

PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES E DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DO BRASIL EM RELAÇÃO AOS MAIORES PAÍSES PRODUTORES AGROPECUÁRIOS

Alessandra de Araújo Benevides (UFC - Campus de Sobral)
Franciele de Araújo Silva (UFC - Campus de Sobral)
Fernando Daniel de Oliveira Mayorga (UFC - Campus de Sobral)
Kilvia Helane Cardoso Mesquita (UFC - Campus de Sobral)

RESUMO:

Neste estudo é feita uma análise da Produtividade Total dos Fatores (PTF) na agropecuária dos maiores produtores agropecuários no período de 1990 a 2003. Os coeficientes da PTF foram mensurados a partir dos insumos capital, terra e trabalho na função de produção Cobb-Douglas, utilizando o modelo de efeitos aleatórios. Verifica-se que todos os países apresentaram comportamento oscilante na produtividade, ou seja, apresentaram crescimento e decréscimo em termos de eficiência dos fatores produtivos agrícolas tradicionais. A maior PTF foi obtida pela China, enquanto o México obteve o menor nível de produtividade. Além disso, foi observado que a PTF foi a responsável pela maior parte do crescimento do produto agrícola brasileiro nos anos de 1980 a 2014. A pesquisa tem um papel fundamental no crescimento da produtividade dos fatores e da produção agropecuária, sendo indispensável para tornar o agronegócio brasileiro competitivo.

Palavras-chave: Produtividade Total dos Fatores; países agropecuários; modelo de efeitos aleatórios.

JEL: Q13, Q16

ABSTRACT:

In this study, an analysis of the Total Productivity of Factors (TPF) in agriculture of the largest agricultural producers in the period of 1990 to 2003 is made. The coefficients of the PTF were measured from the inputs capital, land and work in the Cobb-Douglas production function, using the random effects model. It is noted that all countries have presented oscillating behavior in productivity, i.e. they have presented growth and growth in terms of efficiency of traditional agricultural productive factors. The largest PTF was obtained by China, while Mexico gained the lowest level of productivity. Furthermore, it was noted that PTF was responsible for the bulk of the Brazilian agricultural product growth in the years 1980 to 2014. And research has a crucial role in the growth of factors productivity and livestock farming, and is indispensable to make Brazilian agribusiness competitive.

Key words: Total Productivity of Factors; Agricultural countries; Random effects model.

JEL: Q13, Q16

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio (agrobusiness) é um sistema constituído de cadeias produtivas compostas de fornecedores de insumos e serviços, produção agropecuária, indústria de processamento e transformação, agentes de distribuição e comercialização, tendo como objetivo comum suprir o consumidor de produtos de origem agropecuária e florestal (EMBRAPA, 2005).

A análise deste setor econômico tem sido foco de muitos pesquisadores, como Abbade (2014), Scolari (2006), Vicente (2004) e Elias (2011), entre outros, interessados em fazer estudos sobre desempenho e relevância do agronegócio para a economia do país.

O agronegócio pode ser considerado um dos setores mais importantes na economia brasileira, e tem apresentado um crescimento bastante considerável, tanto impulsionado pela globalização dos mercados quanto pelo aumento de sua produtividade e competitividade.

Como estudos têm demonstrado, o Brasil apresenta uma série de fatores favoráveis ao desenvolvimento da agropecuária, destacando-se a oferta ambiental favorável, a grande disponibilidade de terras, a tecnologia disponível, recursos humanos qualificados em vários elos da cadeia, competitividade na produção dentro da porteira da fazenda (a produção agrícola e pecuária) e grande potencial de produção de bioenergia (SCOLARI, 2006).

O país é um dos líderes mundiais do agronegócio, exportando para mais de 180 nações, segundo dados divulgados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), em 2008. No Brasil, o agronegócio é responsável por aproximadamente 20% do Produto Interno Bruto (PIB), em 2016, e considerando o período de janeiro a setembro do ano 2017, o país obteve um crescimento de 5,7% no volume exportado, quando comparado ao mesmo período de 2016, atingindo um valor de US\$ 74 bilhões (CEPEA).

Como visto, o agronegócio tem relevante participação no PIB total, apesar da queda que apresentou desde 2004. Além de gerar riqueza e crescimento da economia, o bom desempenho do agronegócio brasileiro tem permitido mais acesso à alimentação (devido à redução nos preços¹, além de diversidade de produtos disponíveis no mercado) e produção de energia renováveis².

De acordo com estudo da Federação das Indústrias de São Paulo (FIESP, 2016), o agronegócio brasileiro no período de 2016 a 2026 apresentará desempenho melhor que a média mundial para produtos como soja, milho, açúcar e carnes (bovina, suína frango), o que irá aumentar sua participação no mercado internacional.

O Brasil está entre os dez maiores países produtores agropecuários do mundo, segundo dados de *Statistic Division of Food and Agriculture Organization of United National* (FAOSTAT), para 2012³. Para figurar entre os grandes, ocupando a 3ª posição, o País deve isso ao sucesso que o seu agronegócio obteve nas últimas décadas.

Entre outros fatores, esse sucesso pode ser explicado pelos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e pelo financiamento recebido pelo setor. Em relação ao primeiro, o emprego de inovações e técnicas modernas no campo tem aumentado a produtividade – o que explica quase que exclusivamente o crescimento da produção agropecuária. Sobre o último, a atividade do agronegócio tem sido impulsionada com o financiamento de insumos recebido das agroindústrias e de instituições que oferecem crédito de custeio.

¹Segundo Scolari (2006), no período 1975 – 2000, a queda no preço de uma cesta básica de produtos agropecuários foi de 5,25% ao ano.

²A Embrapa decompõe a agroenergia em 4 grupos: o etanol e provenientes da cana de açúcar; biodiesel de fontes animal e vegetal; biomassa florestal; resíduos e dejetos agropecuários e agroindustriais.

³FAOSTAT, a seleção dos países foi obtida a partir da comparação das listas de commodities de maior produção e dos países de maior produção. Sendo eles: China, Estados Unidos, Brasil, Índia, Rússia, França, México, Japão, Alemanha e Turquia.

Segundo Scolari (2006), a agropecuária é um dos setores na economia brasileira onde ocorre expressiva inovação tecnológica, permitindo maior aproveitamento e melhor uso da terra, produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade. Destarte, o uso de mecanização no campo e capacitação de agricultores tem elevado significativamente a produtividade da mão de obra rural. Sobre a inovação, Cavalcante e Negri (2015) mostraram que há uma relação positiva entre essa variável e a produtividade.

O crescimento do setor tem sido impulsionado também pelo aumento da produtividade da terra e do capital. No entanto, este fato pode ser consequência do incremento do uso destes fatores, do aumento da produtividade ou de ambos. Assim, vem sendo utilizada a abordagem fundamentada na Produtividade Total dos Fatores (PTF) para se analisar o desempenho e o crescimento agrícola. O estudo da PTF agrícola tem sido recorrente em muitos trabalhos, como o de Gasques *et al.* (2008) e Vicente (2004); e o seu uso tem substituído abordagens menos adequadas, baseadas, por exemplo, em produtividades parciais de trabalho ou terra.

A PTF é uma medida de eficiência agregada da economia, incluindo a tecnologia e a eficiência técnica da alocação dos fatores de produção (VELOSO, FERREIRA e PESSOA, 2013). Esta medida permite identificar a parte da mudança do produto que pode ser atribuída aos ganhos de eficiência e a parte que pode ser atribuída à acumulação de fatores de produção (terra, trabalho e capital). Ela também pode ser interpretada como o aumento da quantidade de produto que não é explicada pelo aumento da quantidade de insumos, mas pelos ganhos de produtividade destes (JORGENSEN, 1996 e CHRISTENSEN, 1970).

A análise da PTF agrícola tem mostrado que ela é uma variável muito relevante para explicar o desempenho da agropecuária. Assim, muitos estudos têm focado neste assunto. Por exemplo, no trabalho de Gasques *et al.* (2008) foram obtidas estimativas sobre o papel da pesquisa e da extensão sobre a produtividade total na agricultura brasileira. Os resultados mostraram que o papel delas é muito mais importante do que o do crédito. Ademais, a organização e a gestão do agronegócio são medidas que podem afetar a PTF.

Com isso, esse trabalho pretende contribuir com os estudos existentes acerca do desempenho dos fatores de produção sobre a atividade agrícola. A condução da análise é feita com uso de modelos econométricos adequados à avaliação da produtividade dos fatores agrícolas, de onde se extrairá dados sobre o comportamento da PTF no Brasil e nos demais países agroexportadores. Verificando-se como os fatores produtivos têm sido empregados nesses países e, como a atividade do agronegócio tem refletido sobre a economia brasileira.

Na segunda seção deste trabalho são apresentados alguns aspectos teóricos referentes ao tema, trazendo uma seleção de trabalhos que apresentam resultados sobre a PTF e outros sobre o papel da inovação no crescimento econômico, tratando-se de uma revisão de literatura. Na terceira seção são detalhados os procedimentos metodológicos adotados. Na quarta seção são apresentados os resultados dessa investigação. E as considerações finais são apresentadas na última seção.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a agropecuária é uma das principais atividades econômicas e, portanto, um estudo sobre a produtividade deste setor é uma forma de entender a economia do país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As diferenças de crescimento e desenvolvimento entre os países fazem com que surjam campos de pesquisa específicos para tratar desse assunto. Encontrar fatores que explicam essas diferenças pode proporcionar o entendimento de quais variáveis afetam o ritmo de crescimento, as desigualdades de renda e a pobreza, por exemplo. Entre as estatísticas importantes a respeito de crescimento econômico está a produtividade – o comportamento dessa variável está intimamente relacionado com os valores do PIB (BISPO, 2016).

A produtividade é um indicador econômico que relaciona valores de produção com a quantidade de fatores empregados. A produtividade parcial dos fatores pode ser entendida como uma medida de produtividade de um único fator, refletindo as unidades de um bem produzido por unidades de um insumo específico, e a produtividade total (ou PTF) é uma medida que agrega todos os fatores envolvidos na produção de um bem.

2.1. Produtividade Total dos Fatores

A Produtividade Total dos Fatores é um tema não tão recente e tem sido abordado em muitas pesquisas, tanto para comparações de desempenho das atividades produtivas entre países, quanto para análises sobre os setores internos de uma economia.

Mussolini e Teles (2010) afirmam que, com o surgimento das novas teorias do crescimento econômico, nas décadas de 1980 e 1990, passou-se a buscar uma explicação mais elaborada para os determinantes da produtividade, por meio de modelos de crescimento endógeno (BARRETO, 2014).

Ball *et al.* (2001) usam o índice de Fisher para analisar e fazer comparações de produtividade entre os estados nos Estados Unidos, sendo que, por meio desse índice, eles mensuram o produto e insumos para, em seguida, compor o índice da PTF. Eles concluem que os estados que possuíam, inicialmente, níveis de produtividade baixos foram os que apresentaram maior crescimento da PTF.

No trabalho de Waters e Tretheway (1999), o conceito de PTF é aplicado sobre análises financeiras. Com o uso de um índice, construído com base nos custos e receitas, eles verificaram que o crescimento da produtividade nem sempre se deve a um bom desempenho financeiro alcançado por uma empresa ou por qualquer outra atividade.

Ferreira, Ellery Jr. e Gomes (2008) testaram como diferentes formas de medir a produtividade total dos fatores afetam o comportamento dessa variável no Brasil entre 1970 e 2000. A conclusão é que variações no cálculo da produtividade não mudam os resultados principais de queda da produtividade na década de 1980, e uma modesta recuperação na década de 1990. Porém, os mesmos autores apontam que questões relacionadas a variações de preços relativos podem impactar significativamente o cálculo da PTF (ELLERY JR, 2014).

Em Braga e Rossi (1988), a evolução da produtividade da indústria brasileira é avaliada por meio da decomposição da taxa de crescimento da PTF (com uso de uma função de custo) - sendo decomposta em progresso técnico, utilização da capacidade e economia de escala. São feitas estimativas para a indústria de transformação e para os 21 gêneros que a compõem. Os resultados obtidos mostram que a produtividade da indústria apresenta decréscimo ao longo do período analisado (1970 – 1983) e, para os gêneros, apenas 11 obtiveram taxas positivas de crescimento (variando de 0,48 em couros e peles a 2,67 em metalurgia), o que indica um desempenho visivelmente insatisfatório. Além disso, verificaram ausência de progresso tecnológico e que a capacidade de utilização e os rendimentos de escala influenciam positivamente a evolução da taxa de crescimento da PTF.

2.1.1. A Produtividade Total dos Fatores no setor agrícola

Alguns estudos têm sido feitos por organizações internacionais, como o da OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*, 2011). O relatório da OECD aborda a evolução da produtividade e da competitividade nos setores agropecuário e de produção alimentar, com foco no papel da pesquisa sobre eles.

Coelli e Rao (2005) estudam o crescimento da PTF agrícola em 93 países, utilizando o índice de Malmquist. As medidas de produtividade são baseadas na técnica matemática denominada Análise Envoltória de Dados (DEA). Os resultados, apresentados para os anos de

1980 a 2000, mostram que a PTF obteve um crescimento anual de 2,1%, com mudanças de eficiência e mudanças técnicas. A China surge com o melhor desempenho, com um crescimento anual médio de 6,0% na PTF. Outros países com forte crescimento são Argélia, Nigéria e Camboja. Em termos de desempenho regional, a Ásia apresenta o melhor crescimento, enquanto a África obteve o mais baixo crescimento. Ainda constatam que os países que estavam abaixo da fronteira em 1980 (com coeficientes de eficiência técnica de 0,6 ou abaixo) obtiveram uma taxa de crescimento da PTF de 3,6%, indicando que, tanto os países de alto crescimento quanto os de baixo desempenho, conseguiram um bom grau de recuperação nos níveis de produtividade.

Mendes *et al.* (2009) verificaram os efeitos que os investimentos em infraestrutura - rodovia, energia elétrica, armazenagem e pesquisa (P&D) na agropecuária - têm sobre a produtividade da agricultura brasileira, analisando o período de 1985 a 2004. Eles concluem que os investimentos em rodovia têm efeito positivo maior sobre a PTF e, no geral, há retornos elevados para investimentos em infraestrutura - o que gera aumentos na PTF e na competitividade do setor.

O estudo de Bonelli e Fonseca (1998) inclui na análise os efeitos da abertura comercial sobre a evolução da PTF e utilizam o método da contabilidade do crescimento para o cálculo da PTF. Eles atribuem à abertura comercial um papel importante para o aumento da eficiência, tanto do conjunto da economia quanto dos setores industrial e agrícola.

Farid Pereira *et al.* (2002) utilizam o índice de Malmquist para avaliar o crescimento da PTF do setor agropecuário brasileiro e verificar se ocorre progresso tecnológico entre 1970 a 1996. Com base nesse índice e na técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA), eles obtêm resultados para o Brasil como um todo, para as regiões e estados brasileiros. Os autores observam que a produtividade apresentou crescimento positivo apenas nas regiões Sul e Sudeste, mas tal comportamento já era esperado, pois o desenvolvimento alcançado pelo setor agrícola não se espalhou por todas as regiões do país. Os estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Distrito Federal obtiveram ganhos no progresso tecnológico.

Ainda sobre a produtividade agrícola brasileira, vários estudos têm sido publicados, principalmente, por Gasques. Para os anos mais recentes, ele e outros pesquisadores vêm atualizando uma série referente ao tema e exposta em trabalhos anteriores⁴. No trabalho de 1997, mensuram o índice da produtividade total da agricultura, além dos índices de produtividade da terra e do trabalho, e concluem que houve crescimento da produtividade na agricultura brasileira nos anos considerados – 1976 a 1994. No geral, a metodologia utilizada nesses estudos é a mesma, sendo a produtividade calculada a partir do índice de Tornqvist.

Segundo Bonelli e Fonseca (1998), a Produtividade Total dos Fatores pode ser mensurada a partir do Valor Agregado ou Adicionado (VA), do Valor Bruto da Produção (VBP) ou de outra medida representativa da produção. Geralmente, são considerados, quando se usa o VA, dois fatores primários de produção (trabalho e capital) e, no que se refere ao setor agrícola, é comum que se inclua entre os fatores de produção alguma medida que reflita a incorporação do progresso técnico (como gastos com pesquisa) e o uso de insumos modernos (fertilizantes e defensivos agrícolas, por exemplo). Estes fatores, mesmo quando não considerados, aparecem nos resultados como o resíduo da estimação (PTF).

A mensuração da PTF pode ser utilizada para a análise de vários setores econômicos, como o industrial e o agrícola, por exemplo. O enfoque do trabalho é sobre a PTF desse último e, vamos considerar no seu cômputo a reunião de todos os produtos das lavouras e da pecuária relacionando-os com alguns dos insumos usados na produção.

2.2. O Processo de Inovação Tecnológica

⁴Para mais detalhes ver *Produtividade na agricultura brasileira* (2008) de Gasques, Teles Bastos e Bacchi, e *Crescimento e produtividade da agricultura brasileira* (1998) de Gasques e Conceição.

Segundo o Manual de Oslo, elaborado pela OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*), uma inovação tecnológica é toda novidade implantada pelo setor produtivo, por meio de pesquisa ou de investimentos, aumentando a eficiência do processo produtivo ou implicando um novo ou aprimorado produto.

Paul Romer (1990) formalizou a relação entre a chamada economia das ideias e crescimento econômico. Este definiu que há duas características associadas às ideias: de serem não rivais e, parcialmente, excludentes. De acordo com Jones (2000), isso ajuda a explicar o fato de a economia das ideias estar ligada à presença de retornos crescentes de escala e competição imperfeita.

O modelo desenvolvido por Romer (1990) se propunha a explicar como os países com nível tecnológico avançado conseguiam apresentar crescimento econômico sustentado. Ele analisou todos os países desenvolvidos em conjunto, considerando-os como um só. Como resultado, Romer observa que foram os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) que permitiram a esses países alcançarem progresso tecnológico e crescimento econômico.

Schumpeter, um dos principais estudiosos sobre o desenvolvimento tecnológico, adotou o argumento de que, em uma economia agregada, a acumulação de tecnologia e o aumento de produtividade estão interligados. No livro, *A Teoria do Desenvolvimento Econômico* (publicado em 1911), o autor mostra que o desenvolvimento da inovação possibilita ou é causa do crescimento econômico - este crescimento é alavancado pela geração de novos conhecimentos, pois estes sustentarão o desenvolvimento inovador efetivo. Ao longo do livro, o autor defende que não há possibilidade de desenvolvimento dentro de limites de um fluxo circular estacionário, ou seja, devem ocorrer os fenômenos chamados de “novas combinações” (termo definido depois como “inovação”). Assim, o desenvolvimento baseado na interrupção do equilíbrio pelas novas combinações de recursos, com o estabelecimento de novas relações de produção (capazes de alterar o equilíbrio anterior) reflete o real desenvolvimento econômico. Schumpeter também estuda a formação do grupo de empresários inovadores, atribuindo a eles o papel de romper com as estruturas antigas e de realização das novas combinações.

Vários trabalhos foram desenvolvidos, a partir de 1980, baseados na lógica schumpeteriana, em que a inovação assume o papel de fator principal a explicar as diferenças de desempenho econômico alcançado pelas nações (assim como as diferenças no comércio e nível de especialização). E muitos pesquisadores abraçaram a ideia de que a inovação e a difusão tecnológica têm um forte caráter sistêmico, ou seja, afetam as atividades produtivas.

De acordo com Dahlman *et al.* (1987), a capacidade de inovação é essencial para a criação de tecnologias, com o desenvolvimento de novos produtos ou serviços que atendem melhor às demandas de mercado.

Lundvall (1992) cunhou o termo “sistemas nacionais de inovação”⁵ para representar as redes de instituições, nos setores público e privado, cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias. Em sua abordagem mais microeconômica, Lundvall argumentou, em concordância com Schumpeter, que a inovação deveria ser considerada como uma nova combinação de conhecimentos provenientes de diferentes fontes. Porém, discordando de Schumpeter, Lundvall não via importância apenas nas grandes inovações, mas entendia que o efeito acumulado de pequenas inovações em atividades rotineiras poderia, também, ter efeitos importantes na economia (MOLINA, 2016).

⁵ Um Sistema Nacional de Inovação (SNI) é um grupo articulado de instituições dos setores público e privado (agências de fomento e financiamento, instituições financeiras, empresas públicas e privadas, instituições de ensino e pesquisa, etc.), tendo a inovação e o aprendizado como aspectos principais da interação entre esses agentes. O SNI diferencia-se em termos de padrões de especialização e em termos de estrutura institucional, sendo reflexo de vários fatores, como o político, social, econômico e histórico (Instituto IBMEC, 2016).

O conceito de inovação não se refere apenas aos novos processos tecnológicos e melhores produtos, mas inclui o aperfeiçoamento em áreas de logística, distribuição e marketing. E, nesse sentido, também pode envolver mudanças que são novas ao contexto local, embora sua contribuição para a fronteira de conhecimento global não seja significativa (FAGERBERG *et al.*, 2004).

A agropecuária é um setor que incorpora, continuamente, inovações tecnológicas. Essas inovações têm proporcionado a modernização do setor, além de redução dos custos de produção e ganhos de produtividade – eficiência e desenvolvimento do agronegócio. A mudança tecnológica na agricultura depende da sua própria trajetória e da acumulação do conhecimento – a capacidade de absorção de conhecimento reduz os custos produtivos.

Os estudos sobre a inovação tecnológica na agricultura, especialmente os realizados no Brasil desde a década de 1960, vêm refletindo as profundas mudanças ocorridas no setor: da estagnação aos elevados ganhos de produtividade. Tratando-se especificamente da questão tecnológica, há uma interessante literatura que reflete a realidade da transformação agrícola dos anos 60 e 70 (VIEIRA FILHO e SILVEIRA, 2012).

As pesquisas, no caso brasileiro, procuravam explicar as dificuldades de se aplicar e interpretar essa transformação, pois o crescimento da produção era visto como decorrente da tecnologia cristalizada nos insumos, e estes eram importados, em grande parte. Com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1973, o problema se desloca para a adequação da política tecnológica à dotação de fatores do País, assumindo importância o modelo da inovação induzida⁶ (VIEIRA FILHO e SILVEIRA, 2012). Com a Embrapa, os pesquisadores conseguem dinamizar as atividades de pesquisa relacionadas ao setor rural brasileiro.

A partir de 1960, com a chamada Revolução Verde⁷, se inicia o processo de modernização da agricultura brasileira. Com a expansão da agricultura “moderna”, ocorre a constituição do complexo agroindustrial, modernizando a base dos meios de produção, alterando as formas de produção, além de gerar externalidades – como efeitos sobre o meio ambiente (negativa) e transbordamento de tecnologia para outras atividades econômicas (positiva).

A tecnologia incorporada na Revolução Verde é uma expressão notável da dinâmica de redução da importância da terra como elemento material da produção rural (GOODMAN, SORJ e WILKINSON, 2000). Esse desdobramento reflete a combinação de mudanças organizacionais, uso intenso de capital, inovações tecnológicas e em genética.

Entre as inovações incorporadas ao setor agropecuário estão a biotecnologia e a tecnologia de informação. Como mencionado por Goodman (2008) esses novos conhecimentos têm criado um moderno processo produtivo na agricultura. Por exemplo, a biotecnologia agrícola promete dar um ímpeto renovado ao crescimento da produtividade das safras agrícolas.

Vieira Filho, Campos e Ferreira (2005) apresentaram um modelo⁸ de crescimento que analisou a economia agrícola sob o enfoque da teoria evolucionária de Schumpeter. A partir dos

⁶ A teoria da mudança técnica induzida representa uma tentativa de esclarecer o impacto que tem a disponibilidade de recursos sobre a intensidade e a direção da mudança técnica. Assim, essa teoria surge como resposta dos agentes econômicos orientados em substituir recursos mais escassos ou custosos por outros abundantes ou baratos; ou na substituição de recursos por conhecimentos (RUTTAN, 1985).

⁷A ideia da “Revolução Verde” fundamenta-se, basicamente, em princípios de aumento da produtividade através do uso intensivo de insumos químicos, de variedades de alto rendimento melhoradas geneticamente, da irrigação e da mecanização (BALSAN, 2006).

⁸Para construção do modelo de crescimento, definiu-se o capital como sendo uma composição de proporções fixas de fatores produtivos em uma situação dinâmica limitada. O modelo foi um instrumental do tipo geminado, o qual conciliou dois tipos de capital (estoque e fluxo) em uma mesma função de produção. O capital estoque era representativo das benfeitorias, das máquinas e dos equipamentos, enquanto o capital fluxo representava os defensivos, os fertilizantes e as sementes. (VIEIRA FILHO e SILVEIRA, 2012).

resultados, identificaram a região dinâmica agroindustrial e os padrões de mudança tecnológica na agricultura.

O modelo de Hayami e Ruttan (1988) mostrou que a inovação técnica visa economizar recursos escassos e identificar os recursos abundantes. De acordo com os mesmos, a oferta de terra é inelástica, então os aumentos de produção são dependentes do desenvolvimento tecnológico. Por exemplo, as variedades que possuem alto rendimento respondem ao uso de fertilizantes, dado o fator escasso (terra) e, em uma economia que apresenta escassez relativa de trabalho, a maneira de promover o aumento da produção se dá pelo melhoramento de máquinas, equipamentos e implementos agrícolas (VIEIRA FILHO e SILVEIRA, 2012). Na visão de Shikida e Lopez (1997), esse modelo é o que mais tem contribuído para o avanço da abordagem da tecnologia no processo de desenvolvimento das atividades agrícolas.

Além de inovação, o setor rural também tem passado por um longo processo de modernização – com a importação e uso intensivo de máquinas e equipamentos sofisticados. Como exposto por Balsan (2006), com essa difusão da modernização ocorre um processo de especialização da agricultura em escala nacional – desenvolvendo-se a produção de culturas que, embora presentes em economias familiares englobem características de uma produção comercial. Isso tem efeito sobre o crescimento de monoculturas que são quase totalmente voltadas para a agroindústria.

Ademais, o comércio internacional também tem estimulado o processo inovativo no setor agrícola e pecuário. Gonçalves Neto (1997) comenta que o mercado externo é capaz de promover a agricultura a níveis mais elevados de produção e modernização, uma vez que a extensão do mercado e os preços, reduzindo os riscos dessa atividade, estimulam o uso de fatores mais modernos, ou seja, que incorporam inovação.

3. MÉTODO DE ANÁLISE

3.1. Modelo Analítico

A preocupação na literatura econômica com a mensuração da PTF é apontada, seminalmente, no trabalho de Solow (1957), cujo modelo teórico apresenta como elementos explicativos do crescimento econômico no longo prazo, não apenas os estoques de fatores - capital (K) e trabalho (L), como também a evolução da produtividade deles.

Dependendo da disponibilidade de dados, o cômputo da PTF pode ser feito por meio de diferentes metodologias. As mais utilizadas são: Método da função de produção, Método das razões de produtividade (que podem ser multiplicativas ou aditivas) e Método da contabilidade de crescimento. Para uso do primeiro método, obviamente, tem-se que escolher uma forma funcional para a estimação. Essa forma funcional mostra o nível de produto que pode ser alcançado para cada combinação de insumos e sua escolha depende de alguns fatores, como a característica dos retornos (crescentes, decrescentes ou constantes de escala).

Neste trabalho, optou-se pelo primeiro método. Assim, o ponto inicial para se estimar a PTF é uma função de produção que representa como os insumos são combinados para gerar o produto. Dentre as formas funcionais⁹, as mais utilizadas são a Cobb-Douglas (forma neoclássica) e a Translog (forma flexível). Daí, sua mensuração pode ser feita pela metodologia de Fronteira Estocástica de Produção (em que o cálculo da PTF é realizado a partir da definição e construção da fronteira de possibilidade de produção da economia) ou por meio de uma metodologia econométrica (o cálculo da PTF é realizado a partir de séries

⁹A principal diferença entre as funções de produção Cobb-Douglas e Translog é que a primeira trabalha com retornos de escala restritos aos mesmos valores para todas as unidades da amostra e elasticidade de substituição unitária. A Translog relaxa estas suposições dando maior flexibilidade ao modelo. A ideia por trás desse pressuposto é que, devido à maior flexibilidade, os escores de eficiência sejam mais elevados que os da Cobb-Douglas (BARROS, COSTA e SAMPAIO, 2004).

históricas que informam a evolução das variáveis apresentadas numa equação principal). Ainda há outras metodologias como a de Matrizes de Insumo-Produto (na qual o cálculo da PTF é realizado a partir dos dados das matrizes de insumo-produto da economia (CASS e RYMES, 1991)) e por meio da mensuração por número-índices, como o de Tornqvist¹⁰.

A análise da PTF, aqui, será feita por meio de uma metodologia econométrica e com a função de produção Cobb-Douglas – com retornos de escala (em que a variação no produto pode ser proporcional, crescente ou decrescente a variações na quantidade utilizada de todos os insumos) e progresso técnico neutro (ou Hicks-neutral, em que mudanças na função de produção se mantêm constante devido a invariância da taxa de substituição técnica).

A partir do trabalho de Solow, admite-se a seguinte função:

$$Y = A f(K_t, L_t) \quad (1)$$

Onde Y é o volume de produção; L é o estoque de trabalho; K, o estoque de capital físico e A é o parâmetro tecnológico ou tecnologia Hicks-neutra representando a PTF.

Outra função, representando a acumulação de capital, é descrita como:

$$\dot{K} = sY - dK \quad (2)$$

Em que, \dot{K} é a variação do estoque de capital no tempo; sY , o investimento bruto e dK é a depreciação do capital. Reescrevendo-a em termos per capita:

$$\dot{k} = sy - (d + n + g)k \quad (3)$$

Representando a variação do estoque de capital em função do investimento por trabalhador (sy), da depreciação por trabalhador (dK), da taxa de crescimento populacional (n) e taxa de progresso tecnológico (g).

Tomando a primeira equação, diferenciando-a em relação ao tempo e dividindo por Y, tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Y}}{Y} &= \frac{\dot{A}}{A} \cdot \frac{f(K,L)}{Y} + A \frac{\partial f}{\partial K} \cdot \frac{\dot{K}}{Y} + A \frac{\partial f}{\partial L} \cdot \frac{\dot{L}}{Y} \\ \frac{\dot{Y}}{Y} &= \frac{\dot{A}}{A} + \alpha \frac{\dot{K}}{K} + (1-\alpha) \frac{\dot{L}}{L} \end{aligned} \quad (4)$$

Onde, $\alpha = \frac{\partial Y}{\partial K} \cdot \frac{K}{Y}$ e $(1-\alpha) = \frac{\partial Y}{\partial L} \cdot \frac{L}{Y}$, representando as participações do capital e do trabalho no produto. O termo $\frac{\dot{A}}{A}$ representa o crescimento da *produtividade total dos fatores*.

Esta equação diz que o crescimento do produto é igual a uma média ponderada das taxas de crescimento do capital e do trabalho mais a taxa de crescimento de A.

3.2. Modelo Econométrico

3.2.1. Descrição dos dados

Para esse estudo, os dados a serem usados foram extraídos do *Statistic Division of Food and Agriculture Organization of United National* (FAOSTAT, 2016) e World Development Indicators (WDI), fornecido pelo World Bank, compreendendo os anos de 1990a 2003. Inicialmente, a

¹⁰Para mais detalhes, ver trabalhos de Gasques *et al.* (1997) e (2000).

intenção era estudar o período de 1961 - 2013, porém a análise foi restringida a um período menor devido à indisponibilidade de dados da força de trabalho e de máquinas agrícolas para todos esses anos. A amostra é composta por um painel de dados anuais, referente aos maiores países produtores agropecuários, sendo eles: Alemanha, Brasil, China, Estados Unidos, França, Índia, Japão, México, Rússia e Turquia.

Considerando os 10 países agropecuários como unidades de corte transversal e o período de tempo de 1990 a 2003, a pesquisa utiliza dados dispostos em painel para estimar a PTF desses países. A PTF será verificada por meio do resíduo do modelo, ou seja, a parcela do incremento da produção que não é explicada pelo capital e trabalho.

A variável de valor bruto da produção é obtida através da soma, por período, de todas as culturas produzidas - os dados estão em dólares americanos constantes em 2004-2006. Essa variável é considerada como uma medida da produtividade agrícola. A produção inclui diversos produtos agrícolas (vegetais, frutas, legumes e plantas para indústria têxtil), pecuários e seus agregados. Estes dados são disponibilizados no site do FAOSTAT. As terras agrícolas referem-se à parcela de terra que é cultivável, sob culturas permanentes e sob pastagens permanentes.

Com relação ao emprego na agricultura, esses dados fazem parte do módulo de indicadores de emprego FAOSTAT. Esses indicadores são construídos com informações de uma série de estimativas disponibilizadas, principalmente, pela Organização Internacional do Trabalho (OIT). A variável refere-se ao número absoluto (sem distinção por sexo ou idade) de pessoas trabalhando no setor agrícola. Para a Índia, os dados de emprego foram obtidos do site NationMaster¹¹ - que disponibiliza dados de emprego agrícola e outras estatísticas internacionais.

Sobre as máquinas agrícolas¹², a base de dados utilizada inclui apenas as estimativas do número de máquinas em uso. Os itens correspondentes a esse imput foram: tratores, colheitadeiras, máquinas de ordenha, debulhadoras, ferramentas manuais e máquinas para o solo.

3.2.2. O modelo

O modelo geral para dados em painel pode ser representado por:

$$Y_{it} = \beta_{0it} + \beta_{1it}x_{1it} + \dots + \beta_{nit}x_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Nessa notação, refere-se β_0 ao parâmetro de intercepto e β_n o coeficiente angular referente à n ésima variável explicativa do modelo; subscritos i e t denotam os diferentes países e período de tempo em análise, respectivamente.

Esse modelo, que combina dados em corte transversal e de série temporal, pode ser rodado considerando-se dois métodos: Efeitos Aleatórios ou Efeitos Fixos. No modelo de efeitos fixos, supõe-se que o intercepto varia entre os indivíduos, mas é constante ao longo do tempo. Ademais, os parâmetros das variáveis explicativas são constantes para cada indivíduo e em todo o período temporal. O modelo de efeitos aleatórios possui a mesma suposição do modelo de efeitos fixos, a diferença está no tratamento dado ao intercepto.

No modelo de efeitos fixos, os interceptos são tratados como parâmetros fixos (e desconhecido, que capta as diferenças de comportamento entre os indivíduos que estão na amostra), já o modelo de efeitos aleatórios trata-os como variáveis aleatórias, ou seja, considera que os indivíduos são uma amostra aleatória de uma população maior.

¹¹ "Countries Compared by Agriculture > Farm workers. International Statistics at NationMaster.com"

¹² Os dados para essa variável não estão disponíveis para todos os anos considerados (essencialmente para depois do ano 2000), pois o banco de dados da fonte (FAOSTAT) não está mais ativa - a versão mais recente desses dados tem como ano de referência 2009 (com dados coletados em 2011). Para a Alemanha, os dados para os anos 2001-2003 foram obtidos do site NationMaster. O número refere-se às máquinas em uso na agricultura no final do ano civil especificado ou no primeiro trimestre do ano seguinte.

O modelo geral de efeitos fixos pode ser descrito como:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_{nit} x_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

E para o modelo de efeitos aleatórios:

$$Y_{it} = \bar{\beta}_0 + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_n x_{kit} + \varepsilon_{it} + u_{it} \quad (7)$$

O intercepto nesse modelo corresponde ao intercepto populacional e $\varepsilon_{it} + u_{it}$ que representa o termo de erro¹³. Ainda, supõe-se que não há correlação entre os efeitos individuais e demais variáveis aleatórias, e sua estimação se dá por meio dos mínimos quadrados ordinários (MQO), corrigido para heterocedasticidade.

Considerados os modelos, cabe-se definir qual o mais adequado ou que se ajusta melhor aos dados. Conforme realização do Teste de Hausman¹⁴, o modelo de efeitos aleatórios se mostrou mais adequado a explicar os dados em análise. Logo, os parâmetros das variáveis serão estimados pelo modelo de efeitos aleatórios.

Para o cálculo da PTF agrícola, a função a ser estimada baseia-se na equação (4). Nesta foi incorporada duas outras variáveis, terra agrícola (T) e um termo de tendência ($e^{\theta t}$) para melhor explicar a variável dependente, assim:

$$Y_{it}^* = \beta_0 K_{it}^{\beta_K} L_{it}^{\beta_L} T_{it}^{\beta_T} e^{\theta t} \quad (8)$$

Onde Y^* é o produto potencial da agricultura; β_0 é o intercepto variável para cada país agropecuário. Adicionando-se a variável de capacidade utilizada (do produto agrícola), ou seja, $U_{it} = \frac{Y_{it}}{Y_{it}^*}$, e respectivo termo de erro (correspondente ao efeito aleatório), tem-se:

$$Y_{it} = \beta_0 L_{it}^{\beta_L} K_{it}^{\beta_K} T_{it}^{\beta_T} e^{\theta t} U_{it} e^{\varepsilon_{it} + u_{it}} \quad (9)$$

Supondo que o termo erro composto ($\varepsilon_{it} + u_{it}$)¹⁵ pode ser assumido como w_{it} ; Y_{it} é o produto agrícola observado. Logo, aplicando-se o logaritmo natural, temos:

$$\ln Y_{it} = \ln \beta_0 + \beta_L \ln L_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \beta_T \ln T_{it} + \theta t + w_{it} \quad (10)$$

A variável $\ln Y_{it}$ representa o valor bruto da produção (VBP); K_{it} refere-se ao capital físico; L_{it} a força de trabalho agrícola; T_{it} a terra agrícola; θt o termo de tendência. Podemos considerar o termo de erro (w_{it}) como o resíduo do modelo (ou PTF).

Após os procedimentos acima, parte-se para o cálculo definitivo da PTF, utilizando a equação abaixo:

$$w_{it} = \ln Y_{it} - \beta_0 - \beta_L \ln L_{it} - \beta_K \ln K_{it} - \beta_T \ln T_{it} - \theta t \quad (11)$$

¹³Esta definição foi mostrada no trabalho de Duarte *et al.* (2007), conforme suposições de Hill, Griffiths e Judge (1993) e (1999).

¹⁴ Na escolha do modelo a ser utilizado, foram testados, inicialmente, o *pooled* contra o modelo de efeitos fixos (teste de Chow) e o *pooled* contra o modelo de efeitos aleatórios (teste de Breusch-Pagan). Em seguida, o modelo de efeitos fixos contra o aleatório (dado que o *pooled* se mostrou inadequado para a análise destes dados). O método de efeitos aleatórios foi o mais apropriado.

¹⁵ O primeiro termo do erro composto refere-se ao erro de medida que explica as variações entre os indivíduos e o segundo refere-se à parte aleatória do erro. Esses componentes do erro são independentes entre si, possuindo média zero e variância constante.

Em que $w_{it} \equiv PTF$, então:

$$PTF = \ln VBP_{it} - \beta_0 - \beta_L \ln L_{it} - \beta_K \ln K_{it} - \beta_T \ln T_{it} - \theta t \quad (12)$$

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A base de dados, contendo as 140 observações, está descrita estatisticamente na tabela 1. A estimação do modelo é feita com a agregação de todos os produtos, usando como variável dependente o valor bruto da produção agrícola, em dólares (US\$), a preços constantes de 2004-2006. As variáveis explicativas foram: área agrícola, em km²; capital, que corresponde à quantidade de tratores em uso; mão-de-obra, correspondendo ao trabalho na agricultura, medido em homens/ano, respectivamente, conforme tabela abaixo.

Tabela 1. Estatística Descritiva

Variáveis	Unidade	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
Produção agropecuária	Mil US\$	93.733.988,9	97.745.342,5	25.591.783,0	487.150.140,9	1,043
Emprego na agricultura	mil pessoas	64.376	120.875	871,1	390.980	1,878
Máquinas agrícolas	unidade	2.707.171	5.911.406	258.451	49.117.800	2,184
Terras agrícolas	km ²	1.791.702	1.690.307	47.360	5.236.830	0,943

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa

O valor médio da produção agropecuária corresponde a US\$ 93.733.988.955, sendo o valor máximo pertencente à China, US\$ 487.150.140.971, em 2002, e o valor mínimo pertence ao México, com US\$ 25.591.783.007, em 1993.

Em relação às variáveis explicativas, China aparece com os melhores resultados - o que explica o fato de o país possuir a maior produção agrícola entre os países aqui analisados. Japão, México e Alemanha possuem os menores valores relacionados aos fatores terra, capital e emprego, respectivamente.

Podemos observar também que a variável máquinas agrícolas possui os maiores desvios relativos à média. Esses desvios, representados pelo coeficiente de variação, atingem 217%¹⁶ do valor da média.

4.1. Estimação da Função de Produção

Na tabela 2, são apresentados os resultados correspondentes à regressão do modelo apresentado na equação (10). A estimação é feita com uso do Modelo de Efeitos Aleatórios, conforme apontaram os testes.

Tabela 2. Estimativa da função Cobb-Douglas

lnVBP	Coefficiente	Std.Err	P> t
Máquinas	0,061435	0,0196078	0,002*

¹⁶A percentagem mostra o peso do desvio padrão sobre a distribuição (REISSWITZ, 2013).

Emprego	0,1749562	0,0870887	0,045**
Terras	0,1149147	0,0995988	0,249
Tendência	0,0155753	0,007128	0,029**
Constante	20,79779	1,052871	0,000*
sigma_u	0,38762084 (variância de efeito aleatório)		
sigma_ε	0,14892797 (variância de erro)		

Fonte: resultados da pesquisa. Notas: *Significativo a 1%; ** a 5%

O capital físico, representado pela variável máquinas obteve coeficiente positivo e foi estatisticamente significativo, mostrando que a disponibilidade e uso de máquinas nos países da amostra é um fator determinante no nível de produção agropecuária. O coeficiente da variável emprego também resultou positivo e significativo. Convém salientar que este efeito é mais expressivo (ou verificável) em países que não dispõem de tecnologias agrícolas modernas.

Já a variável terras resultou insignificante estatisticamente. Tal resultado contradiz a literatura existente de que o uso desse fator está relacionado positivamente com a produção agrícola¹⁷. A razão para este resultado pode estar associada ao fato de que, mesmo os países que podem utilizar mais hectares de terra na atividade agropecuária, se não dispuserem ou não conseguirem combinar com a utilização de outros fatores ou insumos, não conseguirão obter ganhos de produção, pois a variável apresenta produtividade decrescente. Outra explicação é a existência de valores discrepantes (*outliers*) dessa série. Por exemplo, países com grande extensão territorial usam áreas maiores de terra na atividade agrícola e um país pequeno (como o Japão) não consegue. Conforme Felema *et al.* (2013) “a incorporação de novas áreas por si só não representa o aumento de produtividade no campo”.

No momento da regressão do modelo foi adicionada uma variável de tendência temporal (t), pois essa consegue captar o comportamento de longo prazo da variável dependente. O coeficiente dessa variável apresenta sinal positivo, podendo indicar que, no período analisado, ocorreu uma tendência de crescimento da produção agropecuária.

A regressão revela ainda que a variação dentro dos países (*within*) é menor do que a variação entre eles (*between*), de 9% e 50%, respectivamente. Como os países são bem diferentes, refletindo essa heterogeneidade em termos de uso de fatores, supõe-se que seja a razão para explicar essas variações.

4.2. Produtividade Total dos Fatores

Com base na estimação do modelo, foi realizada a estimação da PTF agrícola para os 10 maiores países produtores agropecuários, representada no gráfico 1. Como os valores estão em logaritmo, tomou-se a exponencial para verificar o seu comportamento. Os desvios da PTF global são de 48,44%.

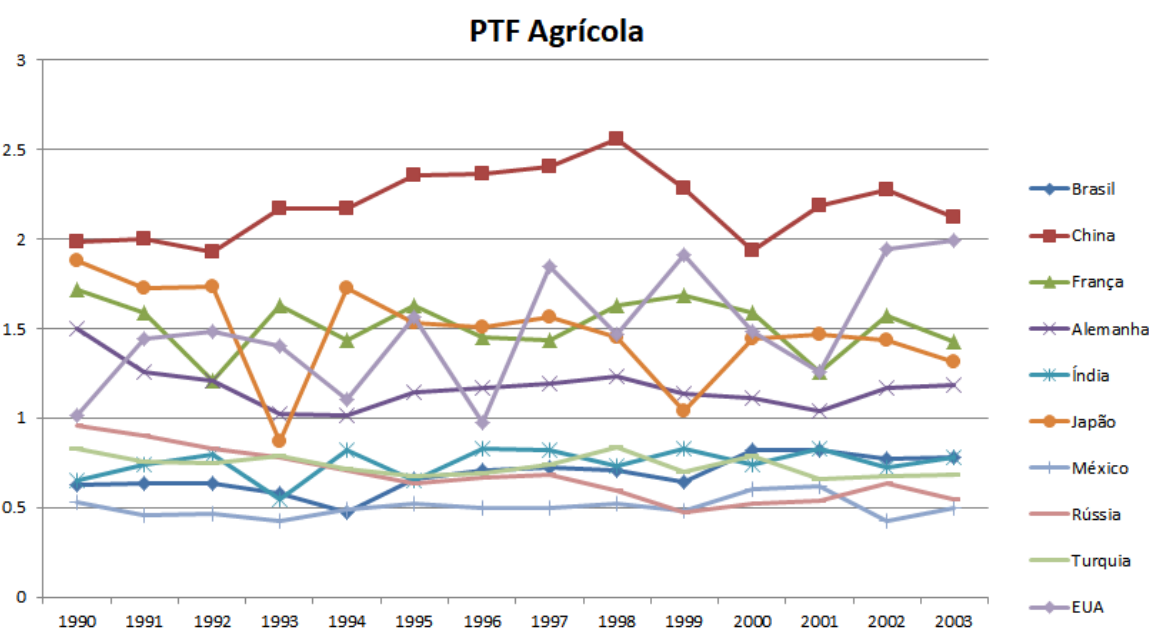
O crescimento da produtividade tem se verificado nos países de grande representatividade na produção agropecuária, como é o caso da China e Estados Unidos. Dentre as causas da maior produtividade destas regiões, podem se citar as reformas econômicas (no caso da China, como a extensão agrícola) e desenvolvimento de pesquisas e incorporação de inovações tecnológicas.

¹⁷Assim como o fator trabalho (mão-de-obra agrícola), a variável terra também está fortemente relacionada com a produção agrícola nos países que não possuem capital físico adequado ou modernos.

Por todo o período, a China apresenta a maior produtividade de fatores, o que indica que o país tem conseguido utilizar os fatores produtivos de forma eficiente¹⁸. A introdução de uma série de reformas (como a reforma agrária e a abertura econômica) após a Revolução Comunista e, principalmente, com a Revolução Verde, contribuiu para esse resultado – após as reformas, tanto a agricultura quanto a própria economia chinesa (como um todo) se desenvolveu e tem alcançado eficiência e alto desempenho.

Considerando a PTF média, França e Estados Unidos possuem a segunda e a terceira maior PTF agrícola, com 1,52 e 1,49, respectivamente. Esse resultado se deve, sobretudo, à modernização ocorrida no setor agrícola desses países¹⁹. De acordo com Júnior (2013), os Estados Unidos possuem o setor agropecuário mais desenvolvido do mundo, sendo que sua produtividade é resultado, em grande parte, do uso de tecnologia em suas propriedades rurais (e conseqüente mecanização do setor agrícola), utilizando máquinas, agrotóxicos, fertilizantes, irrigação e biotecnologia. A causa de sua PTF ser menor que a chinesa pode ser explicada pelo fato de que as atividades agropecuárias são amplamente subsidiadas pelo Estado, o que até permite proteger os produtores (no mercado externo), mas pode também os “deixar acomodados”. O País apresenta uma grande variação na produtividade dos fatores agrícolas ao longo de todo o período.

Gráfico 1. PTF Agrícola dos principais países agropecuários



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa

No Japão, a produtividade apresenta um comportamento decrescente ao longo do período, sendo seu melhor desempenho registrado no início dos anos 90, quando sua PTF é próxima à da China. Quanto à Alemanha, o país não apresenta muita variação em sua produtividade agrícola, tendo um comportamento quase constante em todo o período.

Como pode se observar no gráfico, Índia, Turquia, Brasil, Rússia e México foram os países que apresentaram os fatores agrícolas menos produtivos. Na Turquia, o que mais contribui para geração do produto agrícola é o uso do fator capital físico (permitindo melhorias na infraestrutura, com a irrigação e facilidades de cultivo). A Índia utiliza

¹⁸Para um melhor entendimento sobre essa questão seria necessário fazer uma análise dos componentes da PTF, a saber, eficiência alocativa, eficiência técnica, progresso tecnológico e mudança de escala.

¹⁹Os esforços em pesquisa agrícola desenvolvidos na França têm sido direcionados, sobretudo, pelo governo.

bastante o fator mão-de-obra no processo produtivo. Em relação à Rússia, foi apenas nas últimas décadas que o setor agropecuário se desenvolveu de forma intensa no país, sendo a produção agrícola dependente, essencialmente, do uso da terra - o país é um dos líderes na produção por acres de terra usada (LUCAS, 2016). O México tem a menor PTF agrícola, o que pode explicar a sua baixa produção agropecuária – que é a menor dos países aqui analisados. Segundo Alves *et al.* (2013), as classes que obtiveram menores produtividades falharam na escolha ou gestão do uso de tecnologias, o que pode ser o caso do México.

A produtividade dos fatores no Brasil é semelhante à apresentada por Turquia e Índia, registrando um melhor índice no ano 2000, correspondente a 0,82. Evidencia-se com isso que, mesmo o País tendo obtido êxito na geração e expansão do produto agrícola, esse aumento não tem sido alcançado pelo uso eficiente de seus fatores.

Uma explicação adicional para os resultados da PTF diz respeito ao grau de desenvolvimento tecnológico apresentado por esses países - que apresentam diferentes níveis de capacidade de inovação e, conseqüentemente, o Sistema Nacional de Inovação (SNI) é distinto entre os mesmos. O Brasil possui um SNI ainda imaturo e pouco eficiente quando comparado aos sistemas de inovação dos países desenvolvidos²⁰, tal fato pode elucidar os resultados, não favoráveis, em termos de produtividade dos fatores. Quanto à China, segundo o relatório do Índice Global de Inovação (co-publicado pela Universidade de Cornell, escola de negócio Insead e Organização Mundial da Propriedade Intelectual), o país tem se destacado na qualidade da inovação desenvolvida internamente e, entre os BRICS, possui a melhor posição (tendo passado da 25^a para 22^a em 2017)²¹. A China é um dos principais países em que o processo de *catching up*²² tecnológico tem sido bem-sucedido, o que tem refletido no desenvolvimento de atividades inovativas e na produção econômica. Os Estados Unidos, Alemanha, Japão e França estão entre os países com as maiores iniciativas em inovação tecnológica, com um ambiente favorável a geração, difusão, aplicação e transformação dos conhecimentos em atividades inovadoras e lucrativas. Os demais países dessa seleção possuem um SNI incipiente, podendo ser considerados como “inovadores ineficientes”. Portanto, as nações que são mais inovadoras ou que estão em pleno processo de *catching up*, foram as que apresentam os maiores níveis de PTF nesse trabalho.

4.3. Fatores produtivos nos países agropecuários

Na tabela 3, é apresentada a dotação dos fatores produtivos para cada unidade de corte transversal. Em relação à mão-de-obra, China e Índia têm as maiores dotações (superando em 2116% e 1276% respectivamente, a brasileira). A França utiliza em menor grau esse fator. O capital físico é mais intensivamente utilizado nos Estados Unidos e no Japão, que tem dotação de capital em 306% superior à brasileira. O fator terra é mais usado na China, e menos no Japão.

Tabela 3. Dotação dos fatores produtivos

²⁰ O Brasil construiu uma infraestrutura mínima de ciência e tecnologia que tem contribuído muito pouco com seu desenvolvimento econômico. Além disso, a criação de instituições de pesquisas e universidades no país ocorreu em caráter tardio (VILLELA e MAGACHO, 2009).

²¹ Em 2017, a posição ocupada no ranking do Índice Global de Inovação (IGI) pelos países dos BRICS foi a seguinte: China (22^a), Rússia (45^a), África do Sul (57^a), Índia (60^a) e Brasil (69^a).

²² O processo de *catching up* pode ser entendido como a redução do hiato entre as nações subdesenvolvidas e desenvolvidas. A principal hipótese desse processo, segundo Abramovitz (1986), é a possibilidade de um país tecnologicamente atrasado crescer a uma taxa maior que aqueles que compartilham a fronteira de tecnologia mundial, utilizando conhecimentos já desenvolvidos pelos países que estão na fronteira.

País	$\frac{L_i}{L_{BRA}} * 100$	$\frac{K_i}{K_{BRA}} * 100$	$\frac{T_i}{T_{BRA}} * 100$
Brasil	100	100	100
China	2216,88	110,00	202,29
França	6,53	181,72	11,72
Alemanha	6,65	175,76	6,72
Índia	1376,88	244,65	70,55
Japão	21,73	406,47	2,07
México	45,18	36,93	41,41
Rússia	56,32	171,62	84,91
Turquia	50,41	202,06	15,63
Estados Unidos	18,41	637,06	163,16

Fonte: resultados da pesquisa

Considerando esses fatores (tradicional), os países que têm sua produção agropecuária explicada pelo fator capital são Estados Unidos, Japão, Turquia, Rússia, Alemanha e França. A produção chinesa e indiana é explicada pelo fator mão-de-obra – condizendo com o fato de esses países utilizarem bastante tal fator no processo produtivo (quase metade da população chinesa está empregada no campo e boa parte da força de trabalho indiana também está empregada na agricultura e atividades afins).

Sobre esses fatores, cada um pode ter sua capacidade de explicação analisada em termos de sua produtividade (chamada de produtividade parcial). A produtividade de cada fator reflete as unidades de bem produzido por unidades de um insumo específico utilizado.

4.4. Decomposição do crescimento do produto agropecuário brasileiro

Utilizando a “decomposição do crescimento”²³, apresentada por Solow no artigo “*Technical Change and the Aggregate Production Function*”, e empregando dados relativos ao produto agrícola, capital físico, trabalho e terras agrícolas, é apresentado, no quadro 1, as contribuições à taxa de crescimento do PIB agrícola do Brasil²⁴.

O crescimento do PIB agrícola no Brasil, de 1980 a 2014, foi em média, de 3,28% ao ano. Como se observa no quadro, a Produtividade Total dos Fatores (PTF), também chamada de fator residual (ou “medida da nossa ignorância”) tem explicado a maior parte da taxa de crescimento do produto.

Quadro 1. Decomposição do crescimento do PIB agrícola no Brasil

Contribuição à taxa de crescimento do PIB

²³ A decomposição do crescimento é feita a partir da seguinte função de produção, $Y = BK^\alpha L^{1-\alpha}$; após alguns procedimentos algébricos é obtida a fórmula-chave: $\frac{\dot{Y}}{Y} = (\alpha)\frac{\dot{K}}{K} + (1 - \alpha)\frac{\dot{L}}{L} + \frac{\dot{B}}{B}$ (JONES, 2000). Neste trabalho, o cálculo utilizado para a decomposição foi o seguinte $\frac{\dot{Y}}{Y} = (\alpha)\frac{\dot{K}}{K} + (\beta)\frac{\dot{L}}{L} + (1 - \alpha - \beta)\frac{\dot{T}}{T} + \frac{\dot{B}}{B}$.

²⁴ Para representar a participação de cada fator (capital, mão-de-obra e terra) no produto agrícola, foram utilizados os valores de $\alpha = 0,392$; $\beta = 0,243$ e $(1 - \alpha - \beta) = 0,365$. Tais valores foram apresentados no trabalho de Bragagnolo *et al.* (2010).

Período	Taxa de crescimento do produto agrícola	Trabalho	Capital	Terra	PTF
1980-1990	2,14	0,18	0,50	0,15	1,31
1990-2000	2,87	0,12	0,57	0,06	2,12
2000-2014	4,41	0,19	0,24	0,35	3,63
1980-2014	3,28	0,89	0,41	0,82	1,16

Fonte: resultados da pesquisa

De acordo com Madison (1995), a PTF representa o conjunto de todos os outros fatores que contribuem para o crescimento do produto que não se devem aos fatores físicos, como a qualificação dos recursos humanos, tecnologia, especialização produtiva, alteração da estrutura produtiva etc. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) também podem ser indicados como um termo da PTF, sendo um fator fundamental no processo de geração de novas tecnologias.

O gráfico também mostra como o crescimento do PIB agrícola e de seus componentes mudou ao longo do tempo no Brasil. O crescimento do estoque de capital foi relativamente constante nos trinta e quatro anos considerados, tendo sofrido uma redução nos anos 2000 – para 0,24% ao ano, após o crescimento de 0,57% na década anterior. Em relação à terra, utilizada no cultivo de lavouras permanentes e temporárias, o crescimento variou bastante. Não houve expansão na força de trabalho. A taxa de crescimento da produtividade total dos fatores é significativa em todo o período. No geral, o crescimento do produto agrícola se deu pela contribuição da PTF. A participação do capital no produto foi mais significativa nas duas primeiras décadas, quando houve expansão do uso de máquinas agrícolas²⁵.

Em termos gerais, a produtividade está relacionada à capacidade dos fatores utilizados na produção, de forma que se obtenha o melhor aproveitamento do tempo e dos recursos (eficiência). Assim, aumentos de produtividade dos fatores são importantes para a expansão do produto, estimulam a competitividade internacional e possibilitam o crescimento econômico.

A produtividade no setor agrícola brasileiro, tanto do produto quanto dos recursos produtivos, tem sido estimulada pela geração, incorporação e difusão de conhecimentos. A Embrapa é a principal responsável pelo desenvolvimento de pesquisa na agropecuária (respondendo por 42% do P&D em agricultura, segundo Pentead e Fonseca (2016)), e formulação de políticas agrícolas, atuando também em parceria com universidades e empresas privadas. A empresa tem um papel decisivo na geração de tecnologias e sobre os resultados obtidos na produção.

Entre as inovações desenvolvidas pela Embrapa, se pode citar a transformação dos solos do cerrado, práticas sustentáveis de uso da terra e a tropicalização de culturas e animais, além de pesquisas em genética e controle de pragas e doenças. Segundo dados da Embrapa, existem cinco cultivares de forrageiras, desenvolvidas pela empresa, que são responsáveis por quase 80% do mercado nacional e levaram o Brasil a se tornar o maior exportador de sementes forrageiras tropicais do mundo.

A importância da pesquisa não se deve apenas ao crescimento da produtividade²⁶, mas se verifica também na melhoria da qualidade dos produtos e no aumento da diversificação da

²⁵ No entanto, foi o período de 1975-1979 o auge das vendas ou aquisição das máquinas agrícolas no Brasil.

²⁶ Segundo Gasques *et al.* (2014), os investimentos em pesquisa são um dos principais fatores relacionados ao crescimento da produtividade agrícola; além da melhoria no uso e na eficiência de máquinas e equipamentos, ao uso de sementes geneticamente modificadas, da melhoria na qualificação da mão-de-obra e da utilização de linhagens mais resistentes e adaptadas ao clima.

produção. Segundo Buainain (2007), a produção de frutas na região Nordeste e de soja na região Centro-Oeste são exemplos da contribuição da pesquisa para a diversificação.

Quanto ao papel que os fatores físicos (terra, capital e trabalho) exercem na produção, tem-se verificado que, embora estes tenham contribuído significativamente para a geração do produto ao longo do tempo, os mesmos vêm perdendo participação para a tecnologia.

A utilização da mão-de-obra tem decrescido ao longo do período analisado, o que se deve, sobretudo, ao processo de mecanização implantado na agricultura (substituição deste fator pelo capital). O uso da terra tem sido crescente²⁷, assim como o uso de capital – principalmente com a utilização de máquinas e fertilizantes.

Percebe-se que a atividade agropecuária tem se tornado dependente das inovações, utilizando intensivamente a tecnologia. Neste cenário, o papel da pesquisa é de fundamental importância para o desempenho e produtividade no setor (dos seus insumos e da produção agrícola), além de ser essencial para o crescimento econômico do Brasil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra que a produtividade dos fatores na agricultura tem sido elevada nos países que apresentaram as maiores produções agropecuárias ao longo dos 14 anos analisados. A China obteve uma PTF agrícola superior à dos demais países em todo o período e os Estados Unidos possuem a segunda maior PTF. A produtividade dos fatores no Brasil é semelhante à apresentada por Turquia e Índia.

As maiores variações no comportamento da PTF foram registradas no Japão e nos Estados Unidos. Este último obteve um crescimento de 99% se comparados o primeiro e último ano da série, conseguindo uma produtividade maior no final desse período. Já o Japão obteve uma produtividade menor no último ano (menor que a apresentada no início da análise).

Destaque-se também que o agronegócio brasileiro é uma atividade essencial para a economia do país, sendo um importante setor, tanto pelos valores gerados com a exportação e geração de empregos – emprega em torno de 37% da população economicamente ativa, quanto pela produção e distribuição de alimentos (permitiu o maior acesso pela população, devido à redução nos preços) e produção de energias renováveis. O Brasil é um dos líderes mundiais do agronegócio, exportando para mais de 180 nações.

O sucesso desse setor se deve, principalmente, ao desempenho da agropecuária, que tem se modernizado e alcançado elevada produtividade nos últimos anos. Por meio de avanços tecnológicos e melhores técnicas de produção, o setor tem conseguido eficiência e maior produtividade tanto na obtenção do produto quanto no uso de seus insumos.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABBADE, E.B. O papel do agronegócio brasileiro no seu desenvolvimento econômico. **Revista GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Ano 9, nº 3, p. 149-158. Bauru, Jul/Set 2014.

ABRAMOVITZ, M. Catching Up, forging ahead and falling behind. **The Journal of Economic History**, v. 46, n. 2, p. 385 – 406, 1986.

ALVES, E.R.A.; SOUZA, G.S.; GOMES, E.G. **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Embrapa. Brasília, 2013.

²⁷No Brasil, o solo tem sido utilizado de maneira bastante diversificada, tanto pela extensão territorial quanto pela diversidade de solos e climas. Além disso, o aumento no uso da terra se deve à expansão da agricultura para novas áreas, como o Centro-Oeste.

BALL, V. E.; BUTAULT, J. P.; NEHRING, R. U.S. **Agriculture, 1960-96: a multilateral comparison of total factor productivity**. Technical Bulletin, n. 1895, Washington: USDA, Maio 2001.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. Campo Ferritório: **Revista de Geografia Agrária**, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.

BARRETO, L. G. L. **A relação entre a produtividade total dos fatores e investimentos em infraestrutura**. Brasília: UnB. Tese (Graduação) - Universidade de Brasília, Departamento de Economia. Brasília, 2014.

BARROS, E. S.; COSTA, E. F.; SAMPAIO, Y. Análise de eficiência das empresas agrícolas do pólo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica Translog. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.42, n.4. Brasília, Oct./Dec. 2004.

BISPO, R. A. **A perspectiva da produtividade e determinantes do crescimento na economia brasileira: uma análise histórica e estrutural**. Tese (Graduação) - Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

BONELLI, R.; FONSECA, R. Ganhos de produtividade e de eficiência: Novos resultados para a economia brasileira. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 28, n. 2, p. 273-314, 1998.

BRAGA, H. C.; ROSSI, J. W. **Produtividade Total dos Fatores de Produção na Indústria Brasileira: mensuração e decomposição de sua taxa de crescimento**. Rio de Janeiro, nov. 1988.

BRAGAGNOLO, C.; SPOLADOR, H.F.S.; CAMARGO BARROS, G.S. Regional Brazilian agriculture TFP Analysis: a stochastic frontier analysis approach. **Economia Selecta**, v. 11, n. 4, p. 217-242. Brasília, 2010.

BUAINAIN, A. M. **Agricultura familiar, agroecologia e desenvolvimento sustentável: questão para debate**. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. San José, 2007.

CAVALCANTE, L R.; NEGRI, F. **Produtividade no Brasil: Desempenho e Determinantes**. Brasília: ABDI: IPEA, 2015, cap. 19.

CHRISTENSEN, L. R; JORGENSON, D. W. Real product and real factor input, 1929-1967. **Income and Wealth**, v. 16, n. 1, May 1970.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P. Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 93 Countries, 1980-2000. **Agricultural Economics**, p. 115-134, 2005.

DAHLMAN, C.; ROSS-LARSON, B.; WESTPHAL, L. Managing technological development. Lessons from the newly industrialized countries. **World Development**. v. 15, p. 759-775, 1987.

DUARTE, P.C.; LAMOUNIER, W.M.; TAKAMATSU, R.T. **Modelos econométricos para Dados em Painel: aspectos teóricos e exemplos de aplicação à pesquisa em contabilidade e finanças**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/176819/mod_resource/content/1/Artigo%20-%20Modelos%20em%20Painel.pdf>. Acesso em: 12/04/2017.

_____. **Contribuições para a agricultura brasileira**. Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agriculturabrasileira/pecuaria>>. Acesso em: 22/11/2017.

ELIAS, D. Agronegócio e novas regionalizações no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. V. 13, n. 2, nov. 2011.

ELLERY JR., R. **Desafios para o cálculo da Produtividade Total dos Fatores**. In: Capítulo 2. Produtividade no Brasil: desempenho e determinante, p. 54 – 87. Brasília, DF, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2014 – 2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2014.

FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford University Press. Oxford, 2004.

FARID PEREIRA et al. Productivity growth and technological progress in the Brazilian agricultural sector. **Pesquisa Operacional**, vol.22, n. 2. Rio de Janeiro July/Dec. 2002.

FEITOSA, D. G.; SILVA, A. B.; ABREU, C. C. A. **Produtividade Total dos Fatores e decomposição da PTF para países da América Latina: 1960 - 2000**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FELEMA *et al.* Agropecuária brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 3. Brasília, 2013.

FERREIRA, P. C.; ELLERY, R.; GOMES, V. Produtividade Agregada Brasileira (1970-2000): Declínio Robusto e Fraca Recuperação. **Estudos Econômicos**. São Paulo, v. 38, n. 1, p. 31-53, 2008.

FIESP. **Agronegócio no Brasil terá desempenho melhor que no resto do mundo em 10 anos**. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/agronegocio-brasil-tera-desempenho-melhor-que-resto-mundo-anos-diz-fiesp-64977>>. Acesso em: 21/04/2017.

GASQUES, J.G.; BASTOS, E.T.; BACCHI, M. R. **Produtividade e fontes de crescimento da agricultura brasileira**. In: DE NEGRI, J.A.; KUBOTA, L. C. Políticas de incentivo à inovação tecnológica. Brasília: IPEA, 2008.

GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Crescimento e produtividade da agricultura brasileira**. Brasília: IPEA, 1998. 21p. (Texto para Discussão n. 502).

GONÇALVES NETO, W. **Estado e agricultura no Brasil: política agrícola e modernização econômica brasileira, 1960 – 1980**. São Paulo, 1997.

_____. IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2016/default.shtm> >Acesso em: 13/12/2017.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V.W. **Agricultural development: An international perspective**. This week's citation classic. Agosto, 1988.

_____. Instituto IBMEC. **Sistema Nacional de Inovação (SNI)**. Disponível em: <<http://ibmec.org.br/informe-se/sistema-nacional-de-inovacao-sni/>> Acesso em: 13/12/2017.

JONES, C. I. **Introdução à teoria do crescimento econômico**. Maria José Cyhlar Monteiro (trad.). Rio de Janeiro: Elsevier, 19ª reimpressão, 2000.

JORGENSEN, D. W. **The embodiment hypothesis**. In: JORGENSEN, D. W. Productivity: postwar US economic growth. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, v. 1, p. 25-49, 1996.

LUCAS, A. **Top 10 maiores países produtores agropecuários do mundo**. In: TOP 10+. Disponível em: <<http://top10mais.org/top-10-maiores-paises-produtores-agropecuarios-do-mundo/>> Acesso em: 12/02/2017.

_____. **Marco da Programação no País (CPF) FAO para o Brasil 2013-2016**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-bp560o>> Acesso em: 12/02/2017.

MENDES, S. M.; TEIXEIRA, E. C.; SALVATO, M. A. Investimentos em infraestrutura e produtividade total dos fatores na agricultura brasileira: 1985 – 2004. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 63, n.2, p. 91 – 102. Abr./Jun. 2009.

MOLINA, F.P. **Teoria do crescimento econômico: o papel da inovação na convergência entre países**. Tese (Graduação) – Universidade de Brasília, Departamento de Economia. Brasília, 2016.

MUSSOLINI, C. C.; TELES, V. K. **Infraestrutura e Produtividade no Brasil**. FGV/ EESP. Texto para discussão 243. Fevereiro de 2010.

REISSWITZ, F. **Análises de Sistemas**. Clube de Autores, 2013.

ROMER, P. M. Endogenous Technological Change. **Journal of Political Economy**, v. 98, n. 5, 1990.

SAMPAIO, A. V.; MEIRELLES, J. G.P.; CURADO, M. Produtividade total dos fatores: aspectos teóricos e evidências brasileiras. **Revista Economia & Tecnologia**, v.1, n.3, p. 91-100, 2005.

SCOLARI, D.D.G. Inovação tecnológica e desenvolvimento do agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 59-73, Out./Nov./Dez. 2006.

SCHUMPETER, J. **Theory of Economic Development: an inquiry into profits, capital, credit, interest and the business cycle** /Ukrainian translation by V. Starko. Kyiv – Mohyla Academy.

SHIKIDA, P.F.A.; ORTIZ LOPEZ, A.A. A questão da mudança tecnológica e o enfoque neoclássico. **Teoria e Evidência Econômica**. Passo Fundo, v. 5, n. 9, p. 81-92, 1997.

SOLOW, R.M. Technical change and the aggregate production function. **The Review of Economic and Statistics**, v. 39, n. 3, Agosto 1957.

VELOSO, F.; FERREIRA, P. C.; PESSOA, S. **Experiências comparadas de crescimento econômico no pós-guerra**. In: Desenvolvimento econômico: uma perspectiva brasileira / Pedro Ferreira... et. al. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

VICENTE, J.R. Mudança tecnológica, de eficiência e Produtividade Total de Fatores na agricultura brasileira, 1970-95. **Revista de Economia Aplicada**, v. 8, n. 4, 2004.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; CAMPOS, A. C.; FERREIRA, C. M. de C. Abordagem alternativa do crescimento agrícola: um modelo de dinâmica evolucionária. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 4, n. 2, p. 425-476, jul./dez. 2005.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Brecha produtiva internacional e heterogeneidade estrutural na agricultura brasileira**. In: Repositório IPEA, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5373/1/Radar_n20_Brecha.pdf> Acesso em: 13/011/2017.

VILLELA, T.N. e MAGACHO, L.A.M. **Abordagem histórica do sistema nacional de inovação e o papel das incubadoras de empresas na interação entre agentes deste sistema**. XIX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas. Florianópolis, out., 2009.

WATERS, W. G.; TRETHERWAY, M. W. Comparing total factor productivity and price performance: concepts and application to Canadian railways. **Journal of Transport Economics and Policy**, London, v. 33, n. 2, p. 209-220, May 1999.

WDI - World Development Indicators. **On-line database**. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-developmentindicators>>. Acesso em: 10/04/2017.