ao valor da produção total o fluxo monetário correspondente ao consumo de inoculantes na cultura da soja. Desse modo, os exercícios desenvolvidos têm início com a substituição dos gastos com inoculantes no setor produtor de soja.

É importante destacar como estão organizadas as atividades de produção e comércio de inoculantes na estrutura da Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE). Na CNAE 2.1, os valores correspondentes à produção de inoculantes são contabilizados como fabricação de produtos farmoquímicos. Com relação ao comércio, os fluxos monetários das vendas de inoculantes estão agrupados no comércio atacadista de defensivos agrícolas, fertilizantes e corretivos do solo. Afirma-se que tais classificações dificultam as análises

empíricas, uma vez que agregam no mesmo setor das matrizes do SCN produtos com poucas, ou nenhuma, características em comum.

Grosso modo, a raiz das dificuldades encontradas em avaliar as atividades do setor de inoculantes reside na falta de divisão específica na CNAE para os produtos da biotecnologia. Por exemplo, o valor da produção de produtos biotecnológicos tradicionais como fermentos e leveduras, inseridos em mercados com volume de transações significativos que contam com a participação de grandes empresas multinacionais, são contabilizados nas atividades de fabricação de produtos alimentícios.

A falta de maior acuidade no tratamento econômico dos produtos da biotecnologia resulta na dificuldade em identificar os limites das atividades e, com isso, cria problemas ao desenho de políticas para o setor. Argumenta-se que os produtos da biotecnologia são fabricados em contexto pouco dissociável da aplicação e, por esse motivo, são contabilizados como produtos de outros setores.

De forma geral, os produtos da biotecnologia moderna são comercializados em contexto direto de aplicação e supervisão dos resultados. A distinção torna-se evidente ao comparar as atividades de comércio de fertilizantes e inoculantes, descritas no capítulo 2 deste trabalho. A recomendação de fertilização é realizada por técnico agrônomo cuja remuneração pelos serviços prestados não estão incluídos no preço dos fertilizantes. Os fabricantes de inoculantes, por sua vez, agregam a assistência técnica ao comércio do produto.

O método proposto para avaliar o gasto com inoculantes nas lavouras de soja assume uma série de pressupostos acerca do uso destes produtos. O cálculo tem como base o preço de R\$ 8 por dose de inoculante aplicado e pressupõem o uso de apenas uma dose por hectare de soja cultivada. Embora a concentração de inoculantes por dose não seja fixa, além do fato de alguns agricultores aplicarem até seis doses por hectare, os dados divulgados pela ANPII indicam que o número de doses comercializadas no país pode ser identificado pelo total de hectares plantados com soja.

O método proposto para avaliar os gastos com fertilizantes nitrogenados tem como base a quantidade de nitrogênio retirado do solo pela colheita. Segundo FAO e IFA, (2006, pg.24) e Novais *et al.*; (2007, pg.438), estima-se que cada tonelada de soja colhida retira do solo aproximadamente 80 quilos de nitrogênio. A reposição destes nutrientes arrancados do solo é condição essencial para a continuidade da atividade. Caso o contrário a fertilidade natural do solo se esgotaria rapidamente, fato que comprometeria as produções subsequentes.

Não obstante a soja represente um cultivo de exigência elevada de nitrogênio, grande parte da demanda é preenchida pela fixação biológica do nutriente. No Brasil, em especial, os inoculantes são capazes de suprir toda a demanda por nitrogênio das lavouras de soja³². Mesmo assim, a aplicação de fertilizantes nitrogenados em pequenas doses “de arranque” logo após a germinação ainda é uma prática comum no país, recorrentemente rejeitada por pesquisadores da área da nutrição vegetal.³³ Estima-se que esta prática pode até reduzir o resultado da FBN, pois a pequena dose é, proporcionalmente ao tamanho da planta no estágio de desenvolvimento inicial, elevada o suficiente para inibir a formação de nódulos (Hungria, Campos e Mendes, 2007). Portanto, não é possível compatibilizar fertilização mineral e inoculação sem comprometer a FBN. Por esse motivo, nos cálculos dos gastos com fertilizantes nitrogenados adota-se como base o valor necessário para suprir integralmente os 80 quilos de nitrogênio requeridos por tonelada de soja produzida.

De modo geral, a fertilização mineral das lavouras consiste da aplicação no solo de adubos compostos NPK. As formulações NPK são obtidas a partir da combinação de fertilizantes básicos, como o superfosfato triplo e o cloreto de potássio. Com isso, a quantidade de cada macronutriente NPK depositado no solo pode ser calculada com base na concentração de nutrientes dos fertilizantes básicos.

³² Em demais países grandes *players* no mercado mundial de soja como Argentina, Estados Unidos, a inoculação é capaz de suprir, no máximo 70% do total de nitrogênio requerido pela soja. Nesse tema, BIOFAG (2007) avalia o “estado da arte” da inoculação da soja em países da Ibero-América. Unkovich e Pate (2000) apresentam o uso deste produto nas plantações australianas. Gan *et al.*(2002) discutem a inoculação na agricultura da China. Van Kessel e Harthey (2000) avaliam a inoculação da soja nos Estados Unidos.

³³ Para maiores informações ver, Mendes *et all.*(2008), Graham e Vance (2000) e Gan *et all.* (2002).

No mercado de fertilizantes nitrogenados, a uréia destaca-se como o insumo básico mais adotado na fabricação de compostos NPK. Com concentração de 46% de nitrogênio, a uréia possui a maior quantidade de nutriente por peso dentre todos os fertilizantes nitrogenados. Neste trabalho, o valor da quantidade de nitrogênio requerido por tonelada de soja produzida foi estimado com base no preço da tonelada de uréia. No mercado nacional, o preço médio da tonelada de uréia foi de R\$ 480 no ano de 2006 (ANDA, 2007).

Cabe ressaltar que em todas as simulações deste trabalho a taxa de eficiência agrônômica da uréia adotada foi de 60%. Isto implica em perdas do nutriente depositado no solo pelos compostos NPK. Como resultado desta ponderação, a quantidade de uréia recomendada para suprir a demanda de 100 quilos de nitrogênio é de 362 quilos do fertilizante básico. Tal condição reflete fenômenos recorrentes na agricultura tropical e subtropical como a lixiviação de nitrato e a volatilização da amônia, que repercutem diretamente em maiores gastos para o agricultor. (EFMA, 2006; Novais *et al*;2007).

Em 2006, a produtividade média das lavouras de soja no Brasil foi de 2.800 quilos por hectare. Conforme exposto, cada tonelada de soja colhida arranca do solo 80 quilos de nitrogênio. Com base na produtividade média da soja e na recomendação de adubação, estima-se o consumo necessário de 810 quilos de uréia por hectare para reposição integral dos nutrientes arrancados na colheita. Quantidade que implica, considerando o preço médio da uréia no mercado nacional, no gasto de R\$ 390,00 por hectare de soja cultivado em 2006. Em comparação aos inoculantes, percebe-se que a via da FBN oferta a mesma quantidade de nutriente ao custo de R\$ 8,00.

Assim sendo, estima-se que o uso dos inoculantes tenha proporcionado a redução do gasto com insumos no setor produtor de soja em R\$ 382,00 por hectare no ano de 2006. Porém, o impacto econômico dos inoculantes não pode ser medido somente através da multiplicação deste valor pelo total de área plantada de soja no mesmo ano. Tal análise desconsidera os impactos indiretos nas atividades relacionadas, assim como a propagação desses efeitos por toda a economia.

O presente trabalho objetiva analisar o impacto dos inoculantes sobre a economia nacional, considerando tanto os efeitos diretos como os indiretos. O método desenvolvido pressupõe a perda de eficiência da fixação biológica de nitrogênio e, decorrente disso, a substituição deste insumo pelos adubos nitrogenados. Conforme exposto anteriormente, o modelo avalia de forma empírica o custo de oportunidade da inoculação das lavouras de soja. Para isso, adota o pressuposto de que o custo de oportunidade é equivalente ao gasto com fertilizantes nitrogenados, estimado a partir da quantidade do nutriente retirada do solo.

O primeiro exercício avalia o impacto do aumento no consumo do setor de fertilizantes sobre o total de empregos e o valor adicionado bruto na economia nacional, com uso das expressões (6) e (7). Calcula-se o poder de encadeamento do setor de fertilizantes minerais, expresso em termos da sua capacidade de geração de valor adicionado bruto e emprego, a partir de alterações no padrão de consumo do setor produtor de soja.

O segundo exercício avalia o impacto do aumento do consumo intermediário no setor de fertilizantes sobre o valor total da produção nacional. Cabe ressaltar que a magnitude deste “choque” dependerá de quanto o consumo adicional de nitrogenados irá repercutir na expansão da capacidade instalada no setor de fertilizantes minerais. Na metodologia de análise proposta por Miller e Blair (2009, pg.637) a expansão da capacidade em indústrias estabelecidas é avaliada a partir das relações inter e intraindustriais pré-existentes. Em uma economia com n setores, o incremento na capacidade do setor de fertilizantes (*setor f*) repercutirá diretamente nos demais setores do seguinte modo:

$$\begin{bmatrix} a_{1f} & x_f \\ a_{2f} & x_f \\ a_{3f} & x_f \\ \vdots & \\ a_{nf} & a_{xf} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Na matriz acima, x_f representa o acréscimo na produção do setor de fertilizantes causado pela substituição de insumos no setor produtor de soja. Os coeficientes técnicos $a_{1f} \dots a_{nf}$ espelham a estrutura tecnológica do setor de fertilizantes minerais. A propagação do “choque”

inicial em toda a economia é simulada pela expressão abaixo, cujos elementos do vetor coluna ΔX representam as variações no valor total da produção setorial. A soma das linhas de ΔX indica a variação no valor total da produção nacional.

$$\Delta x = L \begin{bmatrix} a_{1f} & x_f \\ a_{2f} & x_f \\ a_{3f} & x_f \\ \vdots & \\ a_{nf} & a_{xf} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Todavia, devido à complexidade do sistema econômico, elementos externos às atividades produtivas são capazes de alterar os resultados da análise. Estratégias empresariais de manutenção da capacidade instalada de fertilizantes e a difusão de cultivares mais produtivos de soja são exemplos apropriados de modificações provocadas por elementos externos. Com a finalidade de capturar a dinâmica de parâmetros como estes, foi elaborada uma análise alternativa fundamentada em valores da produção de soja e da expansão da capacidade dos nitrogenados distintas daquelas percebidas no cenário básico descrito até aqui.

Figura 07: Cenários do modelo

Parâmetros	Cenários	
	Básico	Máximo
Produção de Soja por hectare	2.800 quilos	5.000 quilos
Demanda de Nitrogênio por hectare de soja	224 quilos	400 quilos
Eficiência da FBN	0%	0%
Produção Nacional de Adubos/Consumo Aparente	100%	55%

Fonte: dados da pesquisa

Em síntese, o cenário básico problematiza a substituição dos inoculantes no setor produtor de soja quando contemplada integralmente pelo acréscimo na oferta nacional de fertilizantes nitrogenados. Isto significa que a maior quantidade de nitrogênio demandada nas lavouras de soja em 2006 foi preenchida completamente pela produção doméstica de fertilizantes nitrogenados. Destaca-se que em todos os cenários os valores da dose de inoculantes, da tonelada de uréia no mercado nacional, assim como os percentuais de concentração de nitrogênio e da eficiência agrônômica da uréia são mantidos constantes.

O potencial genético de produção da soja é estimado em aproximadamente 8.000 quilos por hectare. Sabe-se que este patamar ainda permanece distante da realidade dos cultivos em âmbito global. No entanto, com frequência, lavouras brasileiras alcançam patamares superiores a 4.000 quilos por hectare, obtidos exclusivamente pela inoculação, sem a complementação de fertilizantes nitrogenados. O cenário máximo estimado abarca esta informação e avalia os impactos na economia nacional caso a estrutura tecnológica do setor produtor de soja dispensasse o uso de inoculantes ao patamar de 5.000 quilos por hectare. Por outro lado, o incremento na produção nacional de fertilizantes nitrogenados permanece idêntico ao verificado no cenário básico, porém desta vez, a produção é capaz de suprir apenas 55% do acréscimo na demanda. O valor expressa quanto da expansão na capacidade instalada de produção de nitrogenados no cenário básico é capaz de abastecer a demanda por nutrientes do cenário esperado.

A comparação dos cenários permite tecer considerações relevantes acerca da dinâmica de produção dos fertilizantes nitrogenados e dos inoculantes. O insumo químico não evolui em conjunto com os esforços para o desenvolvimento de cultivares superiores. O aumento na produção por hectare proporcionado pelos cultivares superiores pode não resultar em ganhos de produtividade devido ao acréscimo no gasto com fertilizantes minerais. Fatores como a elevada quantidade de capital imobilizado e a maturidade tecnológica dos fertilizantes nitrogenados impedem a viabilidade de alternativas na trajetória tecnológica deste setor.

A tecnologia dos inoculantes, por sua vez, caminha paralelamente ao desenvolvimento de cultivares superiores. Quer dizer, a maior demanda por nitrogênio não será suprida através do incremento no número de doses de inoculante aplicadas por hectare. Em perspectiva histórica, a

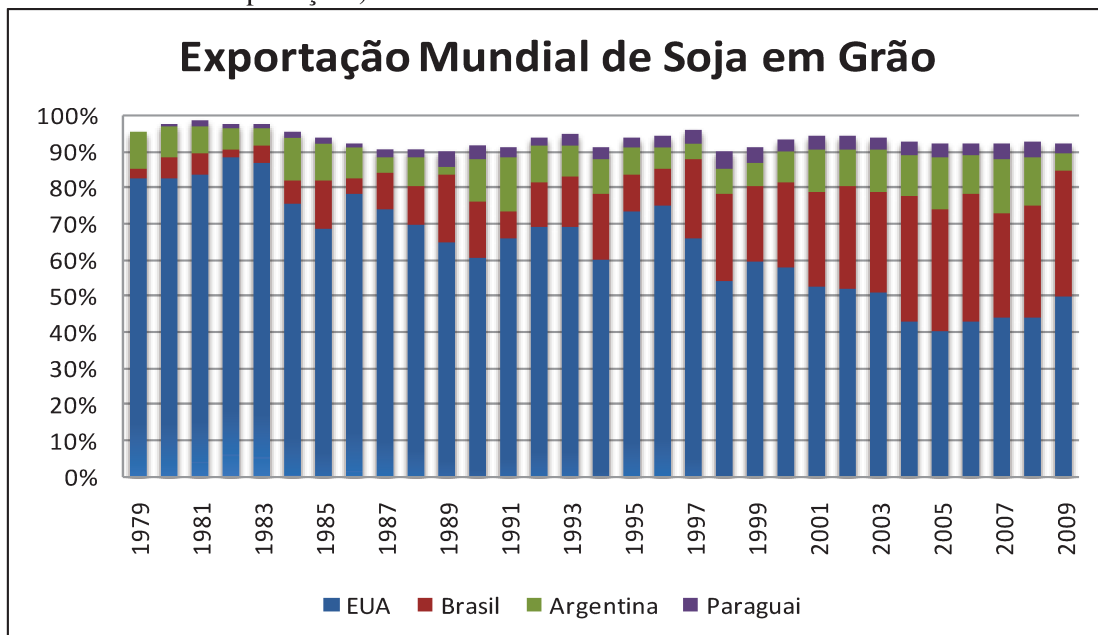
alternativa adotada no setor produtor de inoculantes para os problemas advindos da difusão de cultivares superiores sempre consistiu na descoberta de estirpes mais eficientes, com melhor adaptação ao novo cultivar, capazes de abastecer toda a demanda por nitrogênio através da FBN. Afirma-se que a coevolução de cultivares e inoculantes acarreta ganhos de produtividade³⁴ ao setor produtor de soja.

Por outro ponto de vista, o uso de inoculantes permite a renovação das vantagens competitivas dos produtores brasileiros no comércio internacional de soja. A noção de competitividade adotada neste trabalho abrange a contribuição de fatores sistêmicos ao desempenho do setor. Além das vantagens comparativas tradicionais, dotação de recursos naturais e clima tropical, a expansão das exportações de soja reflete o contínuo avanço da produtividade via aprimoramento constante da combinação de insumos e a capacidade do setor em se adequar às alterações no ambiente concorrencial internacional. Com isso, diversos fatores podem comprometer a *performance* internacional do setor.

Nesse sentido, Costa, Xia e Rosson (2007) avaliam os efeitos da diminuição de subsídios do governo norte-americano aos produtores de soja daquele país. Os resultados indicam que alterações na política compensatória têm impacto na decisão de produção do agricultor norte-americano assim como na dinâmica do mercado internacional. Simões (2008) estuda os impactos potenciais da regulamentação sobre o fluxo transfronteiriço de Organismos Vivos Modificados, estabelecida pelo Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança (PCB). A pesquisa indica que os custos de implementação do PCB no Brasil são mais elevados do que nos principais concorrentes do mercado internacional e acarretam em redução das exportações de soja em grão. Os gráficos abaixo apresentam a evolução no comércio internacional de soja. Nota-se o aumento das exportações brasileiras e das importações chinesas. Afirma-se que o desempenho da inoculação brasileira contribui para o crescimento das exportações de soja do país.

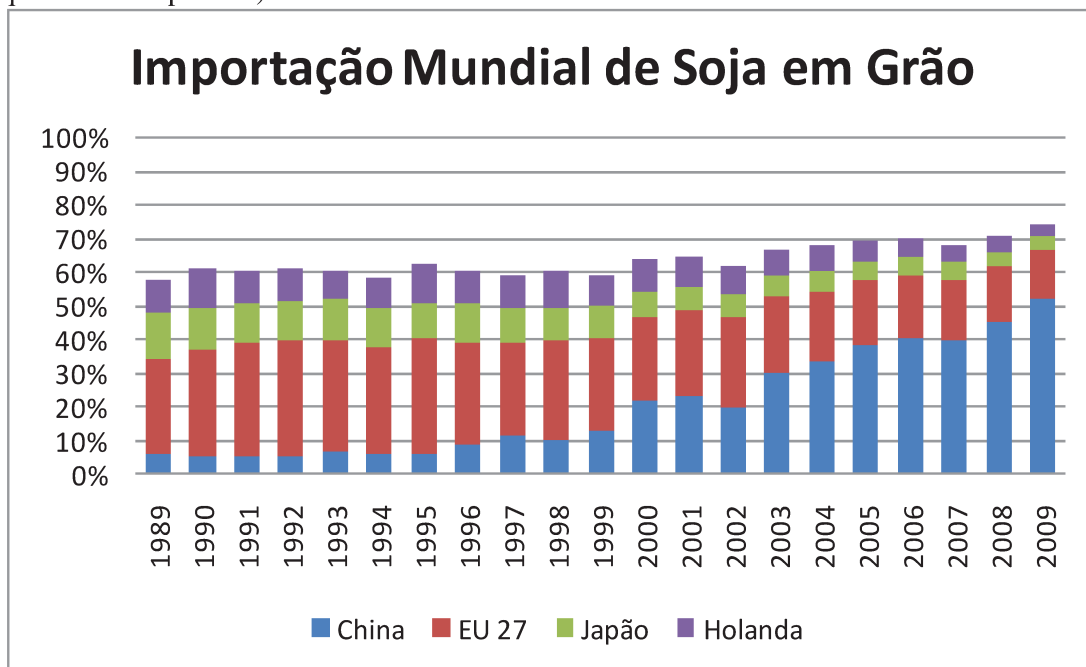
³⁴ A produtividade total dos fatores da agricultura brasileira é avaliada com maior profundidade por Gasques *et al.*(2010).

Gráfico 05: Participação nas exportações de soja em grão- maiores exportadores x total exportado- (% do valor nominal das exportações)



Fonte: FAOSTAT

Gráfico 06: Quantidade de importação de soja em grão- maiores importadores x total importado (% quantidade importada)



Fonte: FAOSTAT

* EU 27: Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Polônia, Portugal, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Reino Unido

Com relação à nutrição vegetal, os principais concorrentes brasileiros no comércio internacional de soja também utilizam a inoculação. Contudo, a taxa de FBN na Argentina e nos EUA não ultrapassa 70% da quantidade do nutriente requerida pela planta, sendo o restante ofertado por demais fontes. Conforme afirmado, a inoculação da soja no Brasil abastece 100% da demanda por nitrogênio nas lavouras de soja.

Desse modo, *coeteris paribus*, caso os agricultores brasileiros optassem pelo abandono da inoculação, quais seriam os impactos potenciais sobre o desempenho no comércio internacional de soja? Sabe-se que o incremento estimado nos custos de produção da soja causados pela adoção dos fertilizantes nitrogenados seria significativo, da ordem de R\$ 382 por hectare. Cabe ressaltar que nas análises insumo produto as transformações na demanda exógena repercutem em toda a economia.

O método proposto para avaliar os impactos dos inoculantes no desempenho das exportações brasileiras de soja consiste de uma adaptação à análise insumo produto do modelo desenvolvido por Costa, Xia e Rosson (2007). O exercício assume o pressuposto de que o incremento nos custos de produção da soja, causados pela substituição dos inoculantes, são repassados integralmente ao preço das exportações de soja. Um dos desdobramentos deste pressuposto trata da perda de competitividade do produto brasileiro no mercado internacional. Para avaliar de forma empírica o impacto da substituição dos inoculantes nas exportações do setor produtor de soja adotou-se como parâmetro a elasticidade preço da demanda por grão de soja importado pela China. A justificativa desta escolha reside no peso das importações chinesas no total das exportações brasileiras de soja.

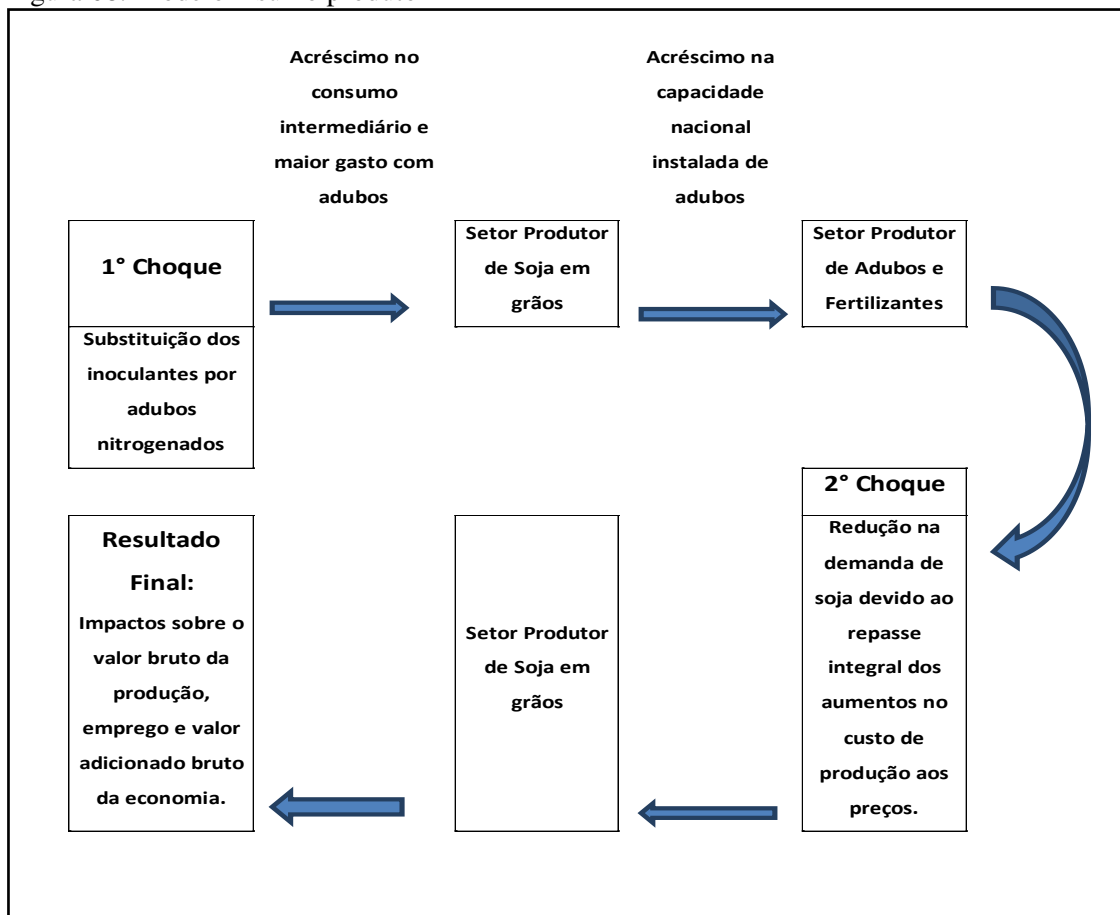
O exercício contrafactual proposto conjectura acerca do desempenho das exportações de soja caso a fixação biológica de nitrogênio fosse abandonada em 2006. Sabe-se que o procedimento correto deveria retornar ao estágio em que foi tomada a decisão para adoção da FBN, em detrimento da fertilização mineral, como um parâmetro do programa de melhoramento genético da soja no país.

Porém, em sua forma mais geral, uma análise contrafactual equivale a postular que algo será diferente do que de fato é, e examinar o que se segue a partir desta diferença (Cowan e Foray, 2002). Nesse sentido, o exercício contrafactual desenvolvido simula um choque na matriz

insumo produto com o intuito de avaliar o impacto sobre o valor total da produção nacional causado pela redução nas exportações do setor de soja. O método adotado nesta avaliação remete à expressão (5). Com uso das expressões (6) e (7) pode-se mensurar os impactos sobre o nível de emprego e valor adicionado bruto provocados pela queda das exportações.

O quadro que segue representa de forma esquemática a sequência de “choques” introduzidos na matriz insumo produto, assim como os métodos adotados, para avaliar o impacto econômico dos inoculantes na soja. O resultado final engloba todas as relações envolvidas direta e indiretamente com os setores alvos da análise, soja e fertilizantes minerais. O próximo item do trabalho apresenta e discute os resultados obtidos, considerando fatores não previstos na análise insumo produto.

Figura 08: Modelo insumo produto



Fonte: elaboração própria

III.3. Avaliação dos Resultados

A avaliação dos resultados procede em dois estágios. No primeiro momento os impactos sobre o valor total da produção (ΔX), o número de empregos (Δ^{emp}) e o valor adicionado bruto (Δ^{vab}) da economia nacional capturam o aumento na capacidade instalada de fertilizantes nitrogenados e a redução dos gastos com inoculantes do setor produtor de soja. No segundo momento, os indicadores traduzem os resultados do exercício contrafactual proposto para avaliar as conseqüências dos aumentos no custo da produção de soja sobre as exportações deste setor. O resultado total representa o enfoque final da substituição dos inoculantes e congrega os impactos sobre o consumo intermediário doméstico e sobre a demanda de exportações.

Figura 09: Resultados do modelo

Cenários	Setores	Resultados		
		Nº de empregos	R\$ milhões	R\$ milhões
		Δ^{emp}	Δ^{VAB}	ΔX
Básico	Fertilizantes	205.496	7.053	8.667
	Soja	-49.611	-1.680	-2.006
	Total	155.885	5.373	6.661
Máximo	Fertilizantes	205.496	7.053	8.667
	Soja	-88.592	-3.000	-3.582
	Total	116.904	4.053	5.085

Fonte: dados da pesquisa

Dadas as proposições do cenário básico, a substituição dos inoculantes pelos fertilizantes nitrogenados requer o incremento de aproximadamente 800% na capacidade instalada nacional de uréia constatada no ano de 2006. A magnitude dos gastos para expansão da capacidade no setor é

superior a redução no valor total da produção provocada pela perda de competitividade das exportações de soja. O resultado agregado do cenário básico indica que a substituição dos inoculantes pelos fertilizantes nitrogenados proporcionaria um incremento de R\$ 5.373 milhões ao valor adicionado bruto da produção nacional, em valores de 2006.

No cenário máximo, a capacidade instalada no setor de fertilizantes permanece idêntica aquela ocorrida no cenário básico, mesmo que a demanda por nitrogênio seja maior. De modo semelhante, o valor total da produção do setor soja foi mantido constante, apesar do maior nível de produção por hectare. O resultado final sugere a criação de 116.904 postos de trabalho na economia nacional e o incremento de R\$ 5.085 milhões no valor total da produção nacional. Embora os resultados representem o aumento esperado no valor total da produção causado pela substituição dos inoculantes na cultura da soja, a continuidade da inoculação não significa que esta riqueza deixou de ser criada pela economia nacional.

O argumento chave que lastreia a afirmação acima reside na avaliação do coeficiente de valor adicionado bruto do setor produtor de soja. Mantido constante o valor total da produção do setor soja, o aumento no consumo intermediário correspondente à substituição dos inoculantes implica a redução no valor adicionado bruto deste setor³⁵. Desse modo, afirma-se que a expansão na capacidade instalada do setor de fertilizantes minerais corresponde à imobilização em capital físico de parte da renda gerada pelo setor produtor de soja. Por esse ângulo de ataque, os resultados do modelo podem ser interpretados como o impacto econômico dos inoculantes.

³⁵ O anexo 02 apresenta o valor adicionado bruto dos setores da economia nacional, classificados a partir da matriz insumo produto adotada neste trabalho.

Figura 10: Desagregação MIP 2006- Soja x Fertilizantes

MIP 2006	Soja	Fertilizantes
	R\$ Milhões	
Consumo intermediário	8.743	12.457
Remunerações (1)	1.509	1.417
Total dos Impostos (2)	720	898
Rendimento misto bruto (3)	7.317	0
Excedente operacional bruto (EOB) (4)	4.084	2.420
Valor adicionado bruto (PIB)	13.630	4.735
Valor da Produção	21.822	16.452
Pessoal Ocupado	263.883	36.693

Fontes: dados da pesquisa

A expressão do PIB pela ótica da renda ilumina o sentido da argumentação em curso. De acordo com IBGE (2008, pg.31), o Produto Interno Bruto pela ótica da renda é igual ao somatório da remuneração dos empregados (1), mais o total dos impostos líquidos de subsídios sobre a produção e a importação (2), mais o rendimento misto bruto (3), mais o excedente operacional bruto (4)³⁶.

Na metodologia do Sistema de Contas Nacionais o item referente ao Valor Adicionado Bruto representa o somatório de todas as variáveis componentes do PIB pela ótica da renda, no qual o valor do excedente operacional bruto é definido como *proxy* do lucro das empresas e o rendimento misto bruto como rendimento dos agentes autônomos. Do ponto de vista do crescimento do Produto Interno Bruto, pela ótica da renda, análises do impacto econômico de políticas, públicas ou privadas, setoriais devem ser mediadas pela capacidade de geração de valor adicionado bruto dos setores analisados.

Não obstante os efeitos capturados na matriz insumo produto, fatores como a monetização de maiores quantidades de gás natural extraído das reservas nacionais e a redução da dependência de importações reforçam o conjunto de argumentos favoráveis à estratégia de expansão da produção de uréia. Nesse contexto, de fato, a não expansão da capacidade instalada no setor produtor de fertilizantes minerais representa a destruição de riqueza na economia nacional. Em

³⁶ Conforme exposto na tabela 03: VAB (PIB)= 1 + 2 + 3 + 4.

defesa desta posição resgata-se o índice de queima de gás natural no país, principal insumo da produção de fertilizantes nitrogenados, que ultrapassa 40% da produção anual³⁷ (Ferraro, 2010). Porém, em uma perspectiva evolucionária, cujo ponto central remete ao processo de destruição criativa, tais investimentos devem ser avaliados à luz do sistema setorial de produção dos fertilizantes nitrogenados e do “estado da arte” na área da nutrição vegetal.

Os fertilizantes nitrogenados são responsáveis por impactos sociais e ambientais amplamente debatidos³⁸. A rota tecnológica dos insumos nitrogenados utiliza como matéria-prima básica subprodutos da indústria de combustíveis fósseis. Estimativas indicam que cada tonelada de amônia fabricada corresponde à emissão de 1,6 toneladas de CO₂ na atmosfera (MCT, 2010, pg.187). Conforme mencionado, as perdas de nitrogênio (lixiviação e nitrificação) depositado no solo pelos adubos nitrogenados exigem a aplicação de doses extras do produto. A quantidade de nitrogênio não absorvida pelas plantas é imobilizada e convertida em nitratos, que são “lavados” pelas águas das chuvas ou pelo sistema de irrigação. O destino da lixiviação é o lençol freático mais próximo, fato que pode causar mortandade de peixes e impactar diretamente na saúde da população.

No caso do setor produtor de soja, a substituição dos inoculantes por fertilizantes nitrogenados implica na redução da produtividade e conseqüente perda de competitividade no mercado internacional. Análises prospectivas dos efeitos da inoculação em demais culturas como o milho, o trigo e a cana de açúcar, indicam resultados semelhantes. De modo geral, tais elementos acenam para o esgotamento da trajetória tecnológica agrícola calcada no uso intensivo de fertilizantes minerais e incentivam a busca por tecnologias alternativas capazes de sustentar o nível de produção. No entanto, cabe ressaltar que, o resultado da competição tecnológica na área

³⁷ Cabe aqui um questionamento com relação ao índice de queima de gás natural brasileiro e o argumento da monetização das reservas nacionais deste recurso. Caso considere-se o índice de queima de gás como uma *proxy* da capacidade ociosa no setor produtor de gás natural, a estratégia de monetização das reservas do pré-sal representa uma expansão da capacidade de produção em um setor cuja capacidade ociosa de produção é de 40%.

³⁸ Para maiores informações sobre o tema ver, Horner (1975), Lave (1986), Mapp *et all.*(1994) e Bontems e Thomas (2006).

da nutrição vegetal, em prol dos fertilizantes minerais, não pode ser descrito como um fenômeno de aprisionamento em tecnologias inferiores.

De acordo com Cowan e Gunby (1996), o aprisionamento em tecnologias inferiores (*lock-in*) é caracterizado quando a presença de economias de escala na adoção de uma determinada tecnologia constitui força suficiente para expulsar todas as demais tecnologias de efeitos similares do mercado, inclusive aquelas cuja adoção produz resultados superiores. Na área da nutrição vegetal, a avaliação da competição entre as tecnologias disponíveis no período de difusão dos fertilizantes minerais atesta a superioridade dos compostos NPK, capazes de ofertar maiores quantias de nutriente em formato assimilável pelas plantas a custos menores do que os fertilizantes orgânicos ou organominerais.

Com relação aos inoculantes, a comparação efetiva entre os resultados dos fertilizantes nitrogenados e das tecnologias para FBN é prejudicada pela não difusão da inoculação em demais culturas, exclusive a soja e o feijão. Apesar do lançamento recente de produtos para lavouras comerciais como milho e trigo, as avaliações dos impactos da inoculação nestas culturas não extrapolaram, até agora, o âmbito das casas de vegetação e ensaios em teste de campo nas organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento agrícola. Nesses termos, a substituição dos fertilizantes nitrogenados por inoculantes apresenta elevado grau de incerteza por parte dos agricultores.

Aspectos inerentes à base de conhecimento aplicada na produção dos inoculantes também podem ser apontados como barreiras à difusão de novos produtos. Dentre estes, destaca-se a incompatibilidade entre os inoculantes e os fertilizantes minerais. Hall e Clark (1995) ressaltam que resíduos de nitrogênio no solo afetam diretamente o resultado da inoculação. No caso das lavouras de milho, cultura que exige grandes aplicações de nitrogênio, a adoção dos inoculantes requer a substituição de uma tecnologia consagrada por outra de resultados ainda pouco acessíveis à maioria dos agricultores.

A baixa apropriabilidade das inovações representa outro fator que interrompe o desenvolvimento da trajetória tecnológica dos inoculantes. A regulamentação dos direitos de

propriedade intelectual impede o registro de patentes para produtos disponíveis na natureza. O processo de seleção e incorporação ao inoculante de estirpes mais eficientes na FBN não compreende a modificação genética dos organismos. Desse modo, investimentos privados em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos são desencorajados mediante as ameaças críveis de comportamento oportunista por parte das firmas concorrentes. De fato, a história da tecnologia dos inoculantes no Brasil enfatiza o papel central das organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento.

Portanto, a trajetória tecnológica dos inoculantes apresenta dificuldades para desfrutar todas as possibilidades de expansão que detém. Mesmo diante dos resultados positivos na cultura da soja, o processo de difusão dos inoculantes esbarra na incerteza dos agricultores quanto aos efeitos da inoculação em demais culturas como o milho e o trigo. Além disso, problemas intrínsecos às atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos impedem a expansão da trajetória tecnológica dos inoculantes.

Em certa medida, os problemas apresentados refletem a fraqueza de estratégias centralizadas de inovação tecnológica no setor agrícola. Isto é, o desenvolvimento de inovações cujo desempenho depende exclusivamente de avaliações do nível de produção que desconsideram uma série de benefícios ao sistema de produção agrícola proporcionados pela novidade. Com relação aos inoculantes, o uso destes produtos resulta em enriquecimento da matéria orgânica do solo, em melhoras no padrão de germinação das sementes, em maior proteção das lavouras contra estresses hídricos e climáticos, dentre outros. Em conjunto, tais fatores influenciam o resultado das lavouras de forma não prevista pelos pesquisadores e podem incentivar a adoção dos inoculantes. Nesse sentido, a abordagem do sistema de inovações agrícola permite depurar os efeitos dos inoculantes para além dos incrementos no nível de produção e, assim, descortinar uma série de mecanismos favoráveis ao fortalecimento da trajetória tecnológica desses produtos.

III.3.1. Fortalecimento da Trajetória Tecnológica dos Inoculantes

O solo é um integrante do meio-ambiente e constitui um recurso escasso indispensável para produção de alimentos à crescente população mundial. Desse modo, a manutenção da

qualidade do solo é um componente-chave para o desenvolvimento sustentável das práticas agrícolas. Por esse motivo, preservar a qualidade do solo trata-se de um objetivo perseguido pela maioria dos agricultores e formuladores de políticas agrícolas.

O conceito adotado para definir a qualidade do solo refere-se à aptidão de um tipo específico de solo para funcionar dentro das suas capacidades e dos limites naturais ou gerenciados dos ecossistemas, sustentar a produção das lavouras e dos rebanhos, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e, apoiar a saúde e a habitação humana (Karlen *et al.*; 1997). Este quadro de referência amplo possibilita diferenciar dois tipos de fenômenos inerentes ao estado de conservação do solo, aqueles determinados por seus fatores básicos de formação e os resultantes das intervenções antrópicas.

Nesse contexto, as atividades de monitoramento da qualidade do solo extrapolaram as práticas de controle da erosão e manutenção do nível de produção agrícola e passaram a enfatizar o uso sustentável da terra. Na esteira destes fatos, as avaliações de qualidade calcadas exclusivamente na determinação de atributos físicos e químicos do solo passaram a ser contestadas perante o papel de balizadoras das práticas agrícolas sustentáveis (Carneiro *et al.* 2009; Karlen, Ditzler e Andrews, 2003).

Desse modo, parâmetros microbiológicos como carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração microbiana e a população de microrganismos (rizóbios e micorrizas), tornaram-se indicadores da qualidade do solo. Tal fato é impulsionado por preocupações relacionadas aos possíveis efeitos da transgenia na microbiota do solo. Isto porque, os microrganismos do solo atuam nos processos de decomposição da matéria orgânica, participando diretamente do ciclo dos nutrientes, mediando a disponibilidade dos elementos requeridos pelas plantas na nutrição vegetal. Assim a biomassa microbiana do solo funciona como importante reservatório de nutrientes das plantas e, possíveis impactos sobre as atividades dos microrganismos comprometem diretamente a qualidade do solo.

Os resultados obtidos a partir do monitoramento de atributos microbiológicos indicam que estes parâmetros apresentam maior sensibilidade às alterações na qualidade do solo causadas pela sucessão de culturas e preparo do terreno para o cultivo (Franchini *et al.* 2007; Doran e Zeiss,

2000; Balota *et al.* 1998). Portanto, atividades com vistas à conservação e o fortalecimento da microbiota do solo tornaram-se indispensáveis às práticas agrícolas sustentáveis, principalmente nas lavouras comerciais de produção elevada, intensivas em insumos químicos e mecânicos. Nesses casos, a redução da atividade microbiana a níveis críticos pode implicar na perda de resposta das plantas à adubação.

No caso da cultura de cana-de-açúcar, o esgotamento de nutrientes e de fatores bióticos do solo é um processo natural que resulta na queda da produção das lavouras com o passar do tempo. Dependendo do solo e do material genético do cultivar utilizado, a longevidade do canavial pode chegar a cinco ou seis cortes, depois desse ponto a produção das lavouras de cana não consegue superar seus custos de manutenção (Borba e Bazzo, 2009). Característica comum às demais plantas semi-permanentes, a renovação da plantação é um estágio inserido no ciclo produtivo da cana. Cabe ressaltar que o esgotamento natural de nutrientes nas lavouras de cana potencializa o papel das atividades de conservação do solo.

A renovação do canavial pode ser realizada de três formas: com o plantio imediato de cana após a retirada da lavoura esgotada, com o plantio de cana após o período de repouso e preparo da terra ou através da rotação de culturas. Conforme apontam Luz *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2011), a renovação do canavial através da rotação de culturas trata-se do método mais adotado. Em comparação com as demais opções, a rotação de culturas apresenta vantagens agronômicas e econômicas.

No caso do plantio imediato após a retirada da cana esgotada, a renovação do canavial ocorre sem a recuperação do solo para o novo plantio, contanto apenas com a aplicação de fertilizantes minerais. Desse modo, a continuidade da produção acarreta na degradação do solo e em respostas cada vez menores das plantas aos fertilizantes químicos, fato que pode tornar a área imprópria para o cultivo.

A renovação precedida pelo período de pousio e preparação do solo é aplicada em todas as regiões de cultivo do país (Oliveira *et al.*, 2011). O método prevê a renovação por ano de cerca de 20% da área cultivada. Assim, ao final do quinto ano, ou em prazo menor dependendo do

desempenho da plantação, o primeiro talhão renovado é removido novamente. Contudo, durante o período de repouso, que compreende o último corte e o plantio, o solo permanece descoberto e suscetível ao impacto de fatores climáticos que podem acelerar o processo de degradação do solo.

O método de renovação com rotação de culturas prevê o cultivo de plantas na área em que será plantado o novo canavial. Esta prática não interfere no ano agrícola e não atrapalha a brotação da cana, uma vez que a semeadura e a colheita das culturas em rotação são realizadas no período entre o último corte e o plantio do canavial. A rotação de culturas exige o planejamento do uso do solo e o respeito à aptidão agrícola de cada talhão, pois eleva a complexidade das atividades produtivas e da exploração dos recursos escassos. Por esses motivos, recomenda-se a adoção gradativa desta prática a fim de não comprometer à atividade principal.

No âmbito da renovação do canavial, a rotação de culturas prevê o cultivo de plantas para fins comerciais ou com vistas à adubação verde. Em ambos os casos, as plantas mais utilizadas correspondem à família das gramíneas ou das leguminosas (Luz *et al.*, 2005). Nesse contexto, a tecnologia da inoculação trata-se de ferramenta indispensável ao sucesso da empreitada.

Os inoculantes enriquecem o solo de nutrientes e matéria orgânica, proporcionando a liberação gradual dos elementos essenciais à nutrição vegetal das plantas. Para além da fixação biológica de nitrogênio, produtos formadores de micorrizas arbusculares estimulam o enraizamento das plantas e a adsorção de nutrientes. Plantas com sistema radicular ramificado e denso são capazes de extrair nutrientes em camadas mais profundas do solo e devolvê-los à camada arável aumentando a disponibilidade de nutrientes para a cana renovada. Além dos ganhos ambientais proporcionados pelo incremento da qualidade do solo, o desenvolvimento de inoculantes mais adaptados à lógica da renovação do canavial acena para redução dos custos deste estágio do ciclo produtivo da cana.

Segundo Borba e Bazzo (2009), a renovação do canavial representa o estágio do ciclo produtivo da cana que possui os maiores custos em relação aos demais. Os custos por hectare renovado superam, por exemplo, os gastos por hectare com as etapas de corte, carregamento e transporte da cana (CTC). Embora seja um estágio crucial para o desempenho do ciclo de

produção e responsável por elevados gastos, a renovação do canavial não contava com linhas de financiamento específico, tendo que ser realizada com recursos próprios ou com o apoio de linhas de crédito com encargos financeiros superiores aos demais tipos de financiamento para o setor, como a compra de insumos e custeio.

Com isso, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) criou, em janeiro de 2012, um novo programa para incentivar a produção de cana-de-açúcar por meio de financiamentos à renovação dos canaviais antigos e à ampliação da área plantada. Tal iniciativa ratifica a importância econômica da produção de cana, principal insumo para produção de bioenergia, setor estratégico para a economia nacional (CGEE, 2005).

Por outro lado, com base na abordagem sistêmica da inovação, o financiamento à renovação do canavial representa um canal institucional adequado ao fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes, e da biotecnologia agrícola em sentido mais amplo. A contratação do crédito atrelada ao uso de tecnologia nacional da inoculação significa incentivos à pesquisa e ao acúmulo de conhecimento no setor, e aumenta as possibilidades de transbordamento deste conhecimento em atividades relacionadas³⁹. Cabe ressaltar que a inoculação já faz parte do “pacote tecnológico” adotado na renovação dos canaviais via rotação de culturas, assim como o crédito vinculado à compra de insumos nacionais faz parte da política de financiamento das atividades produtivas por parte do BNDES.

“It is because knowledge is used but not used up, that ideas feed inexorably ideas, which make increasing returns in the production of ideas to be of far greater importance than increasing returns in the production of goods and services (Metcalf, 2010).”

Com efeito, a institucionalização de políticas de incentivo à difusão da inoculação constitui uma “porta de saída” aos esforços das organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento agrícola, dados os fatores inerentes à base de conhecimento do setor que, em larga escala, desencorajam o aporte de investimentos privados na busca por novidades. Nesse contexto, o programa de agricultura de baixo carbono (ABC) representa outro exemplo útil às

³⁹ Nas palavras de Metcalfe (2000): *“Is the characteristic of knowledge that one idea lead to another in unpredictable ways reflecting the immense possibilities for the recombination of ideas and the use of ideas.”*

abordagens sistêmicas da inovação que propõem a construção de mecanismos indutores do desenvolvimento tecnológico.

Em síntese, o programa ABC prevê, para safra 2011/2012, a liberação de até R\$ 3.150 bilhões para o setor agropecuário com o intuito de incentivar processos tecnológicos que neutralizem ou minimizem os efeitos dos gases de efeito estufa no campo. Os financiamentos são direcionados para seis iniciativas: plantio direto na palha, recuperação de áreas degradadas, integração lavoura-pecuária, plantio de florestas comerciais, fixação biológica de nitrogênio e tratamento de resíduos animais.

A despeito do papel fundamental da tecnologia da inoculação para a fixação biológica de nitrogênio, tratado amplamente neste trabalho, as atividades de recuperação de áreas degradadas e tratamento de resíduos animais também representam oportunidades para o fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes. Em relação à recuperação de áreas degradadas, a tecnologia da inoculação é incorporada ao processo via adubação verde. No que tange o tratamento de resíduos animais, a incorporação de bactérias anaeróbicas mais eficientes potencializam a produção de metano pelo biodigestor (Amaral, 2004).

É importante ressaltar que a Embrapa possui tecnologias disponíveis tanto para a recuperação de áreas degradadas⁴⁰ como para o manejo de resíduos sólidos⁴¹. Cabe então, a construção de canais institucionais apropriados para capturar as sinergias entre a busca por atividades agropecuárias sustentáveis e o desenvolvimento tecnológico nacional.

⁴⁰http://www.catalogosnt.cnptia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONTAG01_427_13112006154910.html

⁴¹http://www.catalogosnt.cnptia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONT000fy760xs602wx5ok0z6rslymuj0jff.html e http://www.catalogosnt.cnptia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONT000ezqw69of02wx5af006n9gd2srdyfr.html

CONCLUSÃO

O caráter dos desafios impostos à difusão das biotecnologias agrícolas no Brasil ganha contornos ainda mais singulares quando se considera a importância da produção agrícola para a economia nacional. Seja em função da posição de destaque dos produtos brasileiros no comércio internacional ou devido à produtividade elevada de cultivos comerciais, base da competitividade em setores industriais estratégicos. Numa visão mais ampla, tais constatações reforçam a premissa de que a importação de tecnologias como forma de promover o desenvolvimento econômico via abertura comercial e estímulo à instalação de corporações líderes mundiais no mercado nacional não deve ser tomada como diretriz no caso das biotecnologias vegetais. A ruptura do regime tecnológico da revolução verde é reiterada neste trabalho através da comparação entre a evolução no setor de fertilizantes nitrogenados e da tecnologia da inoculação.

Os resultados do modelo insumo produto indicam que o impacto econômico dos inoculantes é percebido tanto na redução do valor adicionado bruto do setor produtor de soja como na perda de competitividade no comércio internacional de soja. Embora significativos, os impactos econômicos dos inoculantes na soja não são capazes de incentivar a difusão destes produtos em demais culturas. A principal contribuição deste trabalho reside na constatação de que os fatores determinantes da adoção dos inoculantes não são capturados por avaliações calcadas exclusivamente nos incrementos do nível de produção. Eventos atribuídos ao uso da inoculação como o aumento da matéria orgânica no solo e a maior oferta de nutrientes são essenciais para a competitividade das lavouras brasileiras de soja. A sucessão de lavouras com produtividade elevada exige a preservação da fertilidade dos solos, condição atingível mediante a adoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Afirma-se que o fortalecimento da trajetória tecnológica dos inoculantes, e dos produtos biotecnológicos para agricultura de modo geral, requer a construção de canais institucionais adequados. Tais mecanismos indutores da tecnologia da inoculação devem priorizar o fluxo de informações sobre os efeitos positivos dos inoculantes no sistema de produção agrícola, para além da fixação biológica do nitrogênio, como a manutenção da fertilidade do solo.

O distanciamento entre o potencial de pesquisa e as atividades empresariais é um traço característico da biotecnologia brasileira (Silveira, Dal Poz e Fonseca, 2001). O presente trabalho buscou contribuir para a alteração deste quadro, com ênfase nas biotecnologias agrícolas, através da busca de condições e do ambiente adequado à profusão de negócios a partir do conhecimento científico acumulado nas organizações públicas de pesquisa e desenvolvimento. Acreditamos que a pesquisa econômica cumpre um papel importante no design de mecanismos regulatórios eficientes em prol do fortalecimento do sistema nacional de inovações agrícolas.

De modo geral, a quebra das complementaridades entre as inovações biotecnológicas e insumos agrícolas como fertilizantes sintéticos e defensivos químicos insere a produção agrícola num patamar de competitividade distinto daquele observado até então. O sentido destas transformações acena para atividades agrícolas sustentáveis e integradas aos setores industriais.

BIBLIOGRAFIA

AGHION, P.; HOWITT, P.; **Endogenous Growth Theory**. Boston, MIT press, 1999.

ALBUQUERQUE, E.M. **Sistema nacional de inovação no Brasil: Uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia**. Revista de Economia Política, vol. 16, 1996.

ALCHIAN, A.A. **Uncertainty, Evolution, and Economic Theory**. *The Journal of Political Economy*, Vol.58, 1950.

ALCOUFFE, A.; KUHN, T. **Schumpeterian endogenous growth theory and evolutionary economics**. *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 14, 2004.

ALLEN, D.W.; LUECK, D. **The nature of the farm**. Cambridge, MA: MIT, 2002.

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.; URQUIAGA, S. **The success of BNF in soybean in Brazil**. *Plant and soil*, vol.252, 2003.

AMORIM, A.L.; CORONEL, D.A.; TEIXEIRA, E.C. **A agropecuária na economia brasileira: uma análise insumo produto**. *Perspectiva Econômica*, Vol.5, 2009.

ANANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2006.

_____. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2009.

_____. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2010.

_____. **1º Congresso Brasileiro de Fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2011.

ANDERSEN, E.S. **The process of creative destruction: from vision to measurement and evolutionary exploration**. Paper for the DRUID summer conference, 2004.

ANDERSEN, E.S. **From the Schumpeterian entrepreneur toward modern evolutionary economics: Schumpeter's core work revisited**. Paper for the European Association for Evolutionary Political Economy Conference on Schumpeter Heritage's, Vienna, 27-30 October, 2011.

AOKI, M. **Endogenizing institutions and institutional changes**. *Journal of Institutional Economics*, Vol.3, 2007.

ARAÚJO, S.C. **Produção e uso de inoculantes no Brasil**. In MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C (Eds.). **A soja no Brasil. 1981**

ARNON, D.I.; STOUT, P.R. **The Essentiality of certain elements**. *Plant physiology*, 1939.

ARROW, K. **The Economic Implications of Learning by Doing**. *The Review of Economic Studies*, Vol.29, 1962.

BALDANI,J.I.; BALDANI,V.L.D. **History of the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, Vol 77, 2005.

BALOTA,E.L.; COLOZZI-FILHO,A.;ANDRADE,D.S.;HUNGRIA,M. **Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas.** Revista brasileira de ciências do solo, vol.22, 1998.

BIGGS, S.D. **A multiple source of innovation model of agricultural research and technology promotion.** *World Development*, Vol.18, 1990

BIOFAG. **Biofertilizantes em Iberoamérica: visión técnica, científica y empresarial.** Madrid: Red Iberoamericana de biofertilizantes microbianos para la agricultura, 2008. *Mimeo.*

BNDES. **Déficit comercial, exportações e perspectivas da indústria química brasileira.** BNDES Setorial, vol.33, 2011.

_____ **Principais Empresas e Grupos brasileiros do setor de fertilizantes.** BNDES Setorial, vol.29, 2009.

_____ **Fertilizantes: Uma visão global sintética.** BNDES Setorial, vol.24, 2006.

BORBA, M.M.Z.; BAZZO, A.M. **Estudo econômico do ciclo produtivo da cana de açúcar para a reforma de canavial em área de fornecedor no Estado de São Paulo.** Anais dos Encontros da SOBER, 2009.

BORGES, I.C. **Os desafios do desenvolvimento da engenharia genética na agricultura: Percepção de riscos e políticas regulatórias.** Campinas, UNICAMP, Instituto de Economia, Tese de Doutorado, 2010.

BORÉM, A.; SANTOS, F.R. **Biotecnologia Simplificada.** Viçosa : Editora UFV,2003.

BRESCHI,S.;MALERBA,F.;ORSENIGO,L. **Technological Regimes and Schumpeterian patterns of innovation.** *The Economic Journal*, Vol. 110, 2000.

BYERLEE,D.; ECHEVERRIA, R.G. (eds.)**Agricultural research policy in an era of privatization.** New York, NY: CABI Pub, 2002.

CANHOS, W.P.; MANFIO, G.P. **Recursos Microbiológicos para biotecnologia.** In SILVEIRA, J.M.F.J.; DAL POZ, M.E.; ASSAD, A.L.(orgs.) **Biotechnology e recursos genéticos: Dimensões e oportunidades para o Brasil.** Campinas, UNICAMP, Instituto de Economia-FINEP, 2004.

CARMO, A.J.B. **Demanda de fertilizantes a nível regional e de Brasil, 1954-1979.** São Paulo: FEA-USP, Dissertação de Mestrado, 1982.

CARNEIRO, M.A.C.;SOUZA,E.;REIS,E.F.;PEREIRA,H.S.;AZEVEDO,W.R.**Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista brasileira de ciências do solo, vol.33;2009.

CASSIOLATO, J.S.; LASTRES, H.M.M. **Sistemas de Inovação e desenvolvimento: as implicações de política.** São Paulo em perspectiva, vol.19, 2005.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Ciência, Tecnologia e Sociedade: Novos Modelos de Governança**. Brasília: CGEE, 2005

CHIAROMONTE, F., DOSI, G., ORSENIGO, L. **Innovative learning and institutions in the process of development: on the microfoundation of growth regimes**. In: THOMSON, R.(Org.). **Learning and technological change**. UK: Macmillan Press, 1993. p.117-149.

CLARK, N. **Innovation systems, institutional change and the new knowledge market: implications for third world agricultural development**. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 11, 2002.

CONWAY, G. **Produção de alimentos no século XXI: biotecnologia e meio ambiente**. São Paulo: Estação Liberdade, 2003.

CONWAY,R.;FORAY,D. **Evolutionary economics and the counterfactual threat: on the nature and role of counterfactual history as an empirical tool in economics**. *Journal of evolutionary economics*, vol.12, 2002.

CONWAY,R.; GUNBY,P. **Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control strategies**. *The economic journal*, vol.106,1996.

COSTA,R.;XIA, Y.;ROSSON,P. **An assessment of the global soybean industry: an application of stochastic equilibrium displacement model**. Alabama, Mobile, Agricultural Economics Association Meeting, 2007.

COUTINHO,L.;FERRAZ,J.C. **Estudo da competitividade da indústria brasileira**. Campinas: Papirus, 1995.

DAWSON,C.J.;HILTON,J.**Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus**. *Food Policy*, vol.36, 2011.

DOBEREINER, J. **Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions**. *Soil biology and chemistry*, Vol.29, 1997.

DOPFER, K. **Evolutionary economics: a theoretical framework**. In DOPFER, K. (edt). **The evolutionary foundations of economics**. New York, NY, Cambridge University Press, 2005.

DORAN,J.W.;ZEISS,M.R. **Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality**. *Applied soil ecology*, vol.15,2000.

DOSI,G. **Technological Paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants of the direction of technical change**. *Research Policy*, Vol. 11, 1982.

DOSI,G. **Sources, procedures and microeconomic effects of innovation**. *Journal of Economic Literature*, Vol.26, 1988.

EDQUIST,C. **Systems of Innovation: Perspectives and Challenges**, In FAGERBERG,J.;MOWERY,D.; NELSON,R. (eds.)**The Oxford Handbook of Innovation**. New York: Oxford Univ.Press, 2005.

EKBOIR,J.;PARELLADA,G. **Public-Private interactions and technology policy in innovation processes for zero tillage in Argentina.** In BYERLEE,D.; ECHEVERRIA, R.G. (eds.)**Agricultural research policy in an era of privatization.** New York, NY: CABI Pub, 2002.

ÉRBER,F.S. **O sistema de inovações em uma economia monetária – uma agenda de pesquisas.** IE-UFRJ , Nota técnica 03, 1998.

FAGERBERG,I. **Understanding economic growth.** In MALERBA, F.; BRUSONI, S. **Perspectives on innovation.** Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007.

FAGERBERG,J. **Systems of innovation.** In FAGERBERG,J.;MOWERY,D.; NELSON,R. (eds.)**The Oxford Handbook of Innovation.** New York: Oxford Univ.Press, 2005.

FAGERBERG,J.;MOWERY,D.; NELSON,R. (eds.)**The Oxford Handbook of Innovation.** New York: Oxford Univ.Press, 2005.

FAO. **How to feed the World in 2050.** Roma: High-Level Expert Forum, 2009a. Disponível em: <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/en/>.

____. **The technology challenge.** Roma: High-Level Expert Forum, 2009b. Disponível em: <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/en/>.

____ **World food and agriculture: lessons from the past 50 years.** The State of Food and Agriculture, 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/sofa/en/>.

____ **Forecasting long term global fertilizer demand.** Rome: FAO, 2008.

FAO; IFA. **Los fertilizantes y su uso.** Paris: International Fertilizer Association, 2006.

FEDERICO, G. **Feeding the world: an economic history of agriculture, 1800-2000.** Princeton: Princeton University Press, 2006.

FERRARO,M.C. **Estruturas de Incentivo ao Investimento em Novos Gasodutos: Uma análise neo-institucional do novo arcabouço regulatório brasileiro.** Rio de Janeiro: IE-UFRJ, Tese de Doutorado, 2010.

FRANCHINI, J.C.;CRISPINO,C.C.;SOUZA,R.A.;TORRES,E.HUNGRIA,M. **Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil.** *Soil and tillage research*, vol.92,2007

FREEMAN,C. **The national system of innovation in historical perspective.** *Cambridge Journal of economics*, vol.19, 1995.

____. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan.** London: Pinter, 1987.

FREEMAN,C.;CLARK,J.;SOETE,L. **Unemployment and technical innovation: a study of long waves and economic development.** London : F.Pinter, 1982.

FREEMAN,C.; LOUÇÃ,F. **As time goes by: from industrial revolution to the information revolution.** Oxford, Oxford University Press, 2001.

- FREEMAN,C; SOETE,L.. **A Economia da Inovação Industrial**. Campinas: Editora UNICAMP, 2008.
- FREIRE,J.RJ.;VIDOR,C. **Estudos da inoculação no Estado do Rio Grande do Sul**. In MIYASAKA,S.;MEDINA,J.C (Eds.). **A soja no Brasil. 1981**.
- FUGLIE,K.O. **Research investments and market structure in the food processing, agricultural input, and biofuel industries worldwide**. USDA, economic research report 130,december 2011.
- FUKUDA-PARR,S. **The Gene Revolution**. London: Sterling, 2007.
- FURTUOSO, M.C.O.; GUILHOTO, J.J.M. **Estimativa e mensuração do Produto Interno Bruto do agronegócio da economia brasileira, 1994 a 2000**. Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural.Vol.41, 2003.
- GAN,Y.;STULEN,I;POSTHUMUS,F. **Effects of N management on growth, N₂ fixation and yield of soybean**. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol.62, 2002.
- GRAFF,G.;HOCHMAN,G.;ZILBERMAN,D. **The political economy of biotechnology policies**. *AgBioForum*, vol.12,2009.
- GRILICHES, Z. **Hybrid Corn: An exploration in the economics of technological change**. *Econometrica*, Vol.25, 1957.
- GUILHOTO,J.J.M. *et al*.**PIB da agricultura familiar: Brasil- Estados**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2007.
- _____ ; CAMARGO, F.S.; IMORID.; INOMATA,S. **National Input-Output Table o Brazil**. Asian International Input-Output Series, Vol.71, 2008.
- _____ ; SESSO FILHO, U. **Estimação da Matriz Insumo-Produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais**. *Economia Aplicada*, Vol.9, Abril, 2005.
- HALL, A. **Capacity development for agricultural biotechnology in developing countries: an innovation systems view if what it is and how to develop it**. *Journal of international development*, vol.17, 2005.
- HADDAD, P. R. **Contabilidade social e economia regional: analise de insumo-produto**. Rio de Janeiro, RJ: Zahar, 1976.
- HALL,A.;CLARK,N. **Coping with change, complexity and diversity in agriculture – The case of rhizobium inoculants in Thailand**. *World Development*, vol.23, 1995.
- HAYAMI,Y.;RUTTAN,V.W. **Factor Prices and Technical Change in Agricultural Development: The United States and Japan, 1880-1960**. *The Journal of Political Economy*, Vol. 78, 1970.
- HEERTJE, A.; PERLMAN, M.(eds) **Evolving tecnologia and market structure: studies in schumpeterian economics**. Ann Arbor, University of Michigan, 1993.

HOBDDAY,M. **Os sistemas de inovação do leste e do sudeste asiáticos: comparação entre o crescimento do setor eletrônico promovido pelo sistema FEO e pelas ETNs.** In. KIM,L.; NELSON,R.(orgs.) **Tecnologia, aprendizado e inovação.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.

HORNER, G.L. **Internalizing Agricultural Nitrogen Pollution Externalities: A case study.** *American Journal of Agriculture Economics*, Vol.57, 1975.

HUANG, W. **Factors contributing to the recent increase in U.S. fertilizer prices, 2002-08.** USDA report AR-33, february 2009.

HUNGRIA,M. **Microrganismos de Importância Agrícola.** Brasília: EMBRAPA, 1994.

HUNGRIA,M.; CAMPO,R. **Inoculantes microbianos: situación em Brasil.** In MAYORAL, M.L.;LABANDERA,C.;SANJUÁN,J. **Biofertilizantes em Iberoamérica: visión técnica, científica y empresarial.** BIOFAG, 2007.*mimeo.*

HUNGRIA,M.;CAMPO,R.J.;MENDES,I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2007. *mimeo.*

IBGE. **Série Relatórios Metodológicos: Sistema de Contas Nacionais.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008.

IFA. **The Chemical fertilizer industry in China: A review and its outlook.** Paris: International Fertilizer Association, 2009.

____. **Indonesia National Fertilizer Industry: Current situation and future development.** Paris: International Fertilizer Association, 2007.

____. **Soil and Plant Nitrogen.** Paris: IFA, 2004.

____. **The Chemical Fertilizes Industry in China.** Paris: IFA, 2009.

INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE (IFPRI), **Fertilizer Market Situation.** IFPRI discussion paper 01058, January, 2011.

IPEA, **Condicionantes da Produtividade da Agricultura brasileira.** Brasília: IPEA, T.D. 1017, 2004.

IPT. **Tecnologia de Produção de Fertilizantes.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

JAYNE, T.S.;GOVEREH,J.;WANZALA,M.;DEMEKE,M. **Fertilizer market development: a comparative analysis of Ethiopia, Kenya and Zambia.** *Food Policy*, vol.28, 2003.

JUST, R.; ALSTON, J.; ZILBERMAN, D. (eds.) **Regulating Agricultural Biotechnology: Economics and Policy.** New York, Springer, 2006.

KARLEN, D.L.;MAUSBACH,M.J. DORAN,J.W.CLIN,F.R.HARIS,D.C.SCHUMAN,G.E. **Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation.** *Soil Science Society of America Journal, Guest Editorial*, vol.61,1997.

- KARLEN,D.L.;DITZLER,C.A.;ANDREWS,S.S. **Soil quality: why and how::***Geoderma*,vol.114,2003.
- KIM,L.; NELSON,R.(orgs.) **Tecnologia, aprendizado e inovação.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.
- KLOPPENBURG, J.R. **First the seed: The political economy of plant biotechnology, 1492-2000.** Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- KURZ, H.D.; SALVADORI, N. **Classical Roots of Input-Output Analysis: a short Account of its Long Prehistory.** *Economic Systems Research*. Vol.12, Junho, 2000.
- LALL,S. **A mudança tecnológica e a industrialização nas economias de industrialização recente da Ásia: conquistas e desafios.** In KIM,L.; NELSON,R.(orgs.) **Tecnologia, aprendizado e inovação.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.
- LASTRES,H.M.M.; CASSIOLATO,J.E.; ARROIO, A. **Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento.** Rio de Janeiro, UFRJ: Contraponto, 2005.
- LEME,M.F.P.;ZYLBERSZTAJN,D. **Determinantes da escolha de arranjos institucionais: evidências na comercialização de fertilizantes para a soja.** *Revista de Economia Rural*, vol.46, 2008.
- LOPES,E.S. **Evolução dos estudos de microbiologia do solo no Instituto Agrônomicos –Pesquisas Recentes e Ligeiras considerações sobre seu desenvolvimento no Brasil.** *O Agrônomico*, vol.26, 1974.
- LOPES,E.S.;GIARDINI,A.R.. **Estudos da inoculação no Estado de São Paulo.** In MIYASAKA,S.;MEDINA,J.C (Eds.). **A soja no Brasil. 1981**
- LUNDEVALL,B.A.; INTARAKUMNERD,P.; VANG,J.**Asia's innovation system in transition.** Northampton, MA: Edward Elgar, 2006.
- LUZ, P.H.C.;VITTI, G.C.;QUINTINO,T.A.;OLIVEIRA,D.B.**Utilização de Adubação verde na cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba, ESALQ: Departamento de solos e nutrição de plantas, 2005.
- MALAVOLTA,E. **Adubos e Adubações.** São Paulo: Nobel, 2002.
- MALERBA,F. **Sectoral systems of innovation and production.** *Research Policy*, Vol.31, 2002.
- _____. **Sectoral systems of innovation: A framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors.** *Economics of Innovation and new technology*, Vol.14, 2005.
- MALERBA,F.; ORSENIGO,L. **Schumpeterian patterns of innovation.** *Cambridge Journal of Economics*. Vol.19, 1994.
- MALERBA,F.; ORSENIGO,L. **Technological Regimes and Sectoral patterns of innovative activities.** *Industrial and Corporate Change*, Vol.6,1997.
- METCALFE,J.S.**Evolutionary economics and creative destruction.** New York, Routledge, 1998.
- _____. **Knowledge of Growth and the growth of knowledge.** *Journal of Evolutionary Economics*. Vol.12, 2002.

METCALFE,J.S.; FOSTER, J. **Evolutionary growth theory.** In SETTERFIELD, M. (edt) **Handbook of alternative theory of economic growth.** Northampton, MA, Edward Elgar, 2010.

METCALFE,J.S.; RAMLOGAN, R. **Creative Destruction and the Measurement of Productivity Change** Revue de l'OFCE, 2006/5 no 97 bis, p. 373-397.

MCT, **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima.** Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-Output Analysis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MIYASAKA,S.;MEDINA,J.C (Eds.). **A soja no Brasil. 1981.**

MORETTI,E.R. **Visión de los biofertilizantes desde el punto de vista de la industria.** In MAYORAL, M.L.;LABANDERA,C.;SANJUÁN,J. **Biofertilizantes em Iberoamérica: visión técnica, científica y empresarial.** BIOFAG, 2007.

NELSON,R.; WINTER, S.; **Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica.** Campinas:UNICAMP,2005.

NICOLLELA, C.A.; DRAGONE, D.S.; BACHA, C.J.C. **Determinantes da Demanda de fertilizantes no Brasil no período de 1970-2002.** Revista de Economia Rural, Vol.43, 2005.

NOVAIS, F. (org). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OECD. **Challenges for Agriculture Research.** OECD Publishing, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264090101-en>.

OLIVEIRA, A.F.; PEREIRA, C.N.;SILVA, F.C.;**Analisis of crop rotation in reform of sugarcane in Brazil.** *Mimeo*, 2011.

PARDEY,J.; ALSTON,J.M.;PIGOTT, R.R. **Agriculture R & D in developing world: too little to late::** Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2006.

PARDEY,J.;BEINTEMA,N.;DEHMER,S.;WOOD,S.**Agricultural research: a growing global divide:** Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2006.

PAVITT,K. **Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory.** *Research Policy*, Vol.13,1984.

PENROSE, E.T. **A Teoria do Crescimento da Firma.** Campinas: Editora da UNICAMP, 2006.

POSSAS,M.L. **Dinâmica da economia capitalista: uma abordagem teórica.** São Paulo: Brasiliense, 1987.

_____ **Dinâmica e concorrência capitalista: uma interpretação a partir de Marx.** São Paulo: HUCITEC, 1984.

_____. **Economia Evolucionária neo-schumpeteriana: elementos para uma integração micro-macrodinâmica.** Estudos Avançados, vol.22, 2008.

_____. **Estruturas de Mercado em Oligopólio.** São Paulo: HUCITEC, 1990.

POSSAS,M.L.;SALLES-FILHO,S.;SILVEIRA,J.M.F.J. **An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks.** *Research Policy*, vol.25,1996.

POTASHCORP. **Overview of PotashCorp and its industry.** Saskatoon, Canada, 2008.

PRADO, E.F.S. **Microeconomia reducionista e microeconomia sistêmica.** Nova Economia, vol.16, 2006.

QAIM,M. **The Economics of Genetically Modified Crops.** *The Annual Review of Resource Economics*, 2009.

RAUSSER,G.;SIMON,L.;AMEDEN,H. **Public-Private alliance in biotechnology: Can they narrow the knowledge gap between rich and poor:** *Food Policy*, vol.25,2000.

ROCHA,M.A.M.; SILVEIRA,J.M.F.J. **Propriedade e controle dos setores privatizados: uma avaliação da reestruturação societária pós-privatização.** Foz do Iguaçu: XXXVII Encontro Nacional de Economia, ANPEC, 2009.

ROMEIRO, A.R. **Meio Ambiente e Dinâmica de Inovações na Agricultura.** São Paulo: Annablume, Fapesp, 1998.

ROSENBERG.N. **Inside the Black Box.** Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

_____. **The Direction of Technological Change: Inducement Mechanism and Focusing Devices.** *Economic Development and Cultural Change*. Vol. 18, 1969.

SAAB,A.A.;ALMEIDA,R. **O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnósticos e propostas de políticas.** Revista de Política Agrícola, Ano XVII, vol.2, 2008

SAFARZYSNKA,K.; VAN DEN BERGH, J.C.J.M. **Evolutionary methods in economics: a survey of methods and building blocks.** *Journal of evolutionary economics*, vol.20, 2010.

SCHUMPETER, J.A. **Capitalismo, socialismo e democracia.** Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

_____. **Teoria do Desenvolvimento Econômico.** Rio de Janeiro: Fundo de Cultural, 1961.

SCHUMPETER, J.A. **The instability of capitalism.** *The Economic Journal*, Vol.38, 1928.

SECRETARIA DE ACOMPANHAMENTO ECONÔMICO, **Panorama do mercado de fertilizantes,** Ministério da Fazenda, 2011

SHIONOYA, Y. **Schumpeter and evolution: an ontological exploration.** In SHIONOYA, Y.; Nishizawa, T. (eds) **Marshall and Schumpeter on evolution.** Northampton, MA : Edward Elgar, 2008.

SILVEIRA, J.M.F.J. **Inovação tecnológica e crescimento: da teoria da inovação induzida as teorias de crescimento endógeno.** Campinas, UNICAMP, Instituto de Economia, Tese de Doutorado, 2002.

SILVEIRA, J.M.F.J.. **Inovação tecnológica na agricultura, o papel da biotecnologia agrícola e a emergência de mercados regulados.** In GASQUES, J.G.; EUSTÁQUIO, J.R.V.F.; NAVARRO, Z. **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas.** Brasília: IPEA, 2010.

SILVEIRA, J.M.F.J.; BORGES, I.C.; BUAINAIN, A.M.; **Biotechnologia e Agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos na inovação.** São Paulo em perspectiva, Vol.19, 2005.

SILVEIRA, J.M.F.J.; BORGES, I.C.; FONSECA, M.G.D. **Biotechnologia e desenvolvimento de mercados: novos desafios, novos conceitos.** In RAMOS, P. (org.) **Dimensões do Agronegócio Brasileiro.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2007.

SILVEIRA, J.M.F.J.; DAL POZ, M.E.; ASSAD, A.L.(orgs.) **Biotechnologia e recursos genéticos: Dimensões e oportunidades para o Brasil.** Campinas, UNICAMP, Instituto de Economia-FINEP, 2004.

SILVERBERG,G.; VERSPAGEN,B.**Evolutionary theorizing on economic growth.** In DOPFER, K. (edt). **The evolutionary foundations of economics.** New York, NY, Cambridge University Press, 2005.

SIMÕES, D.C. **Regras, normas e padrões no comércio internacional: o Protocolo de Cartagena sobre biossegurança e seus efeitos potenciais para o Brasil.** Piracicaba, ESALQ-USP, Dissertação de Mestrado, 2008.

SOLOW, R. **A contribution to the theory of economic growth.** *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, 1956.

SOLOW,R. **Growth theory: an exposition** Oxford, Claredon, 2000.

SPIELMAN,D.J. **Innovation system perspectives on developing country agriculture: A critical review.** Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2005.

SYLOS, L.P. **Oligopólio e Progresso Técnico.** São Paulo: Nova Cultural, 1986.

UNKOVICH,J.M.; PATE,J.S. **An appraisal of recent field measurement of symbiotic N₂ fixation by annual legumes.** *Fields Crop Research*, Vol.65, 2000.

VALOR ECONÔMICO. **Análise Setorial: Indústria de Fertilizantes.** São Paulo: Valor Econômico, 2008.

VAN DE KLUNDERT, T.C.M.J. **Growth theory in historical perspective.** Northampton, MA: Edward Elgar, 2001.

VAN KESSEL,C.; HARTLEY,C. **Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation.** *Field Crops Research*, Vol.65, 2000.

VERSPAGEN,B. **Innovation and economic growth theory: a Schumpeterian legacy and agenda.** In Malerba, F.; Brusoni, S. **Perspectives on innovation.** Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007.

VIEIRA FILHO, J.E.R. **Inovação tecnológica e aprendizado agrícola: uma abordagem schumpeteriana.** Campinas, UNICAMP, Instituto de Economia, Tese de Doutorado, 2009.

WITT.U.; **What is specific about evolutionary economics.** *Journal of Evolutionary Economics*, vol.18,2008.

WORLD BANK. **Enhancing Agricultural Innovation: How to go beyond the strengthening of research systems.** Washington, DC: The World Bank, 2008a.

WORLD BANK. **Agriculture Innovation systems: from diagnostics toward operational practices.** Washington, DC: The World Bank, 2008b.

Anexo 1- Coeficiente de valor adicionado bruto (VAB), matriz 28 setores- 2006

Ranking	Setor	Coeficiente de VAB
1	Serviços imobiliários e aluguel	0,94
2	Comércio	0,70
3	Administração, Saúde, Educação Pública e Seguridade Social	0,65
4	Intermediação financeira e seguros	0,65
5	Outros Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,60
6	Soja	0,60
7	Outros Serviços	0,55
8	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,54
9	Construção	0,53
10	Serviços de informação	0,51
11	Transporte, armazenagem e correio	0,50
12	Pecuária e pesca	0,49
13	Jornais, revistas, discos	0,47
14	Extrativa	0,47
15	Móveis e produtos das indústrias diversas	0,42
16	Produtos de madeira - exclusive móveis	0,41
17	Minerais não metálicos	0,39
18	Têxtil, Vestuário Couro e Calçados	0,37
19	Celulose e produtos de papel	0,32
20	Metalúrgica	0,31
21	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,31
22	Eletrodomésticos	0,26
23	Mat. Elétr. Eletrônico e de comunicações	0,25
24	Fertilizantes Minerais	0,24
25	Alimentos, Bebidas e Produtos do Fumo	0,21
26	Química	0,19
27	Defensivos agrícolas	0,19
28	Material de Transporte	0,19

Anexo 2- Coeficiente de Emprego, matriz 28 setores- 2006

Ranking	Setor	Coeficiente de Emprego
1	Outros Agricultura, silvicultura, exploração florestal	118
2	Pecuária e pesca	80
3	Comércio	47
4	Têxtil, Vestuário Couro e Calçados	39
5	Outros Serviços	36
6	Construção	33
7	Móveis e produtos das indústrias diversas	25
8	Produtos de madeira - exclusive móveis	25
9	Administração, Saúde, Educação Pública e Seguridade Social	20
10	Transporte, armazenagem e correio	20
11	Minerais não metálicos	15
12	Jornais, revistas, discos	12
13	Soja	12
14	Serviços de informação	11
15	Alimentos, Bebidas e Produtos do Fumo	8
16	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	7
17	Metalúrgica	6
18	Celulose e produtos de papel	5
19	Mat. Elétr. Eletrônico e de comunicações	5
20	Eletrodomésticos	5
21	Intermediação financeira e seguros	4
22	Material de Transporte	3
23	Serviços imobiliários e aluguel	3
24	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	3
25	Química	3
26	Fertilizantes Minerais	2
27	Extrativa	2
28	Defensivos agrícolas	1

Anexo 3- Índice de sensibilidade de dispersão – matriz 57 setores- 2006

Ranking	Setor	Índice de sens. de disp.
1	Comércio	2,78
2	Transporte, armazenagem e correio	2,36
3	Refino de petróleo e coque	2,23
4	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	2,16
5	Serviços prestados às empresas	2,08
6	Intermediação financeira e seguros	2,02
7	Serviços de informação	1,79
8	Outros Produtos químicos	1,71
9	Petróleo e gás natural	1,67
10	Outros Agricultura, silvicultura, exploração florestal	1,64
11	Fabricação de aço e derivados	1,54
12	Alimentos e Bebidas	1,31
13	Peças e acessórios para veículos automotores	1,26
14	Artigos de borracha e plástico	1,25
15	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	1,17
16	Fabricação de resina e elastômeros	1,15
17	Celulose e produtos de papel	1,05
18	Têxteis	1,05
19	Metalurgia de metais não-ferrosos	0,97
20	Fertilizantes Minerais	0,94
21	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,94
22	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,89
23	Outros da indústria extrativa	0,86
24	Serviços imobiliários e aluguel	0,85
25	Produtos e preparados químicos diversos	0,83
26	Produtos de madeira - exclusive móveis	0,82
27	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	0,82
28	Pecuária e pesca	0,80
29	Jornais, revistas, discos	0,80
30	Defensivos agrícolas	0,79
31	Outros produtos de minerais não-metálicos	0,78
32	Construção	0,72
33	Minério de ferro	0,70
34	Álcool	0,70
35	Outros equipamentos de transporte	0,70
36	Serviços prestados às famílias e associativas	0,67
37	Serviços de alojamento e alimentação	0,66
38	Serviços de manutenção e reparação	0,65
39	Artefatos de couro e calçados	0,65
40	Administração pública e seguridade social	0,65
41	Soja	0,61
42	Produtos farmacêuticos	0,61
43	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,60
44	Cimento	0,60
45	Móveis e produtos das indústrias diversas	0,60
46	Perfumaria, higiene e limpeza	0,60
47	Caminhões e ônibus	0,57

48	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	0,56
49	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,56
50	Automóveis, camionetas e utilitários	0,55
51	Educação mercantil	0,55
52	Artigos do vestuário e acessórios	0,55
53	Saúde mercantil	0,54
54	Eletrrodomésticos	0,53
55	Produtos do fumo	0,53
56	Educação pública	0,52
57	Saúde pública	0,52

Anexo 4- Índice de poder de dispersão – matriz 57 setores- 2006

Ranking	Setor	Índice de poder de disp.
1	Automóveis, camionetas e utilitários	1,30
2	Caminhões e ônibus	1,29
3	Refino de petróleo e coque	1,23
4	Alimentos e Bebidas	1,22
5	Outros Produtos químicos	1,20
6	Defensivos agrícolas	1,20
7	Artefatos de couro e calçados	1,17
8	Fabricação de resina e elastômeros	1,16
9	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	1,15
10	Peças e acessórios para veículos automotores	1,14
11	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1,14
12	Outros equipamentos de transporte	1,13
13	Produtos do fumo	1,13
14	Eletrodomésticos	1,13
15	Fabricação de aço e derivados	1,11
16	Artigos de borracha e plástico	1,11
17	Produtos e preparados químicos diversos	1,11
18	Perfumaria, higiene e limpeza	1,10
19	Adubos e Fertilizantes	1,10
20	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	1,09
21	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	1,09
22	Metalurgia de metais não-ferrosos	1,07
23	Celulose e produtos de papel	1,07
24	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1,06
25	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	1,03
26	Produtos de madeira - exclusive móveis	1,02
27	Têxteis	1,02
28	Minério de ferro	1,01
29	Outros produtos de minerais não-metálicos	1,01
30	Móveis e produtos das indústrias diversas	1,01
31	Serviços de alojamento e alimentação	1,00
32	Outros da indústria extrativa	1,00
33	Artigos do vestuário e acessórios	0,99
34	Cimento	0,99
35	Pecuária e pesca	0,98
36	Álcool	0,98
37	Jornais, revistas, discos	0,95
38	Transporte, armazenagem e correio	0,93
39	Construção	0,92
40	Produtos farmacêuticos	0,91
41	Serviços prestados às famílias e associativas	0,90
42	Petróleo e gás natural	0,89
43	Saúde mercantil	0,88
44	Serviços de informação	0,87
45	Soja	0,86
46	Outros Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,86
47	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,85
48	Saúde pública	0,85

49	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	0,85
50	Educação mercantil	0,83
51	Serviços prestados às empresas	0,81
52	Administração pública e seguridade social	0,79
53	Intermediação financeira e seguros	0,78
54	Comércio	0,74
55	Serviços de manutenção e reparação	0,73
56	Educação pública	0,70
57	Serviços imobiliários e aluguel	0,57