

**ANTÔNIO CORDEIRO DE SANTANA**

**VALORAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO  
MADEIREIROS DA AMAZÔNIA: O CASO DA  
CASTANHA-DO-BRASIL**



**TESE DE PROFESSOR TITULAR**





UNIVERSIDADE FERERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS

ANTÔNIO CORDEIRO DE SANTANA

**VALORAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS DA  
AMAZÔNIA: O CASO DA CASTANHA-DO-BRASIL**

**LINHAS DE PESQUISA:**

Economia Agrária e dos Recursos Naturais, Mercado e  
Comercialização, Métodos Quantitativos em Economia.

BELÉM – PARÁ - BRASIL

2015





**UNIVERSIDADE FERERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**ANTÔNIO CORDEIRO DE SANTANA**

**VALORAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS DA  
AMAZÔNIA: O CASO DA CASTANHA-DO-BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (ISARH), como requisito parcial para a promoção da Classe D de Professor Associado, nível IV, para a Classe E de Professor Titular.

**BELÉM – PARÁ - BRASIL**

**2015**

---

Santana, Antônio Cordeiro de

Valoração de produtos florestais não madeireiros da Amazônia:  
o caso da castanha-do-brasil / Antônio Cordeiro de Santana. – Belém,  
2015.

103 p. il.

Tese (Professor Titular) – Universidade Federal Rural da  
Amazônia, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos. Belém,  
2015.

1. Recursos naturais - Valoração 2. Recursos florestais não  
madeireiros - Mercado 3. Castanha-do-brasil - Extrativismo 4.  
Desenvolvimento sustentável 5. Métodos e modelos econométricos. I.  
Título.

CDD: 338.17498115

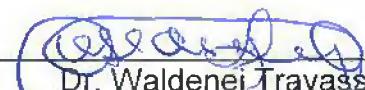
---

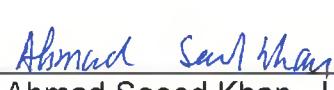
ANTÔNIO CORDEIRO DE SANTANA

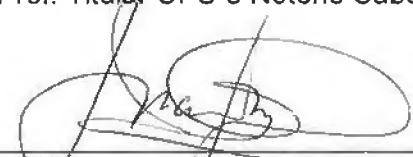
**VALORAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS DA  
AMAZÔNIA: O CASO DA CASTANHA-DO-BRASIL**

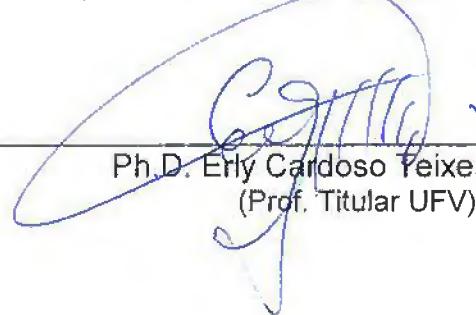
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (ISARH), como requisito parcial para a promoção da Classe D de Professor Associado, nível IV, para a Classe E de Professor Titular.

**COMISSÃO ESPECIAL:**

  
Dr. Waldenei Travassos de Queiroz - UFRA  
(Prof. Titular UFRA)

  
Ph.D. Ahmad Saeed Khan - UFC  
(Prof. Titular UFC e Notório Saber)

  
Ph.D. Mário Miguel Amir García Herreros –UNAMA  
(Prof. Notório Saber e Prof. Titular Unama)

  
Ph.D. Erlly Cardoso Teixeira - UFV  
(Prof. Titular UFV)



## MEMORIAL

O professor Antônio Cordeiro de Santana é Engenheiro-Agrônomo, formado pela Universidade Federal do Ceará (UFC), em 1983. Em março de 1985, ingressou no mestrado de Economia Rural da UFC e obteve o título de Mestre em Ciência, em 1987. Ainda no ano de 1987, iniciou a vida acadêmica na Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP) como professor auxiliar, ministrando aula de Economia e Administração Rural para os cursos de graduação.

Em 1990, iniciou o doutorado em Economia Rural na Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a tese “A dinâmica do complexo agroindustrial e o crescimento econômico no Brasil” foi defendida em setembro de 1993. O título de Doutor em Ciências foi obtido em 1994.

Na graduação, continuei ministrando aulas para os cursos de Agronomia, Medicina Veterinária, Zootecnia, Engenharia Florestal, Engenharia de Pesca e Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Nesta atividade, orientei cinco trabalhos de conclusão de curso e 22 de iniciação científica. Atualmente ministro as disciplinas: Economia Regional e do Agronegócio; Economia da Produção; Economia Ambiental; e Economia Pesqueira.

Na pós-graduação, iniciei em 1994 como professor do mestrado em Ciências Florestais e, a partir de 2002, do doutorado em Ciências Agrárias da UFRA. Até o momento, orientei 11 monografias de especialização, 29 dissertações de mestrado e cinco coorientações, 17 teses de doutorado e cinco coorientações. Adicionalmente, participei de 28 bancas de defesa de tese, 66 bancas de defesa de dissertação e cinco bancas de monografias.

Na atividade de pesquisa, coordenei 11 projetos de pesquisa e, atualmente, coordeno três projetos estruturantes, enquadados na área interdisciplinar. Também lidero o Grupo de Pesquisa em “Cadeias Produtivas, Mercados e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia”.

Como resultado destes projetos, entre 1987 e 2015, foram publicados: 146 artigos científicos com QualisCapes; 26 livros; 70 capítulos de livros; 136 trabalhos completos em anais de congressos; 25 resumos em anais de congressos; e 64 trabalhos técnicos. Também sou revisor de 17 periódicos e editor de três.

Na atividade de extensão, escrevi duas cartilhas e vários documentos técnicos para orientar as decisões de produtores. Ministrei dois cursos de treinamento, organizei cinco eventos de extensão rural e apresentei trabalhos em eventos, a fim de compartilhar conhecimentos com as comunidades.

Em reconhecimento à atuação no ensino, pesquisa e extensão, fui agraciado com os seguintes prêmios: Edson Potsch Magalhães, atribuído a melhor tese de doutorado produzida no Brasil, em 1994; Ruy Miller Paiva, atribuído ao melhor artigo publicado da Revista de Economia e Sociologia Rural, em 1995; o Título Honorífico de Honra ao Mérito pela Universidade Corporativa de Agronegócios da Amazônia (UNICAM), em 2001; o Diploma de Honra ao Mérito pela produção científica e a formação de recursos humanos e futuros pesquisadores na Amazônia, em 2009 e 2010; a Homenagem da Universidade Federal de Viçosa pelo destaque nas áreas de ensino e pesquisa entre os 10 alunos da pós-graduação em Economia Rural, por ocasião dos seus 50 anos, em 2011; a Homenagem pela dedicação e contribuição ao desenvolvimento e consolidação do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da UFV, em 2011; e o Diploma do Mérito pelos relevantes serviços prestados ao Sistema Confea/Creas, à Engenharia e à Agronomia, concedido pelo CREA-PA, em 2012.

Na atividade administrativa, assumiu os cargos de Chefe do Departamento Socioeconômico da FCAP, em 1995/96, e da UFRA, em 2001/02. No período de 2003/05, fui Coordenador de Programação e Avaliação da Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA). A partir de 2013, assumi o cargo de Pró-Reitor de Planejamento e Desenvolvimento Institucional da UFRA.

Por fim, fui consultor das seguintes instituições: Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM); Banco da Amazônia; Secretaria de Agricultura do Estado do Pará (SAGRI); Secretaria da Fazenda do Estado do Pará (SEFA); Instituto de Pesquisa da Amazônia (IPAM); Instituto de Desenvolvimento Socioeconômico do Estado do Pará (IDESP); Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD); Serviço Brasileiro de apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE-PA); Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO); Department for International Development (DFID); e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Todas estas atividades foram extraídas do currículo lattes do professor Antônio Cordeiro de Santana: <http://lattes.cnpq.br/2532279040491194>.

## **DEDICATÓRIA**

À minha divina esposa Zilma, pela compreensão, apoio e luta conjunta ao longo desta trajetória de vida. A meus filhos Ádamo e Ádina pelo exemplo de dedicação em busca da edificação de suas vidas.



## **AGRADECIMENTO**

A Deus pela vida com saúde e pela coragem para trabalhar, que nunca me deixou faltar.



**SANTANA, A.C. Valoração de produtos florestais não madeireiros da Amazônia: o caso da castanha-do-brasil.** Tese (Professor Titular – Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos da UFRA) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015. 102p.

## RESUMO

A destruição dos recursos naturais na Amazônia, causada pela abertura de estradas e da implantação de grandes projetos agropecuários, madeireiros, de extração mineral e produção de energia, não promoveram o desenvolvimento socioeconômico e ambiental nos locais onde foram implantados. As reservas de castanheiras na Amazônia foram vítimas dessa política de desenvolvimento, em que a produção média entre os períodos 1970/75 e 2001/06 caiu de 63.514 toneladas para 28.527 toneladas e a sociedade não foi efetivamente compensada por essas externalidades. Nesse trabalho, estimou-se o sistema de equações de oferta e demanda de castanha-do-brasil por meio do método dos momentos generalizados, com vistas a analisar o mercado e determinar o custo socioambiental de sua destruição. Os resultados mostraram que a oferta e a demanda de castanha tornaram-se mais inelásticas a preço no período estudado. O preço das terras de mata produziam impactos positivos na produção de castanha-do-brasil. Os benefícios socioambientais da produção e comercialização da castanha caíram de R\$ 62,35 milhões para R\$ 46,05 milhões, o que resultou no custo socioambiental de R\$ 16,29 milhões por ano entre 1990 e 2010. Finalmente, propõe-se que esse valor deve constituir o ativo de um fundo de recebíveis socioambiental com vistas a financiar o desenvolvimento local de forma sustentável.

**Palavras-chave:** Externalidade. Valoração de recursos naturais. Mercado de castanha-do-brasil. Reserva extrativista.

SANTANA, A.C. **The valuation of amazonian non-timber forest products:** the case of Brazil nut. Tese (Professor Titular – Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos da UFRA) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015. 102p.

## ABSTRACT

The destruction of natural resources in the Amazon, caused by the building of new roads and the implementation of large agricultural, timber, mineral extraction and energy production projects did not promote socioeconomic and environmental development in the places they were implemented. Brazil nut trees reserves in the Amazon were victims of this development policy, in which the average production between periods of 1970/73 and 2007/10 declined from 63,514 tons to 28,527 tons and the society was not effectively compensated by these externalities.

In this work, we estimated the system of equations of supply and demand of Brazil nut through the generalized method of moments, in order to analyze the market and to determine the environmental cost of their destructions. Results showed that the supply of Brazil nuts became perfectly inelastic, while demand was more elastic to price and income in the period studied. The prices of forestlands produced positive impacts in the production of Brazil nuts. Environmental benefits of production and marketing of nuts declined from R\$ 62,35 million to R\$ 46,05 million, which resulted in an environmental cost of R\$ 16,29 million per year between 1990 and 2010. Finally, it is proposed that this should constitute the asset value of environmental receivables fund targeting the finance of sustainable local development.

**Keywords:** Externality. Valuation of natural resources. Brazil nut market. Extractive reserve.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Castanheiras-do-brasil em ambiente natural e em área preparada para a produção de grãos em sucessão a pecuária .....	24
<b>Figura 2.</b> Linhas de demanda e oferta representando os excedentes dos produtores e dos consumidores e o custo de produção. Na situação A, aplica-se o modelo de mercado em concorrência pura e, na situação B, aplica-se o método da avaliação contingente .....	28
<b>Figura 3.</b> Representação do equilíbrio de mercado da castanha-do-brasil e dos benefícios socioambientais do produtor (BSAP) e do consumidor (BSAC). .....	44
<b>Figura 4.</b> Comportamento histórico das variáveis quantidade e preço da castanha-do-brasil, no período de 1951 a 2010, Amazônia .....	48
<b>Figura 5.</b> Comportamento histórico do valor da produção ao longo das fases do ciclo da castanha-do-brasil da Amazônia, 1951 a 2013 .....	62
<b>Figura A1.</b> Benefício social da pesquisa considerando a oferta perfeitamente inelástica e perfeitamente elástica .....	83
<b>Figura A2.</b> Benefício social da pesquisa para oferta positivamente inclinada e deslocamento paralelo .....	84
<b>Figura A3.</b> Benefício social da pesquisa para uma variação divergente proporcional da oferta .....	85
<b>Figura A4.</b> Benefício social da pesquisa para uma variação pivotal combinada com variação proporcional na curva de oferta .....	86
<b>Figura A5.</b> Benefício social da pesquisa para uma variação pivotal na curva de oferta .....	87
<b>Figura A6.</b> Benefício social da pesquisa para uma variação divergente proporcional da curva de oferta .....	88
<b>Figura A7.</b> Castanheiras em áreas nativa, de pasto, de manejo e de lavoura no estado do Pará .....	97
<b>Figura A8.</b> Castanha-do-brasil a venda no estado e no armazém de uma fábrica do estado do Pará .....	98
<b>Figura A9.</b> Representação esquemática do modelo integrado de avaliação contingente formulado para estimar o valor econômico total do ativo natural .....	101

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultados do sistema de equações de oferta e demanda de castanha-do-brasil, período 1951 a 1973 .....	51
<b>Tabela 2.</b> Resultados do sistema de equações de oferta e demanda de castanha-do-brasil, período 1990 a 2010 .....	56

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 HIPÓTESES.....	19
1.2 OBJETIVOS .....	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos .....	19
1.3 ESTRUTURA DA TESE .....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA .....	21
2.1 A CASTANHEIRA E SEU AMBIENTE NATURAL.....	22
2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	26
2.3 REVISÃO DA LITERATURA.....	32
2.4 CONTRIBUIÇÃO ORIGINAL DA TESE.....	35
2.5 ENQUADRAMENTO DA TESE NA ÁREA DE PESQUISA .....	37
3 METODOLOGIA .....	39
3.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS .....	39
3.2 MÉTODOS ECONOMÉTRICOS.....	40
3.3 BENEFÍCIO E CUSTO DA DESTRUIÇÃO DAS CASTANHEIRAS .....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 CICLO DA CASTANHA-DO-BRASIL .....	46
4.2 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DO PERÍODO 1951 A 1973.....	50
4.2.1 Elasticidades da demanda e da oferta de castanha: 1951 a 1973.....	52
4.3 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DO PERÍODO 1990 A 2010.....	55
4.3.1 Elasticidades da demanda e da oferta: 1990 a 2010 .....	56
4.4 BENEFÍCIO SOCIOAMBIENTAL DA CASTANHA-DO-BRASIL .....	60
4.4.1 Benefício médio do período de 1951 a 1973.....	60
4.4.2 Benefício médio do período de 1990 a 2010.....	61
4.5 CUSTO SOCIOAMBIENTAL DA DESTRUIÇÃO DAS CASTANHEIRAS....	64
4.5.1 Perda líquida de bem-estar social .....	66
5 CONCLUSÕES .....	68
6 LIMITAÇÕES .....	70

7 SUGESTÕES .....	71
REFERÊNCIAS .....	73
APÊNDICES METODOLÓGICOS .....	82
APÊNDICE A – METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO RETORNO SOCIAL.....	82
APÊNDICE B – MÉTODO GENERALIZADO DOS MOMENTOS (MGM) .....	90
APÊNDICE C – FUNDAMENTOS DO FUNDO DE RECEBÍVEIS .....	93
Fundamento conceitual do fundo de recebíveis .....	94
APÊNDICE D – FOTOS DE CASTANHEIRAS E DA CASTANHA .....	97
APÊNDICE E – MÉTODO INTEGRADO DE AVALIAÇÃO CONTINGENTE.....	99
Modelo de equações aparentemente não relacionadas .....	102

## 1 INTRODUÇÃO

As reservas da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), em função de sua importância histórica para a economia do extrativismo na Amazônia, compreendendo os estados da região Norte, foram regulamentadas em 1933. Na década de 1950, com o declínio do ciclo da borracha, a castanha-do-brasil, amêndoada comercial do fruto da castanheira, passou a ser o principal produto florestal não madeiro da região amazônica.

Na Amazônia, que representa a área de estudo desta tese, a produção média de castanha no período de 1970 a 1975, foi de 63.514 ton. e, entre 2001 e 2006, foi de 28.527 ton. (IBGE, 2012), com a maior parte sendo destinada ao abastecimento do mercado brasileiro, pois as exportações somaram apenas 8.956 ton., cerca de 31,39% do total produzido. Entre os dois períodos de tempo, a queda na produção foi de 55,09%, o que produziu forte mudança no bem-estar de 25 mil famílias da população tradicional, cuja sobrevivência depende diretamente do extrativismo da castanha.

O período de tempo definido nesta tese para a estimação do valor dos benefícios socioeconômicos e ambientais da castanha-do-brasil, a partir da análise do mercado e do excedente econômico foi de 1951 a 2010. Este horizonte de tempo contempla o ciclo econômico completo do extrativismo da castanha, com a fase de expansão indo até 1964, a fase de estabilidade entre 1965 a 1979 e a fase de declínio entre 1980 a 2006. A partir de 2006, a produção inicia um processo de evolução sustentável, por meio do manejo de algumas reservas extrativistas, a expansão dos plantios de castanheiras e a organização e gestão da cadeia produtiva da castanha-do-brasil.

A fase de declínio foi antecipada, com a destruição das castanheiras, que produziu forte queda na oferta da castanha-do-brasil a partir de 1979, causada pela abertura de estradas e a implantação de grandes projetos agropecuários, de extração madeireira e mineral, a produção de energia e o programa de colonização e reforma agrária, viabilizados pelo crédito rural, incentivos fiscais e regularização fundiária, com vistas a promover o rápido crescimento e a integração da economia regional (SANTANA et al., 1997; SANTANA, 2002; SANTANA, 2013).

Esta forma de extrativismo por aniquilamento, em que as árvores são derrubadas e toda a estrutura ecológica da floresta é suprimida para dar lugar a outras atividades econômicas, conduz ao esgotamento das castanheiras nativas. Com efeito, a oferta de castanha torna-se, no limite da exploração, perfeitamente inelástica. Assim, a demanda ou benefício marginal social da castanha-do-brasil determina o preço. Portanto, este conhecimento teórico pode ser evidenciado por meio da análise das situações antes e depois da destruição dos castanhais da região amazônica.

A destruição das castanheiras produziu uma evidente redução do benefício socioeconômico e ambiental que, por sua vez, traduziu-se em elevado custo para a população regional e global, uma vez que a castanha é consumida pelas comunidades tradicionais e o excedente é comercializado nos mercados regional, nacional e internacional. Por isto, o custo socioambiental deve ser compensado para apoiar a reestruturação produtiva do extrativismo da castanha-do-brasil na Amazônia brasileira.

Dessa forma, continua a justificativa de que a causa da destruição das castanheiras deve-se à perda de competitividade do extrativismo em relação à atividade agropecuária e à extração madeireira e/ou mineral. Todavia, ainda não se conhece o valor econômico total do ativo natural formado pelos castanhais. Este valor, como definido no âmbito da Economia Ecológica, abrange o fluxo de produtos e serviços gerados pelas castanheiras. Ou seja, os castanhais fornecem o produto castanha-do-brasil, que tem preço definido no mercado, e os serviços de regulação ambiental (purificação do ar, chuvas, polinização, fauna etc.), culturais (educação, paisagem, conhecimento etc.) e de suporte (fotossíntese, ciclagem da água e de nutrientes etc.), como definido por Costanza *et al.* (1997) e ajustado por Wallace (2008).

Sendo assim, as reservas de castanheiras não podem ser consideradas apenas como fator de produção, avaliadas pelo valor de uso direto. Ou seja, este ativo natural deve ser valorado tendo em consideração o fluxo de produtos e serviços ecossistêmicos que contribui direta e indiretamente para aumentar o bem-estar das populações tradicionais e mundial, que consomem o produto e/ou se beneficiam com a redução dos gases de efeito estufa e a manutenção e/ou melhoria das condições climáticas.

Outra visão que também deve ser rejeitada é a de considerar as reservas de castanheiras como sendo uma monocultura de castanha que compete com as atividades agrícola, pecuária e pesca. Simplesmente conclui-se que a extração de castanha é menos rentável do que as demais atividades concorrentes por terra, capital e mão de obra e, por isso, deve ser substituída. Este argumento encobre dois erros fundamentais e fatais para a preservação dos ativos naturais. O primeiro erro ocorre porque a revitalização das castanheiras é mais eficiente por meio da integração das áreas de capoeira onde se praticou a agricultura familiar, o que torna as atividades complementares e não substitutas.

A complementaridade também ocorre com a pesca, em função da sazonalidade da produção de castanha não coincidir com a produção se subsistência. Além disso, a reserva é um sistema diversificado de produção, pois existem outros produtos comerciais como andiroba, copaíba, cumaru, madeira de alto valor comercial, plantas medicinais etc., que por falta de estatísticas, não participam da economia formal. O segundo erro ocorre em função da aplicação de metodologia inadequada para valorar o ativo natural castanheira, por não incorporar as dimensões social e ambiental, além de não assumir que o horizonte de tempo para o fluxo de benefício-custo é infinito.

Nesta tese, a valoração contempla apenas a provisão da castanha-do-brasil como alimento, por ser o único produto transacionado no mercado, dado que a castanheira está ameaçada de extinção e as árvores não podem ser derrubadas para a comercialização da madeira. A justificativa é que as estatísticas de preço e quantidade de castanha estão disponíveis, possibilitando a estimação do custo marginal social (oferta) e do benefício marginal social (demanda), que define excedente econômico total, equivalente ao Valor Econômico Total desse produto florestal não madeireiro. Com efeito, mesmo incluindo a dimensão social, o valor do ativo castanheira ainda é subestimado, dado que não contempla os serviços ecossistêmicos. Mesmo assim, pode-se gerar uma estimativa adequada do benefício socioeconômico da produção de castanha-do-brasil e do custo da destruição das reservas de castanheiras ao propor a adequação na metodologia de análise benefício-custo.

Portanto, valorar os ativos naturais constitui premissa para a gestão e uso sustentável dos recursos naturais, tendo como principal restrição a capacidade de

suporte destes ativos quanto ao limite de absorção e transformação de resíduos e à manutenção do fluxo de produtos e serviços para aumentar o bem-estar da sociedade. Este é o fundamento que justifica a integração dos conhecimentos da Economia Neoclássica com a Economia Ecológica e que está, cada vez mais, obtendo a adesão de cientistas e da sociedade, incluindo a contribuição da Igreja Católica por meio da Carta Encíclica *LAUDATO SI'* (2015) do Papa Francisco, que foi imediatamente denominada de "Encíclica Verde".

Neste contexto, duas questões devem ser respondidas a partir da estimativa do valor socioeconômico desse ativo natural, que até então foi avaliado apenas do ponto de vista privado, delimitando o fluxo de benefício-custo a um curto período de tempo, o que é insuficiente para apoiar as decisões econômicas. Na primeira, indaga-se sobre qual o mérito e o alcance da metodologia utilizada nesta tese para estimar o benefício socioeconômico e ambiental produzido pelas castanheiras e a sua contribuição em relação aos modelos tradicionais de análise benefício-custo? Na segunda, pergunta-se sobre qual a magnitude dos custos (ou perda de benefício) socioeconômicos e ambientais gerados pela destruição dos castanhais e seu efeito sobre o bem-estar das populações tradicionais e dos consumidores da castanha-do-brasil?

Para responder a estas questões, à luz da integração dos conceitos da Economia Neoclássica e da Economia Ecológica, propõe-se a especificação de um modelo econométrico para estimar os parâmetros das equações de demanda e oferta de castanha-do-brasil e calcular o excedente econômico total ou benefício socioeconômico e ambiental da produção e comercialização da castanha. Adicionalmente, de forma também pioneira, calcula-se o valor presente líquido socioambiental para a castanha, cujo valor além de adequado é superior ao obtido com a metodologia tradicional que contempla apenas o excedente do produtor ou benefício econômico do produtor. Com isto, pode-se demonstrar que as decisões que levaram à destruição dos castanhais não refletiam o custo de oportunidade do extrativismo.

A seguir, apresentam-se as hipóteses que foram definidas a partir do problema de pesquisa delineado e que devem ser confirmadas ou rejeitadas, bem como os objetivos geral e específicos, que devem ser respondidos com a aplicação da metodologia proposta na tese.

## 1.1 HIPÓTESES

- a) A oferta de castanha-do-brasil exibe comportamento temporal inverso ao da oferta de produtos da agropecuária e produtos manufaturados, dado que a oferta vai se tornando menos elástica com a evolução do ciclo do extrativismo e, no limite, torna-se perfeitamente inelástica;
- b) O modelo econométrico proposto é adequado para estimar o benefício socioeconômico e ambiental da castanha-do-brasil e calcular o custo da destruição das castanheiras;
- c) A compensação no valor da perda líquida do excedente econômico, ou perda de bem-estar social causado pela destruição das castanheiras, representa grande contribuição para apoiar a sustentabilidade do desenvolvimento local a partir da reestruturação do extrativismo de produtos florestais não madeireiros.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da tese foi propor um modelo econométrico para representar o mercado de castanha-do-brasil, estimar os parâmetros das equações de demanda e oferta e calcular o benefício socioeconômico e ambiental produzido pelas castanheiras da Amazônia no período de 1951 a 2010.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) O primeiro objetivo foi analisar as estimativas dos parâmetros e as elasticidades da demanda e da oferta de castanha-do-brasil para dois períodos: o primeiro de 1951 a 1973, que representa as fases de evolução e estabilidade do ciclo de produção (configura a situação em que a destruição não é significativa); e o segundo de 1990 a 2010, que define a fase final da destruição do ciclo de produção (período de menor produção e maior impacto da destruição) das castanheiras.

- b) O segundo objetivo foi estimar o valor dos benefícios socioeconômicos e ambientais da castanha-do-brasil para os dois períodos, calcular o custo da destruição e aprofundar o conhecimento sobre a economia do extrativismo na Amazônia;
- c) Apresentar uma proposta para a utilização da compensação pela destruição das castanheiras em benefício das populações tradicionais de quilombolas, índios e ribeirinhos, cuja renda depende diretamente do extrativismo da castanha-do-brasil.

### 1.3 ESTRUTURA DA TESE

A tese foi estruturada em quatro seções além dessa introdução. Na primeira, apresenta-se a integração dos fundamentos teóricos da Economia Neoclássica e da Economia Ecológica e a revisão da literatura sobre o valor econômico total da destruição dos castanhais, de acordo com o ciclo do extrativismo. Na segunda, descreve-se a especificação e o método de estimação dos parâmetros das equações de oferta e demanda, bem como dos benefícios e custos socioambientais do extrativismo da castanha-do-brasil. Na terceira, discutem-se os resultados econôméticos da oferta e demanda por castanha-do-brasil e os custos socioambientais da depredação dos castanhais. Por fim, apresentam-se as conclusões e limitações do trabalho, bem como as sugestões para orientar a formulação e/ou adequação de políticas públicas, visando estruturar a restaurar a organização e gestão da cadeia produtiva da castanheira.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, apresentam-se os elementos que delimitam a importância da castanheira-do-brasil como ativo natural e os fundamentos teóricos envolvendo uma análise integrativa dos conhecimentos da Economia Neoclássica e da Economia Ecológica.

As castanheiras definem as funções ecológicas, econômicas e sociais que são integrantes das reservas extrativistas de castanhais, estabelecidas nas interações com os demais produtos florestais não madeireiros (andiroba, copaíba, seringueira etc.) e nas relações de complementaridade com as atividades da agricultura itinerante e da pesca artesanal. Desta interação, surge um sistema diversificado, cuja dinâmica não é considerada nas análises tradicionais pela falta de informação e conhecimento sobre essas atividades.

Tais relações escapam ao escopo das análises tradicionais, que considera os ativos naturais como insumo de produção e sem valor de mercado, conduzindo sua utilização ao esgotamento porque acredita-se na substituição dos produtos naturais pelos produtos manufaturados. No entanto, visualiza-se apenas recurso natural como fonte de matéria-prima de um processo produtivo capaz de gerar um fluxo contínuo de crescimento econômico e com aumento do bem-estar da sociedade.

Contudo, os ativos naturais fazem a interação entre sua estrutura e as funções do ecossistema que contribuem diretamente para aumentar a qualidade de vida das pessoas. Assim, ao ser desconsiderado o fluxo de produtos e de serviços ecossistêmicos, o baixo grau de substituição dos ativos naturais por manufaturados e a limitada capacidade de absorção de resíduos, pode-se, ao invés de aumentar o bem-estar, reduzir e piorar a qualidade de vida da população.

Em função disso, a estimativa do benefício-custo, gerado pela produção e consumo da castanha-do-brasil deve levar em conta a integração dos conceitos, ferramentas e metodologias das Economias Neoclássica e Ecológica. Decorre desse conhecimento que o fluxo circular da renda não é linear e que existem barreiras definidas pela capacidade de reciclarem e absorção de resíduos por parte do meio ambiente natural.

## 2.1 A CASTANHEIRA E SEU AMBIENTE NATURAL

Inicialmente, define-se a castanheira como ativo natural, que é o conceito diferenciador das análises à luz da Teoria Neoclássica, que a considera apenas no contexto da terra de mata que entra no sistema apenas como um fator de produção. Como ativo natural, a castanheira produz a castanha-do-brasil como alimento para a população e contribui com os serviços de regulação ambiental, conhecimento cultural e suporte para estruturação do solo e ciclagem da água e de nutrientes. Portanto, a castanheira tem valor econômico superior ao valor de uso direto pelo consumo de castanha, ou da madeira, quando era permitida sua comercialização. Os serviços agregam valor de uso indireto, valor de opção para uso no futuro e valor de existência, dada a alcunha de árvore milenar e de beleza exuberante, que agrega o valor de beleza cênica para as reservas e contribui para manter a diversidade da flora e da fauna desse ecossistema florestal.

A castanheira-do-brasil é uma árvore de grande porte, que pode atingir até 50m de altura e mais de 4m de diâmetro (SALOMÃO, 1991). É uma das espécies mais altas da Amazônia e há registros de castanheiras que alcançaram 60m de altura e mais de 5m de diâmetro (SANTANA; KHAN, 1992; SALOMÃO, 2014).

A integração deste conhecimento é fundamental para a reconstrução do pensamento econômico para além do tradicional fluxo circular da renda que ignora a barreira absoluta imposta pela natureza, dado que toda produção utiliza energia e gera resíduo, em que a reciclagem e absorção são limitadas. As reservas extrativistas de castanha-do-brasil são um exemplo especial para essa integração de conhecimentos, cuja valoração pode reorientar as formas de organização e gestão sustentável da cadeia produtiva.

As castanheiras, para manter seu fluxo de produção e de serviços, necessitam da renovação natural e da combinação de uso com outras atividades econômicas, tendo como restrição a mão de obra e a logística de coleta que onera o custo pela sua alta dispersão no território. Esta renovação está respaldada em vários estudos (COTTA et al., 2008; SALOMÃO, 1991; PAIVA et al., 2011; NUNES et al., 2012; GUEDES et al., 2014), que asseguram que as

áreas de capoeiras originadas da agricultura itinerante do entorno dos castanhais apresentam maior densidade de plantas jovens do que na floresta densa.

Além disso, Guedes et al. (2014) oferecem a informação de que a produção de castanheiras das áreas de capoeiras manejadas é superior à produção dos castanhais nativos e, por sua vez, dos plantios. Este conhecimento permite, embora com base em um único estudo, afirmar que a agricultura familiar dentro ou no entorno da área de reserva, é complementar ao extrativismo da castanha e não substituta. Ou seja, confirma-se que os ativos naturais têm baixa substitutibilidade por ativos manufaturados. Portanto, a recomendação de plantios em monocultura da castanha não consegue substituir a produção extrativista em função das barreiras impostas pela dinâmica ecológica e da termodinâmica.

Com isto, contribui-se para o entendimento do problema que os grandes projetos agropecuários, industriais e de infraestrutura, concebidos sob a ótica de uma economia que assumia os recursos naturais como “bens livres” e/ou como insumos de produção, causam de forma direta e indireta o desmatamento e as queimadas das áreas de floresta que, por sua vez, contribuem para a destruição das reservas de castanheiras na Amazônia. Tais efeitos são ainda mais drásticos para a castanheira, que não consegue manter a produção fora do seu ambiente natural.

As castanheiras dependem de um ambiente natural para a produção de frutos, dadas as peculiaridades de suas flores serem polinizadas por poucos e específicos insetos, que são atraídos por orquídeas que vivem no ambiente da floresta que abrigam as castanheiras (SANTOS; LABSY, 2010). Neste aspecto, ganha força a complementação da produção mediante o manejo das áreas de capoeira como revelaram Guedes et al. (2014) e na forma de sistemas de produção agroflorestais e/ou silvipastoris no entorno das reservas.

Com isto, a produção da castanha-do-brasil torna-se menos ameaçada aos problemas causados pelo desmatamento e pelo fogo, que destroem seu habitat e exterminam os insetos e os animais, como a cotia, que contribui para sua propagação natural e cuja sobrevivência é favorecida nas áreas de capoeira (SILVIO; FRAGOSO, 2003).

Assim, conforme evidenciado por Kitamura e Müller (1984) e estudado por Santana e Khan (1992), os grandes projetos e as queimadas contribuíram

fortemente para reduzir a produtividade das castanheiras remanescentes, que continuavam com grandes floradas, mas com baixa produção de frutos, por causa da falta dos insetos polinizadores. Desta forma, de nada adianta manter a castanheira em áreas de pastagens e/ou de produção agrícola, que não vai ocorrer produção economicamente viável, uma vez que as condições naturais de reprodução foram destruídas.

Na ilustração da Figura 1, tem-se uma castanheira em uma área de reserva (Foto A), configurando seu ambiente natural e, na Foto B, outras castanheiras em uma área que foi desmatada para a implantação de pastagens e depois preparada para a produção de soja. Embora as árvores sejam protegidas por lei, a manutenção em área livre de vegetação e onde não existem mais os insetos polinizadores, não há produção de frutos. Com o passar do tempo, o revolvimento do solo e o atingimento das raízes condenam as árvores à morte.



**Foto A.** Castanheira da reserva Riozinho do Anfrísio, Altamira, Pará.

Fonte: WWF-Brasil/Clovis Miranda



**Foto B.** Castanheiras em área de lavoura de soja. Belterra, Pará.

Fonte: Santana (2005).

**Figura 1.** Castanheiras-do-brasil em ambiente natural e em área preparada para a produção de grãos em sucessão a pecuária.

Portanto, as castanheiras plantadas e/ou mantidas em áreas de pastagem ou de lavouras, sem a estrutura ecológica do seu ambiente natural, envolvendo plantas como as orquídeas que asseguram a presença de abelhas polinizadoras, a produção tende a ser muito baixa e economicamente inviável. Pimentel et al. (2007) obtiveram uma taxa interna de retorno de 5,04% para um plantio de

castanha-do-brasil, considerando um fluxo de caixa de 50 anos. Este resultado foi inferior ao custo de oportunidade de 14% a.a., indicando que o cultivo é inviável.

Com efeito, a proibição da derrubada de castanheiras e a comercialização da madeira não são suficientes para manter o fluxo de produção de fruto e dos serviços ecossistêmicos. É necessário manter a área de floresta natural para que as castanheiras continuem produzindo frutos por longo tempo e contribuam para gerar renda, emprego, alimentos e bem-estar para a população da Amazônia. Este, portanto, constitui um desafio para a viabilização da produção em cultivos racionais de castanha-do-brasil.

A castanha-do-brasil é o principal produto florestal não madeireiro, cuja produção é utilizada na culinária das populações regionais, sobretudo dos “povos da florestas”, que são excluídos do desenvolvimento regional. Também abastece os mercados nacional e internacional por meio das exportações. Sua ocorrência está concentrada nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Rondônia. A sua distribuição geográfica na Amazônia brasileira e América do Sul foi representada no estudo de Thomas et al. (2014).

Na Amazônia, envolvendo apenas os estados da região Norte, a produção de castanha-do-brasil atingiu 36.704 ton., em 2013, distribuída da seguinte forma (IBGE, 2013): Acre 13.599 ton. (37,1%); Amazonas 11.785 ton. (32,1%); Pará 9.023 ton. (24,6%); Rondônia 1.689 (4,6%); Amapá 438 ton. (1,2%); e Roraima 171 ton. (0,6%).

No extrativismo da castanha e da borracha, Almeida (2004) estimou a participação de 163 mil pessoas, sendo que 33 mil vivem apenas nas reservas criadas a partir de 2000. As comunidades tradicionais (comunidades de quilombolas, indígenas e ribeirinhos), cuja sobrevivência depende diretamente do extrativismo da castanha pode atingir 25 mil famílias. Portanto, a destruição das castanheiras retira a oportunidade de emprego, renda e alimentação dessa população.

Neste contexto, o Pará foi, e continua sendo, o grande protagonista da destruição dos castanhais e, por sua vez, do aumento da vulnerabilidade das comunidades tradicionais que dependem do extrativismo dos produtos florestais não madeireiros para sua sobrevivência. Por outro lado, os estados do Acre e do

Amazonas estão trilhando novos caminhos rumo à organização dos extrativistas e à gestão sustentável do extrativismo.

Os fundamentos teóricos apresentados a seguir foram elaborados para oferecer uma nova compreensão das castanheiras como ativo natural e desfazer o pensamento tradicional de que a floresta não é um recurso escasso e, quando muito, apenas algumas espécies devem ser valoradas pelo preço do produto principal, sem considerar o fluxo de produtos e serviços ecossistêmico que gera. Além disso, quando o recurso é considerado insumo de produção, assume-se que pode ser plenamente substituído pelos insumos manufaturados. A esta visão simplista, incorporou-se novo conhecimento para que o custo de oportunidade dos ativos naturais seja definido de tal forma que reflita o valor social de mercado.

## 2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A castanheira é um ativo natural porque produz um fluxo de produtos e serviços que contribui para melhorar as condições de bem-estar da população regional. Este fluxo de produtos e serviços foi denominado por Costanza et al. (1997) como serviços ecossistêmicos e compreende quatro categorias: a provisão de produtos e alimentos, no caso a castanha-do-brasil, que é ofertada para os mercados local, nacional e internacional, cujo preço é definido pela interação entre a oferta e a demanda; o serviço de regulação ambiental, que envolve a purificação do ar, o regime climático e as condições pluviométricas, umidade e temperatura do ambiente, as populações de insetos polinizadores, animais da fauna e espécies da flora regional etc.; o serviço cultural como a educação socioeconômica e ambiental, a paisagem e belezas cênicas em função da exuberância das árvores, o conhecimento da floresta amazônica e a formação dos aglomerados de castanheiras etc.; e o serviço de suporte, por meio da fotossíntese, ciclagem da água e de nutrientes, controle de erosão etc.

O valor econômico total (VET) deste ativo natural incorpora o valor de uso e o valor de não uso do recurso, cuja avaliação necessita de um conjunto de metodologias integrando os fundamentos das teorias neoclássica e ecológica (BISHOP, 1978; MITCHELL; CARSON, 1989; ARROW et al., 1993; PEARCE,

1993; HANEMANN, 1994; FARBER et al., 2002; LIU et al., 2010; CARSON, 2012; SANTANA, 2014).

Assim, o modelo de VET, conforme apresentado em Pearce (1993), Motta (1997), Bishop e Romano (1998), Carson e Mitchell (2003), Carson (2012) e Santana (2014) é dado por:

$$VET = \text{Valor de Uso (VU)} + \text{Valor de Opção (VO)} + \text{Valor de Existência (VE)}$$

O VU é o valor atribuído pelas pessoas ao consumo ou usufruto dos recursos naturais. Esse componente é subdividido em duas partes: o Valor de Uso Direto (*VUD*) e o Valor de Uso Indireto (*VUI*). O *VUD* refere-se ao uso dos recursos naturais como fonte de matéria-prima, produtos alimentícios, medicinais e científicos, lazer, recreação e satisfação hedônica, obtidos pela extração ou visitação. O *VUI* é definido pelas externalidades que o recurso produz na forma de suas funções dentro dos ecossistemas para manter a biodiversidade (espécies raras e/ou endêmicas da flora e da fauna) e preservação de cursos d'água, ciclagem de nutrientes, regulação climática etc.

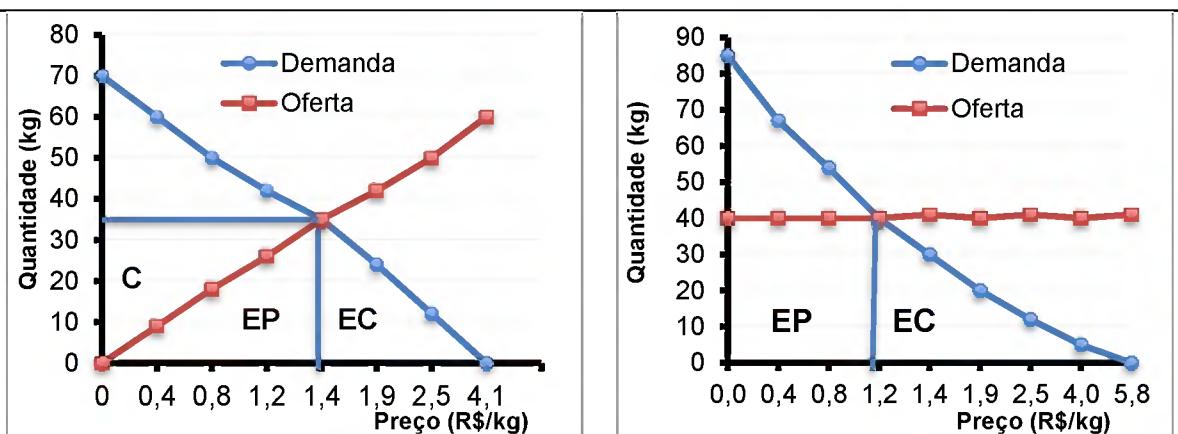
O VO é o valor atribuído aos serviços produzidos pela preservação da natureza para uso futuro e reflete a aversão ao risco de que os castanhais, no futuro, podem ter seus produtos e serviços comprometidos. O VE se refere ao valor de não uso do recurso natural. Portanto, é a atribuição de valor ao recurso simplesmente por sua existência e está relacionado às espécies vegetais e animais com ameaça de extinção e a castanheira, em função da importância socioeconômica e da contribuição para a dinâmica da floresta e manutenção de sua biodiversidade, é uma dessas espécies.

Do conjunto de metodologias utilizadas na valoração de ativos naturais, duas se destacam pela consolidação nas aplicações empíricas. A primeira e mais generalizadamente utilizada diz respeito à aplicação dos fundamentos da teoria neoclássica sobre mercado e bem-estar social aos recursos que são transacionados em mercados, por permitir estimar os parâmetros das equações de demanda e oferta do produto e calcular o excedente econômico, equivalente ao valor socioeconômico e ambiental do ativo natural (SANTANA, 1991; SANTANA; KHAN, 1992; COSTANZA et al., 1997; MOTTA, 1997).

A segunda se refere ao método de avaliação contingente que contempla o valor de uso (inclui os produtos e serviços com valor de mercado) e o valor de não uso (os produtos e serviços que ainda não têm valor de mercado) do ativo natural (RANDALL; STOLL, 1980; RANDALL, 1981; FISHER; HANEMANN, 1987; PEARCE, 1990; BISHOP; ROMANO, 1998; TIETENBERG; LEWIS, 2010; SANTANA, 2014; BENTES et al., 2014).

Estes modelos foram apresentados na forma gráfica, para facilitar a compreensão dos conceitos de valoração.

No Gráfico A da Figura 2, ilustra-se a situação dos recursos naturais que têm valor de mercado e as linhas de demanda e oferta podem ser estimadas. O Excedente do Consumidor (EC) ou benefício socioeconômico e ambiental do consumidor de castanha-do-brasil é dado pela área abaixo da linha de demanda e acima do preço de equilíbrio do mercado. Indica o valor máximo que os consumidores estão dispostos a pagar pela aquisição e consumo de um produto ou serviço menos o preço de equilíbrio de mercado que é efetivamente pago pelos consumidores (MARSHALL, 1982).



**Gráfico A: Produtos com valor de mercado.**  
EP é o Excedente do Produtor ou Receita Líquida; EC é o Excedente do Consumidor; C é o custo de produção.

**Gráfico B: Produto sem valor de mercado.**  
EP é o Excedente do Produtor ou Receita Líquida; EC é o Excedente do Consumidor.

**Figura 2.** Linhas de demanda e oferta representando os excedentes dos produtores e dos consumidores e o custo de produção. Na situação A, aplica-se o modelo de mercado em concorrência pura e, na situação B, aplica-se o método da avaliação contingente.

O Excedente do Produtor (EP), receita líquida, lucro ou benefício socioeconômico e ambiental do produtor (no caso extrativista) mais as rendas extraídas do uso do recurso natural é representado pela área a direita da linha de

oferta e à esquerda do preço de equilíbrio do mercado. É, pois, a diferença entre o preço recebido pelos extrativistas por cada quantidade de castanha coletada e vendida e o custo de cada unidade adicional de produção (ou da coleta e quebra dos ouriços para a obtenção das amêndoas de castanha). O custo unitário de produção é representado pela área C e o valor bruto da produção é dado pela soma das áreas (C + EP).

O Excedente Econômico Total (EET) é o resultado da soma do EP com o EC e representa o benefício socioeconômico e ambiental total (BSAT) para todos os consumidores e produtores de castanha-do-brasil e representa a situação de máxima eficiência (MARSHALL, 1982; MAS-COLELL et al., 1995; JEHLE; RENY, 2011). No caso desta tese, representaria o valor do ativo natural das castanheiras da Amazônia, definido apenas pelo fluxo da produção e consumo de castanha-do-brasil.

O EET é o valor a ser utilizado no cálculo do valor presente líquido e da taxa de retorno social dos ativos naturais, dos ativos de capital e das atividades econômicas (AYER; SCHUH, 1972; CONTADOR, 1984; COSTANZA et al., 1997; MOTTA, 1997; TIETENBERG; LEWIS, 2010).

Entretanto, praticamente todas as análises de valoração utilizam apenas o EP no cálculo do valor presente líquido, o que representa apenas o benefício privado do produtor e não da sociedade como um todo. Portanto, essas análises subestimam o valor presente do ativo e, em consequência, sua taxa de retorno social.

Com efeito, as avaliações realizadas no passado concluíam que o extrativismo da castanha-do-brasil apresentava retorno inferior ao das atividades pecuária e agricultura, induzindo a equívocos irreparáveis na tomada de decisão. A consequência foi a destruição dos castanhais e o desmatamento (SANTANA, 2014; SANTANA et al., 2014).

Um exemplo contundente pode ser encontrado no texto de Nogueira e Rodrigues (2007) que utilizam o EP para determinar o valor da floresta a ser indenizada para viabilizar a extração mineral na Amazônia. O valor presente líquido (ou EP) a ser pago como indenização pela área de floresta a ser minerada, considerando o horizonte de 100 anos, foi estimado em R\$ 5.984,16. Este valor foi considerado como o custo de oportunidade da floresta.

No Gráfico B da Figura 2, apresenta-se a situação dos recursos naturais que não têm valor de mercado (inclui espécies raras, endêmicas e o valor de existência). Pelo que se observa, a linha de oferta é perfeitamente inelástica, representando a quantidade total do recurso. Logo, apenas a linha de demanda é estimada para representar o valor total do ativo ambiental.

Observa-se que não há alteração no cálculo do EC, mas o EP representa a área total à esquerda do preço de equilíbrio, dado que a linha de oferta é determinada pelo estoque do ativo natural. Como os recursos não têm valor de mercado, a demanda requer uma metodologia própria, envolvendo a estimativa dos parâmetros de um sistema de equações aparentemente não relacionadas, com as equações da Disposição a Pagar (DAP) pela preservação do recurso natural e da Disposição a Aceitar (DAA) uma indenização para que o recurso seja utilizado (MOTTA, 1997; SANTANA, 2014; BENTES et al., 2014; SANTANA et al., 2014). O modelo pode ser especificado, conforme Santana (2014), da seguinte forma:

$$DAP = f(DECON, DSDEM, DAMBI, DECOL; \alpha)$$

$$DAA = f(DECON, DSDEM, DAMBI, DECOL; \beta)$$

Em que *DECON* é a dimensão econômica (renda, emprego, bens de capital), *DSDEM* é a dimensão sociodemográfica (educação, sexo, idade, origem, tamanho da família, política social), *DAMBI* é a dimensão ambiental (fatores climáticos, queimadas, poluição, biodiversidade, ecoturismo) e *DECOL* é a dimensão ecológica (serviços ecológicos, produtos ecológicos, qualidade do solo, polinização),  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros a serem estimados. A este sistema, Santana (2014) denominou de Método Integrado de Avaliação Contingente (MIAC), por fazer a integração entre os conhecimentos das teorias neoclássica e ecológica.

Como o MIAC foi proposto pioneiramente por Santana (2014) em relatório apresentado e aprovado pela Vale do Rio Doce, porém ainda não publicado, e cuja aplicação e análise não terem sido contempladas nesta tese, apresenta-se a metodologia no Apêndice E como contribuição ao avanço das pesquisas na área de valoração de ativos naturais.

Nesta tese, o foco está no valor de uso direto do produto castanha-do-brasil, portanto o método de mercado foi eleito para estimar o valor do benefício socioeconômico e ambiental, compreendendo o EP e o EC representados no Gráfico A da Figura 2.

Para que o EET represente o máximo valor dos EP e EC, o preço e a quantidade de equilíbrio do mercado devem ser definidos em um mercado que opere com as características próximas da concorrência perfeita. Desta forma, o preço reflete eficiência e, portanto, o custo de oportunidade do ativo a ser avaliado.

O mercado de castanha-do-brasil, definido em nível dos produtores ou extrativistas, opera com características que se aproximam da concorrência pura, pelas seguintes razões (SANTANA, 2005; SANTANA et al., 2011a; VARIAN, 2012):

- a) Grande número de consumidores e de extrativistas operando as compras e vendas de pequenas quantidades de castanha-do-brasil das reservas de castanheiras da Amazônia, de forma que a ação isolada de cada um dos agentes não influencia os preços de equilíbrio do mercado. Na Amazônia, a produção de castanha é realizada por grande número de extrativistas, que negociam a venda de maior parte de sua pequena produção diretamente com os atravessadores;
- b) A castanha-do-brasil em casca é um produto homogêneo na visão dos agentes que compram o produto. Assim, os preços e as quantidades de castanha transacionada no mercado local são determinados pela interação entre a demanda e a oferta;
- c) O fluxo de informações sobre preço, custo com mão de obra e transporte é de conhecimento dos agentes do mercado (principalmente, extrativistas e atravessadores) e há mobilidade do fator mão de obra entre as áreas de reservas de castanheiras e outras atividades extrativistas e não extrativistas, em resposta a novas oportunidades de mercado para os produtos florestais não madeireiros.

Assim, o excedente econômico total, ou benefício socioeconômico e ambiental produzido pela castanha-do-brasil, representa o valor real apropriado pelos consumidores e produtores, uma vez que o preço de equilíbrio do mercado

reflete o custo de oportunidade da produção (FAUCHEUX; NOËL, 1995; DALY; FARLEY, 2004; SANTANA, 2012; SANTANA et al., 2012; VARIAN, 2012).

O valor das externalidades negativas geradas pela destruição dos castanhais na Amazônia foi estimado com base nos fundamentos da economia dos recursos naturais. O fruto da castanheira, denominado castanha-do-brasil, tem valor de mercado e representa o principal produto florestal não madeireiro da floresta amazônica, por isso utilizou-se um modelo de mercado para estimar as equações de custo marginal social (oferta de castanha) e benefício marginal social (demanda de castanha) e determinar o excedente econômico total, ou benefício socioeconômico e ambiental total, para os períodos de 1951 a 1973, que representa a capacidade máxima de produção de castanha, e de 1980 a 2010, que configura o quadro de menor produção ou máxima destruição dos castanhais.

O excedente econômico, como proposto por Marshall (1982) e representados na Figura 2, é uma medida de valor máximo do excedente do consumidor e do excedente do produtor (RANDALL; STOOL, 1980; SANTANA; KHAN, 1992; FAUCHEUX; NOËL, 1995; COSTANZA et al., 1997; SANTANA, 2005; VARIAN, 2012).

### 2.3 REVISÃO DA LITERATURA

A valoração socioeconômica e ambiental, aplicando o conceito de EET e, sobretudo, a integração da Economia Neoclássica com a Economia Ecológica na análise dos ativos naturais, cujo conhecimento ainda é limitado, principalmente na Amazônia, constitui o principal desafio a ser alcançado nesta tese.

Esse conceito, portanto, foi inicialmente aplicado para estimar os retornos do investimento em pesquisa científica e tecnológica (GRILICHES, 1958; AYES; SCHUH, 1972; LINDNER; JARRET, 1978; SANTANA; KHAN, 1987; SANTANA et al., 1992; FERREIRA, 1993; SILVA et al., 2006) e depois aplicado na valoração dos recursos naturais que têm preço definido pelo mercado (COSTANZA et al., 1997; FARBER et al., 2002). No Brasil, a metodologia foi pioneiramente aplicada nos recursos naturais por Santana (1991) e Santana e Khan (1992) para estimar o custo social da depredação da castanha-do-brasil no estado do Pará.

Nestes trabalhos, a hipótese assumida foi de que os efeitos potenciais das mudanças produzidas por investimento em pesquisas e tecnologias, ao beneficiar os agentes produtivos e consumidores, produzem deslocamento na oferta, mantendo a demanda constante. Isto significa que a demanda e a oferta do produto investigado é definida para dado período, incorporando ou não, os efeitos das tecnologias e/ou pesquisas.

Assim, Griliches (1958) e Peterson (1967) pioneiramente estimaram os retornos do investimento na pesquisa do milho híbrido e da avicultura nos Estados Unidos. Depois, Ayes e Schuh (1972) estimaram os retornos do investimento em pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias do algodão no Brasil, visando dar suporte à continuidade e ampliação de fundos para o desenvolvimento da pesquisa agrícola. Uma adaptação dessa metodologia foi adotada por Santana e Khan (1987) e Khan e Souza (1991) para estimar o benefício social da adoção de inovações tecnológicas pelos produtores de feijão caupi e mandioca na região Nordeste, Ferreira (1993) para estimar o retorno social dos investimentos em pesquisa e assistência técnica na cultura do café de Minas Gerais e por Santana et al. (1992) e Santana (1994) para avaliar os efeitos das políticas de preços mínimos para o algodão e arroz na região Nordeste e da política de reflorestamento no Brasil. Procedimento semelhante foi utilizado por Santana et al. (2002), Silva et al. (2006) e Nogueira (2011) para calcular os benefícios sociais da adoção das tecnologias de manejo em açaizais nativos e plantios racionais no estado do Pará.

Nesta metodologia, assume-se *ex-ante* a forma e a magnitude do deslocamento da oferta, mantendo a demanda constante, bem como pressupõe que a oferta apresente elasticidade-preço estatisticamente diferente de zero. Isto é uma condição necessária para que o parâmetro de deslocamento da oferta seja definido. Observa-se, também, que a demanda, ao invés de ser mantida constante, tende a variar na mesma direção da oferta, efeito que a metodologia não capta. Portanto, o resultado é uma subestimação dos benefícios ou custos socioeconômicos de mudanças tecnológicas, ou de impactos socioambientais.

Com relação à aplicação dessa metodologia nos recursos naturais, especificamente nos produtos florestais não madeireiros da Amazônia, no caso a castanha-do-brasil, Santana (1991) e Santana e Khan (1992) adaptaram o

método proposto por Lindner e Jarret (1978) e ajustado por Rose (1980) e Norton e Davis (1981) para calcular o parâmetro que mede o deslocamento da oferta na dimensão do impacto ambiental e, especificamente, o custo socioambiental da destruição das castanheiras do Pará, no período de 1969 a 1987. Portanto, o estudo de Santana e Khan (1992) abrange o período final do extrativismo sem destruição e incorpora parte do período de plena destruição dos castanhais. O parâmetro  $K$ , dado por  $K = [(1 - Qe/Qa)/\varepsilon]$ , que capta o deslocamento da oferta entre a situação com e sem o impacto ambiental foi determinado a partir da variação entre a produção no auge do extrativismo sem destruição ( $Qa$ ) e a produção estimada no equilíbrio do mercado ( $Qe$ ), que representa a situação com depredação dos castanhais, ponderado pela elasticidade-preço da oferta ( $\varepsilon$ ).

Este método, por sua vez, aplica-se apenas aos casos em que o coeficiente de elasticidade-preço da oferta seja positivo e estatisticamente diferente de zero. O modelo também não distingue a forma de especificação da oferta: linear, logarítmica, exponencial etc., que tende a produzir resultados diferentes para o valor do EET.

Entre os trabalhos mais recentes, Moreira (2004) e Angelo et al. (2013) aplicaram a metodologia utilizada em Santana e Khan (1992) para estimar o custo do desmatamento dos castanhais dos estados do Acre, Amazonas e Pará. Por sua vez, Angelo et al. (2012) estimaram o custo da depredação do pequi no Cerrado brasileiro.

Observa-se que a pesquisa sobre a valoração dos produtos florestais não madeireiros ainda é escassa, dada a barreira de conhecimento sobre os modelos econôméticos e, principalmente, da escassez de dados estatísticos disponíveis e de forma sistematizada para o acesso geral.

Nesta tese, dá-se novo pontapé ao tema da valoração ambiental dos recursos naturais da Amazônia, aplicando a técnica de integral definida para calcular o excedente econômico total da produção de castanha-do-brasil antes e depois da destruição dos castanhais da Amazônia. O ponto é que, no caso da castanha, têm-se a fase de plena produção e de plena destruição completas. Isto permite estimar o valor total e real da destruição deste ativo natural.

## 2.4 CONTRIBUIÇÃO ORIGINAL DA TESE

A principal contribuição desta tese foi a aplicação do conceito de EET incorporando os conceitos da Economia Neoclássica (mercado e bem-estar social) e da Economia Ecológica (valor dos produtos e serviços ecossistêmicos). A integração destes conhecimentos, embora de forma simples, representa um avanço abrangente na concepção dos recursos naturais como ativos que produzem um fluxo de bens e serviços e não apenas como um fator de produção.

Sendo a castanheira-do-brasil um ativo natural capaz de gerar um fluxo anual do produto castanha-do-brasil por um período infinito, o cálculo do valor presente líquido muda radicalmente, gerando um resultado substancialmente superior ao calculado nas análises neoclássicas, mesmo quando consideram o EET para um horizonte de tempo finito. Esta é uma efetiva contribuição a ser gerada pelos resultados desta tese.

Uma segunda contribuição diz respeito à metodologia utilizada no cálculo do EET gerado pela castanha-do-brasil da região amazônica.

Portanto, nesta tese, ao invés da metodologia de cálculo utilizada para obter um valor aproximado do excedente econômico pelos estudos anteriores, aplicou-se diretamente a técnica de integral para calcular o benefício socioeconômico e ambiental total, a partir do equilíbrio do mercado da castanha-do-brasil, estabelecido para as situações de menor (1951 a 1973) e de maior (1990 a 2010) impacto dos efeitos da destruição dos castanhais, bem como a distribuição dos resultados entre extrativistas e consumidores.

A estimativa dos parâmetros das equações de oferta e demanda da castanha-do-brasil foi realizada para as situações antes e depois da destruição das castanheiras. Portanto, eliminam-se todas as restrições assumidas nos modelos anteriores sobre o comportamento da oferta e da demanda, o que torna a metodologia original e geral. Além disso, o excedente econômico foi calculado por meio da aplicação da técnica de integral para evitar os vieses de estimativa para mais ou para menos dos efeitos das externalidades por meio das metodologias até então utilizadas.

Esta inovação metodológica, aliada à integração dos fundamentos das economias neoclássicas e ecológica, pode contribuir para a compreensão sobre a

importância da valoração dos ativos naturais e orientar as decisões de escolha entre fazer investimento em grandes empreendimentos ou assegurar a preservação das áreas de castanhais na Amazônia. Além disso, outros conhecimentos teóricos sobre os ativos naturais são agregados para a compreensão do comportamento da demanda e oferta de recursos naturais, em especial da castanha-do-brasil que é o principal produto florestal não madeireiro da Amazônia. Assim, a demanda de castanha-do-brasil com casca tende a ser mais inelástica a preço e a renda com o passar do tempo.

A oferta da castanha-do-brasil, como é típico do extrativismo por aniquilamento, dado que o estoque de árvores matrizes é completamente destruído para dar lugar à implantação de pastagens para a criação extensiva de gado e/ou para a implantação de lavouras, tende para a perfeita inelasticidade, dado que o estoque remanescente do ativo passa a ser totalmente explorado e a produção mantém-se constante e, se não for renovada, a produção tende a cair. Na Amazônia, este limite está sendo alcançado, uma vez que todas as áreas de castanhais nativos estão demarcadas e protegidas contra a extração de madeira e o desmatamento, ao mesmo tempo em que a produção cultivada não é significativa (HOMMA et al., 2014; SALOMÃO et al., 2014). Portanto, espera-se encontrar uma elasticidade-preço da oferta, no período de 1990 a 2010, bem menor do que a estimada para o período 1951 a 1973, confirmar a primeira hipótese e responder parte do primeiro objetivo específico formulado nesta tese.

Em geral, o extrativismo vegetal quando não acompanhado do manejo e da domesticação das espécies exploradas, em conformidade com as diretrizes da sustentabilidade forte ou fraca (FAUCHEUX; NOËL, 1995), tende a apresentar comportamento inverso ao dos produtos agropecuários e florestais cultivados que, ao longo do tempo, incorporam os benefícios das inovações tecnológicas, incrementam a produtividade e a escala de produção, tornando a oferta mais elástica. Assim, à medida que a extração dos produtos avança para o esgotamento da disponibilidade em toda sua extensão, tem-se um limite para a oferta em longo prazo, o que a torna perfeitamente inelástica (COSTANZA et al., 1997; EL SERAFY, 1998; HOMMA, 2000; FARBER et al., 2002).

A partir da estimação dos parâmetros das equações de oferta e demanda, calcula-se o custo socioambiental da destruição das castanheiras. Desta forma,

pode-se definir o valor da compensação para esses impactos socioeconômicos e ambientais, que os grandes projetos de desenvolvimento produziram sobre as reservas de castanhais da Amazônia. Obtém-se, assim, o custo de oportunidade do extrativismo que pode ser utilizado para comparar vis-à-vis com o uso da terra com lavouras, pecuária, extrativismo mineral e inundação para produzir energia elétrica. Com isto, respondem-se às hipóteses de adequação do modelo para a estimação do benefício da produção e da importância da compensação pelo custo da depredação dos castanhais, bem como aos objetivos específicos de estimação dos benefícios e custos da destruição das castanheiras, bem como da utilização dos resultados da tese em benefício das populações extrativistas.

Com efeito, o conhecimento do valor da floresta e a sua incorporação na contabilidade regional e nacional contribui para orientar as decisões quanto à conservação e uso dos recursos naturais das reservas extrativistas de castanheiras e demais áreas de florestas protegidas na Amazônia.

## 2.5 ENQUADRAMENTO DA TESE NA ÁREA DE PESQUISA

O tema desenvolvido nesta tese, no âmbito teórico, é interdisciplinar ao fazer a integração dos conceitos da Economia Neoclássica e da Economia Ecológica, com o propósito de gerar um novo aporte de conhecimentos para lidar com a valoração de ativos naturais, tendo em vista o fluxo permanente de produtos e serviços ecossistêmicos, a contribuição para o bem-estar social e o limitado grau de substituição por ativos manufaturados.

A castanheira-do-brasil pode ser considerada como um ativo natural ideal para demonstrar a necessidade dessa visão interdisciplinar na sua valoração. Todos estes aspectos estão correlacionados e, por falta de conhecimento, as decisões adotadas incorporaram os princípios da sustentabilidade fraca de que as áreas de castanheiras representam apenas um fator de produção e que a castanha extrativa poderia ser plenamente substituída pela castanha produzida em sistemas de cultivos racionais.

O resultado foi que os castanhais foram depredados, a substituição por plantios não ocorreu e a sociedade arcou com o custo da redução drástica da produção e da exclusão das comunidades tradicionais.

Portanto, este novo conhecimento, aplicado na tese, enquadra-se na grande área: Ciências Sociais Aplicadas, que abriga a área de Economia e, dentro desta, as subáreas: Economia Agrária e dos Recursos Naturais; Mercado e Comercialização; e Métodos Quantitativos em Economia.

O tema da tese incorporou diretamente os conteúdos destas três subáreas, ao tratar a valoração de recursos naturais, especificar de forma adequada o mercado da castanha e utilizar os métodos quantitativos para estimar os parâmetros das equações de demanda e oferta da castanha-do-brasil. Como se observa, há uma integração interdisciplinar dos diferentes conceitos para gerar um resultado mais abrangente e ajustado ao fenômeno estudado.

Por fim, o tema da tese está enquadrado nas atividades desenvolvidas no âmbito dos projetos de pesquisa cadastrados na Pró-reitoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (PROPED): Cadeias Produtivas, Mercados e Desenvolvimento Local na Amazônia, com número de cadastro 022010-162; e Valoração Socioeconômica e Ambiental de Savana Metalófila da Flona de Carajás, com número de cadastro 022015-536. Também está integrada aos estudos desenvolvidos no âmbito do grupo de pesquisa cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), desde 2009, para desenvolver estudos em Cadeias Produtivas, Mercado e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia (GECADS), liderado por mim desde 2009.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção, apresentam-se as justificativas para a escolha da área de estudo e a fonte dos dados, assim como os métodos quantitativos utilizados para responder ao problema de pesquisa, confirmar ou rejeitar as hipóteses formuladas a partir do problema e responder aos objetivos, com base nos fundamentos teóricos das economias neoclássica e ecológica.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

A área de estudo foi a Amazônia, contemplando todos os estados produtores da região Norte, onde a destruição das reservas de castanheiras pode ser representativa dos danos causados pela implantação de grandes projetos orientados para o crescimento econômico e a integração da região à economia nacional. O período da análise da tese foi de 1951 a 2010 por representar o ciclo completo do extrativismo da castanha-do-brasil e por permitir desenvolver metodologias para testar os argumentos teóricos até então justificados como absolutos para respaldar a introdução de novas atividades produtivas em substituição aos castanhais.

O ponto central da análise é que essas decisões foram tomadas sem o conhecimento do valor econômico total dos ativos naturais, que podem contrapor os argumentos embasados na sustentabilidade fraca sobre o uso dos recursos naturais, dado que até o momento os cultivos de castanheiras não conseguiram substituir a produção extrativa e nem devem reproduzir as condições de bem-estar geradas para a sociedade pelos castanhais nativos (PERASON, 1993; FAUCHEUX; NOËL, 1995; DALY; FARLEY, 2004).

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos de fontes secundárias como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – quantidade produzida e preço da castanha, preço da castanha de caju e do látex e o PIB *per capita*, Fundação Getúlio Vargas (FGV) – preço da área de mata, salário rural e o índice geral de preços, disponibilidade interna e informações sobre o valor das exportações coletadas do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

### 3.2 MÉTODOS ECONOMÉTRICOS

O modelo de mercado foi definido pelas equações de demanda e oferta de castanha-do-brasil, considerando o período de 1951 a 1973, que representa a situação ainda insignificante dos efeitos da destruição dos castanhais, e o período de 1990 a 2010, que incorpora a fase do maior grau de destruição dos castanhais na Amazônia e, portanto, de maior impacto sobre a oferta de castanha. Definido dessa forma, contempla-se a situação antes e depois da destruição das reservas extrativistas de castanheiras e viabiliza-se a estimativa dos benefícios socioeconômicos e o cálculo dos custos da externalidade socioambiental negativa gerada pela destruição desse ativo ambiental. O sistema de equações de demanda e oferta por castanha-do-brasil foi especificado da seguinte forma:

$$\text{Demanda: } QCB_{dt} = c_{10} + c_{11}PCB_t + c_{12}Renda_t + c_{13}PCaju_t + c_{14}Tend_t + c_{15}VD_t + u_{dt}$$

$$\text{Oferta: } QCB_{ot} = c_{20} + c_{21}PCB_t + c_{22}PLatex_t + c_{23}PTMata_t + c_{24}Srural_t + c_{25}QCB_{t-1} + u_{ot}$$

$$\text{Equilíbrio: } QCB_{dt} = QCB_{ot} = QCB_{et}; (t = 1, 2, \dots, T)$$

#### Variáveis endógenas

$QCB_{dt}$  e  $QCB_{ot}$  são as quantidades de castanha-do-brasil demandada e ofertada na região Norte, em tonelada, no ano t;

$QCB_{et}$  é a quantidade de equilíbrio entre oferta e demanda de castanha, no ano t;

$PCB_t$  é o preço real da castanha-do-brasil, em R\$ por tonelada, no ano t.

#### Variáveis exógenas

$Renda_t$  é o produto interno bruto real *per capita* da região Norte, no ano t;

$PCaju_t$  é o preço real da castanha de caju, em R\$ por tonelada, no ano t (incluído apenas na equação de demanda do período 1990 a 2010);

$Tend_t$  é a variável tendência, definida cronologicamente para cada período;

$PLatex_t$  é o preço real do látex, em R\$ por tonelada, no ano t (incluído apenas na equação de oferta do período 1990 a 2010);

$PTMatat$  é o preço real das terras de mata, em R\$/ha, no ano t (incluída apenas na oferta do período 1990 a 2010);

$SRural_t$  é valor real do salário rural, em R\$/dia, no ano t (incluída apenas na oferta do período 1990 a 2010).

$VD_t$  é variável dummy assume valor 1 para o período de 1996 a 2006, que representa a nova trajetória de desenvolvimento das reservas de castanheiras da Amazônia, e zero para os demais anos.

### Variáveis instrumentais

$PIB_{t-1}$  é o PIB *per capita* defasado de um período, em R\$/m<sup>3</sup>, no ano t-1 (incluída nos modelos dos dois períodos);

$SRural_t$  é valor real do salário rural, em R\$/dia, no ano t (incluída apenas no modelo do período 1990 a 2010).

### Parâmetros e termos de erro

$c_{ij}$  (i = 1, 2 e j = 0, 1, ..., 5) são os parâmetros a serem estimados e  $u_{dt}$  e  $u_{ot}$  são os termos de erro aleatórios das equações de demanda e oferta, que devem apresentar distribuição normal, independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante.

Pela teoria do consumidor, a quantidade demandada de castanha-do-brasil tende a variar inversamente aos preços de mercado e apresentar uma correlação direta com a renda do consumidor, *ceteris paribus* (SANTANA, 1992; SANTANA, 2005; VARIAN, 2012; NOGUEIRA et al., 2013). Assim, em resposta a aumentos no preço e/ou diminuição na renda, os consumidores tendem a ajustar seus planos para comprar uma cesta com menor quantidade do produto cujo preço aumentou, de modo a manter seu nível de satisfação no consumo (SANTANA et al., 2011a; SANTANA et al., 2011b). Para a castanha de caju, por fazer parte da cesta de nozes ou castanhas diversas, é tida como um produto substituto da castanha-do-brasil sem casca, logo a variável quantidade demandada de castanha-do-brasil com casca deve, também, apresentar uma relação direta com os preços da castanha de caju.

Em relação à variável tendência, espera-se uma relação negativa com a variável quantidade de castanha, em função da destruição dos castanhais, no

período de 1990 a 2010. Por fim, ressalta-se que a demanda da castanha-do-brasil com casca é efetivada por agentes de comercialização a serviço de empresas e/ou por comerciantes localizados nas cidades dos municípios, assim como por intermediários independentes (SANTANA, 1991; ENRIQUEZ, 2008; SANTOS et al., 2014; SANTOS et al., 2014). Esses agentes, além de viabilizar a comercialização da castanha geram as informações sobre as condições das safras, armazenamento e qualidade do produto.

Com base na teoria da firma, a quantidade ofertada de castanha-do-brasil tende a variar diretamente aos preços e inversamente aos custos de extração, representado pelo salário pago aos trabalhadores rurais (SANTANA, 1992; SANTANA, 2005; SANTANA et al., 2011a; SANTANA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013). A oferta de castanha, conforme Santana e Khan (1992) tende a variar em sentido contrário ao comportamento dos preços do látex, por serem produtos de atividades concorrentes pelos fatores de produção na região amazônica, bem como em relação ao aumento da malha rodoviária, por viabilizar a implantação de outras atividades concorrentes da castanheira em relação aos fatores terra e mão de obra. Por último, espera-se que a variável quantidade de castanha apresente correlação positiva com o preço da terra de mata, dado que é da reserva florestal que o extrativismo da castanheira se desenvolve de forma sustentável. Esta variável incorpora o efeito dos serviços ecossistêmicos da produção de castanha, dado que o ambiente da floresta é uma condição necessária para a castanheira produzir frutos e contribuir para manter a biodiversidade da floresta amazônica.

Observa-se que o modelo incluiu além das variáveis endógenas e exógenas, como é comum aos sistemas de equações simultâneas, a categoria de variáveis instrumentais, que não entram diretamente no modelo estrutural. Ao serem incorporadas no modelo na forma reduzida, essas variáveis terão seus efeitos captados no modelo estrutural. Por definição, conforme Pindyck e Rubinfeld (2004) e Santana et al. (2011a), as variáveis instrumentais apresentam correlação forte com as variáveis exógenas e ausência de correlação com o termo de erro.

Adicionalmente, a produção de castanha defasada de um período ( $QCB_{t-1}$ ) reúne o conjunto de informação da safra anterior fruto das interações com todas as forças do mercado, cujos efeitos podem influenciar o desempenho do mercado

de castanha no período corrente. Portanto, a importância dessas variáveis instrumentais é adicionar informação ao modelo simultâneo de oferta e demanda, sem causar redundância com as variáveis do modelo estrutural. A estatística *J* de Hansen (1982) foi utilizada para testar a adequação dessas variáveis à especificação do modelo (EVIEWS7, 2012; COSTA; SANTANA, 2015).

Quanto à identificação do modelo, tem-se que as equações de demanda e oferta foram superidentificadas pelas condições de ordem e de posto ou *rank* (GUJARATI, 1994; SANTANA, 2003; GREENE, 2011). A estimativa do modelo foi realizada pelo Método Generalizado dos Momentos (MGM), por possibilitar a estimativa dos parâmetros das equações do sistema de equações simultâneas, incluindo as variáveis instrumentais e incorporando o tratamento de autocorrelação dos erros (SANTANA et al., 2011b; EVIEWS7, 2012; COSTA; SANTANA, 2015).

A mesma estrutura foi aplicada ao modelo especificado para o período de 1951 a 1973, com base nas variáveis disponíveis. O método de estimativa também foi o mesmo e, nesse período, a variável instrumental considerada foi a produção de castanha defasada de um período.

### 3.3 BENEFÍCIO E CUSTO DA DESTRUIÇÃO DAS CASTANHEIRAS

O benefício socioeconômico e ambiental total da castanha-do-brasil (BSATC) foi estimado para os períodos de 1951 a 1973 (considerado sem destruição significativa -  $BSATC_{sd}$ ) e de 1980 a 2010 (representando a situação de máxima destruição -  $BSATC_{cd}$ ), que é a soma do benefício socioambiental do produtor (BSAP - área  $0C_oEPCB_e$ ) com o benefício socioambiental do consumidor (BSAC - área  $PCB_eEPCB_d$ ). A ilustração dos benefícios foi apresentada na Figura 3. Para a aplicação direta do cálculo da integral, a representação da demanda e da oferta foi feita com o eixo X indicando a variável independente Preço (PCB) e o eixo Y a variável dependente Quantidade (QCB). Esta representação é diferente da utilizada nos livros de microeconomia, mas o resultado é o mesmo, inverte-se apenas os eixos.

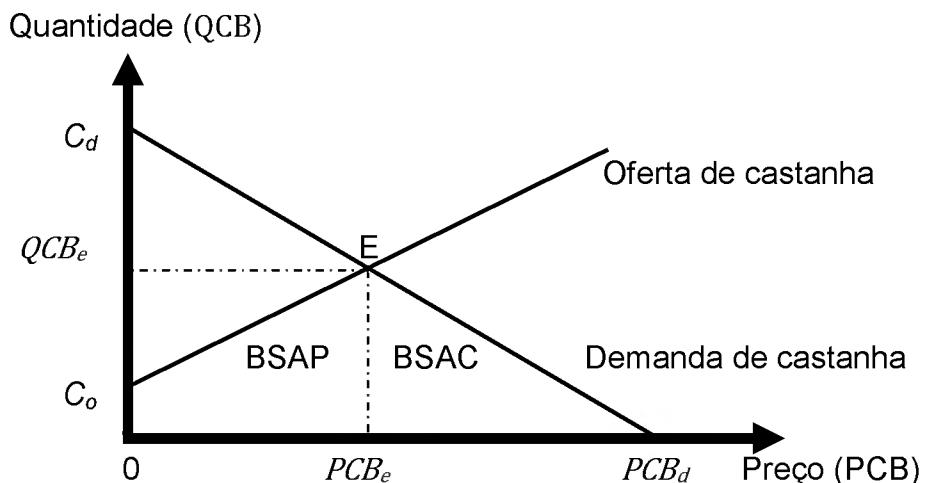
A obtenção das equações de demanda e de oferta a partir do modelo estrutural apresentado, com as quantidades apenas em função do preço, e

estimar o valor do excedente econômico total ou benefício socioeconômico e ambiental da castanha-do-brasil, substitui-se a média de cada variável exógena nas equações de demanda e de oferta e soma-se o resultado ao intercepto de cada equação para gerar o seguinte resultado:

$$\text{Demanda: } QCB_{dt} = C_d - c_{11} PCB_t$$

$$\text{Oferta: } QCB_{ot} = C_o + c_{21} PCB_t$$

Desta forma, os parâmetros  $C_d$  e  $C_o$  incorporam, respectivamente, a influência de todas as variáveis deslocadoras da demanda e da oferta. O preço de equilíbrio é dado por:  $PCB_e = [(C_d - C_o)/(c_{11} + c_{21})]$  e o preço que iguala a quantidade demandada a zero é  $PCB_d = (C_d/c_{11})$ .



**Figura 3.** Representação do equilíbrio de mercado da castanha-do-brasil e dos benefícios socioambientais do produtor (BSAP) e do consumidor (BSAC).

Assim, o valor do  $BSATC$  é dado pela soma da integral da equação de oferta de castanha, delimitada entre o intervalo de preço zero e o preço de equilíbrio da castanha  $PCB_e$ , com a integral da equação de demanda, definida no intervalo entre o  $PCB_e$  e o preço em que a quantidade demandada é zero  $PCB_d$  (Figura 3). O cálculo do  $BSATC$  é dado por:

$$BSATC_t = BSAP_t + BSAC_t = \int_0^{PCB_e} (C_o + c_{21}PCB)dPCB + \int_{PCB_e}^{PCB_d} (C_d - c_{11}PCB)dPCB$$

Esse procedimento é feito para a situação do mercado de castanha-do-brasil com destruição dos castanhais, período de 1990 a 2010, e sem depredação dos castanhais, período de 1951 a 1973. Assim, nominando o benefício com depredação de  $BSATC_{cd}$  e sem depredação de  $BSATC_{sd}$ , tem-se que o custo socioeconômico e ambiental da depredação dos castanhais ( $CSADC$ ) é dado por:

$$CSADC_t = BSATC_{cd} - BSATC_{sd}$$

Finalmente, a compensação dos danos ambientais causados pela destruição das castanheiras, como um valor fixo e na forma de uma anuidade perpétua, assumindo taxa de desconto  $r$  de 4% ao ano, para manter coerência com a indenização paga pela Vale do Rio Doce pela supressão florestal das áreas de extração mineral ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), tem-se que o valor presente social dessa compensação ( $VPCOMP$ ), conforme Fisher *et al.* (1972), Pearce (1990) e Hirshleifer e Glazer (1992), é dada por:

$$VPCOMP_t = \sum_{t=0}^{\infty} (BSATC_{cd} - BSATC_{cs})(1+r)^{-t} = \sum_{t=0}^{\infty} CSADC_t (1+r)^{-t} = \frac{CSADC_t}{r}$$

A metodologia tradicional considera no valor presente apenas a diferença entre os benefícios socioambientais dos produtores (VPBP) para um período finito  $T$ , dado por:

$$VPBP_t = \sum_{t=0}^T \Delta BSAP_t (1+r)^{-t}$$

Mesmo quando o excedente econômico total é considerado, o fluxo é definido para apenas um ciclo de produção, logo o período vai até o ano  $T$ . Assim, tem-se:

$$VPCOMP_t = \sum_{t=0}^T (BSATC_{cd} - BSATC_{cs})(1+r)^{-t} = \sum_{t=0}^T CSADC_t (1+r)^{-t}$$

Portanto, a sociedade ainda perde a parcela do fluxo que é produzido no período ( $T+1, T+2, \dots, \infty$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresenta-se uma análise sucinta sobre as fases do ciclo da castanha-do-brasil, por meio do comportamento histórico dos preços e quantidades. Depois são apresentados e discutidos os resultados econométricos e os benefícios e custos socioeconômicos e ambientais da atividade envolvendo o extrativismo da castanha-do-brasil.

### 4.1 CICLO DA CASTANHA-DO-BRASIL

O período de 1951 a 2010 contempla todas as fases do ciclo econômico da castanha-do-brasil. Foi no início da década de 1950 que a castanha-do-brasil passou a ter importância econômica significativa para o estado do Pará e, em 2006, também no estado do Pará, registrou a menor produção. O elemento protagonista desta configuração cíclica, certamente recebe a denominação de política pública orientada para o desenvolvimento regional.

Os instrumentos desta política, de forma didática, envolvem: regulação fundiária, específica para viabilizar a exploração dos castanhais e, em termos gerais, para delimitar as áreas de assentamentos da reforma agrária; áreas para a implantação de projetos agrícolas e pecuários; áreas para extração de minérios e extração de madeira; projetos para a produção de energia elétrica; a abertura e implantação de estradas (rodovias e ferrovias) e a construção de portos, para definir uma logística mínima de escoamento da produção e interligação dos mercados; incentivos fiscais e os fundos constitucionais para subsidiar a produção; e o marco legal para a regulação comercial, fundiária e ambiental. Esta política, portanto, consolidou o processo de expansão da fronteira agrícola na Amazônia.

Como a castanheira é uma árvore milenar e as áreas de ocorrência são amplas e dispersas, as fases do ciclo certamente alcançariam maior período de tempo para concluir, uma vez que ainda hoje existem, no Pará e nos demais estados da Amazônia, áreas com castanheiras e seringueiras nativas não exploradas por falta da logística de escoamento da produção, escassez de mão

de obra e do baixo preço pago pelo produto no mercado local. Com efeito, ilustrase, na Figura 4, o ciclo da castanha-do-brasil.

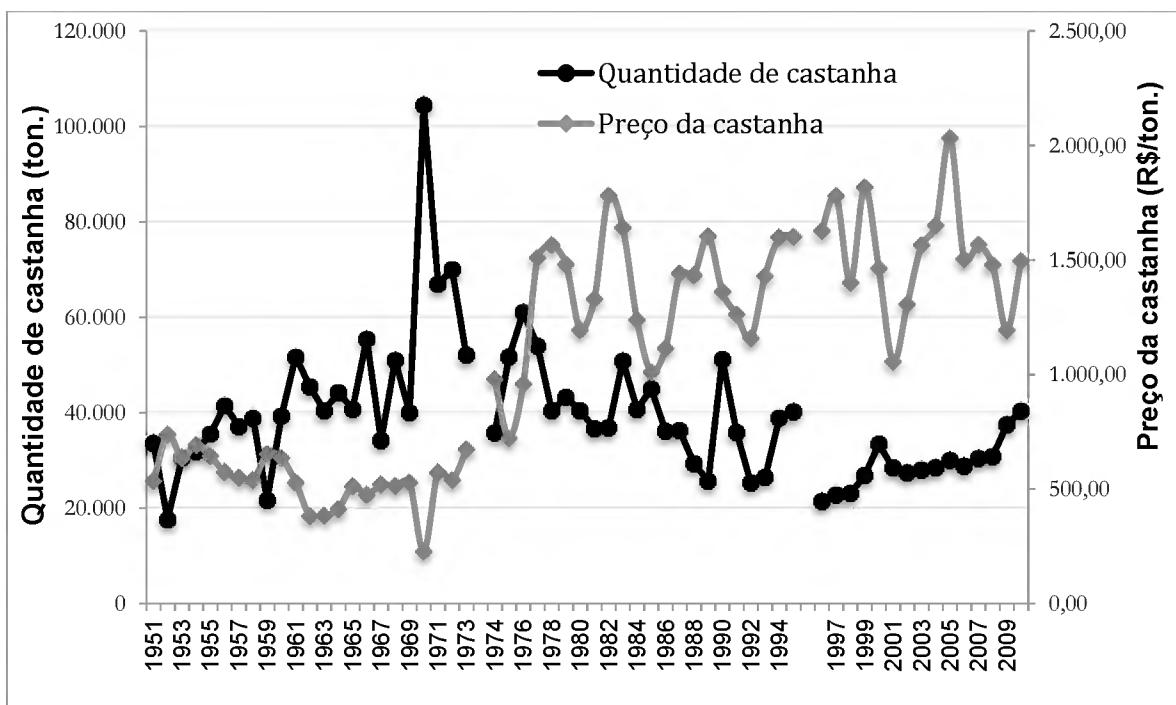
Na Figura 4, o período de 1951 a 1973 representa a evolução da produção de castanha-do-brasil. Nesta fase, os grandes projetos de extração de madeira nas áreas dos castanhais e o desmatamento para a implantação de pasto e de lavoura, inundação da floresta para a produção de energia e a abertura de estradas causaram impactos não significantes sobre a produção da castanha, em função de representar o início do processo de implantação dos planos de desenvolvimento regional (SANTANA et al., 1997).

Nos anos de 1950, com a queda da economia da borracha, a coleta de castanha-do-brasil ganhou força e logo se transformou no principal produto de exportação do estado do Pará. Assim, como alternativa de divisas em substituição à borracha, o extrativismo da coleta de castanha foi estimulado, com apoio financeiro dado aos grandes produtores para ampliar a escala de produção e controlar as grandes áreas de castanhais. A produção aumentou rapidamente até que ganhou expressão os efeitos dos grandes projetos de desenvolvimento regional, em meio a conflitos com produtores familiares e extrativistas, conforme Kitamura e Müller (1984) e Bentes et al. (1988), pelo direito de propriedade das áreas de castanhais e a luta para a criação das reservas extrativistas. Com efeito, o início dos anos de 1970 marca o fim da fase de expansão da coleta de castanha e ganha escala o processo de implantação dos grandes empreendimentos subsidiados justamente nas áreas de castanheiras, com vistas a utilizar a mão de obra dos extrativistas e dos pequenos produtores desses locais.

Ao longo dos anos de 1950, a produção e preços apresentam variações simétricas e com tendência de evolução estável. Nos anos de 1960, o comportamento muda completamente com a produção evoluindo para o patamar mais alto e os preços se mantiveram no nível mais baixo da história.

Ao longo do período, a quantidade de castanha evoluiu a uma taxa geométrica de crescimento de 4,042% ao ano e os preços caíram a uma taxa de -1,488% ao ano. Esta fase revela uma situação de abundância de castanheiras, visto que aos preços médios de R\$ 482,16/ton., a produção evoluiu para o patamar de 44,80 mil ton., entre 1961 e 1969, e depois saltou para 73,40 mil ton., no período de 1970 a 1973.

Na segunda fase, compreendida, entre 1974 e 1995, o comportamento das séries se inverte, com as quantidades caindo até o nível da produção que vigorou nos anos de 1950 e os preços evoluindo para um patamar extremamente elevado e oscilando fortemente. Neste período, os preços evoluíram à uma taxa de 1,436% ao ano e as quantidades caíram a uma taxa de -1,95% ao ano, praticamente, configurando uma situação inversa ao padrão estabelecido na fase inicial.



**Figura 4.** Comportamento histórico das variáveis quantidade e preço da castanha-do-brasil, no período de 1951 a 2010, Amazônia.

Nesta fase, a destruição das castanheiras foi causada pelos efeitos diretos e indiretos da abertura de estradas, do desmatamento para a implantação de projetos agropecuários, assentamentos da reforma agrária, extração madeireira e mineral e produção de energia, combinados com as políticas de crédito rural subsidiado, incentivos fiscais e de regularização fundiária, que tinham como meta viabilizar o crescimento e a integração da Amazônia com as demais regiões do Brasil. Estes fatores desencadearam a depredação dos castanhais, causando um forte movimento de conflitos fundiários envolvendo os produtores da agricultura familiar e os diversos grupos de interesse pela posse e uso das terras dos castanhais, localizados nas proximidades da infraestrutura rodoviária e dos

rios. Tudo isto foi identificado e relatado em vários estudos, entre eles Kitamura e Müller (1984), Bentes et al. (1988), Homma (2000) e Santana e Khan (1992).

O período mais forte da degradação dos castanhais foi consolidado ao final da década de 1980 e a primeira metade dos anos de 1990. A partir desse momento, embora o ataque aos castanhais tenha continuado até meados da década de 2000, a regulamentação das áreas de reservas extrativistas viabilizou a expansão da coleta de castanha em diversos castanhais nativos situados nos estados do Acre, Amapá, Amazonas e Rondônia, utilizando manejo e agregação de valor ao produto por populações tradicionais, cujo impacto contribuiu para reverter a tendência de queda da produção.

Nesta última fase, de 1996 a 2010, a produção continua em queda até atingir o nível de produção que se estabilizou ao longo da década de 2000. Por outro lado, os preços caíram de patamar e passaram a evoluir com marcantes oscilações. No período, as quantidades cresceram a uma taxa de 3,56% ao ano e os preços permaneceram em mesmo patamar médio.

Entre os estudos técnicos sobre a economia, mercado e histórico da destruição das castanheiras, os que se referem a mercado, que são muito reduzidos, pode-se registrar os trabalhos da CFP (1972) e de PAZ (1981) que analisaram a demanda de exportação da castanha-do-brasil e os trabalhos de Rodrigues (1978) e Santana (1991) que estudam o mercado brasileiro e do estado do Pará. Recentemente, Santana (2014) estudou o mercado de castanha e outros produtos florestais não madeireiros da região Oeste do Pará.

Com relação às análises de conjuntura e dos fatos históricos sobre a depredação das castanheiras, citam-se os trabalhos de Kitamura e Müller (1984), Bentes et al. (1988) e Homma (1989 e 2014). No tocante ao custo da destruição dos castanhais, Santana e Khan (1992) estimaram o custo social da depredação das castanheiras. Esta destruição foi causada, fundamentalmente, pelo desmatamento, queimadas, extração de madeira, abertura de estradas e implantação de grandes projetos agropecuários. Por isso, as flutuações de preços e quantidades são fortemente evidenciadas. Concomitantemente, o apoio creditício e de incentivos fiscais às atividades intensivas no uso da terra atraíram novos empreendimentos cuja viabilidade se revelou em função da supressão da floresta para implantar pastos e lavouras. Estas ações, aliadas à inoperância da

regulação fundiária e da baixa eficácia da legislação ambiental, contribuíram fortemente para a destruição dos castanhais.

Finalmente, tem-se que o dano causado a este ativo natural, cujos efeitos estão traduzidos no comportamento das quantidades e preços foram ilustrados na Figura 4, que revelam uma queda vertiginosa da produção. O impacto desta queda de produção deve ser mensurado para revelar o custo das decisões erradas e fundamentar a definição de políticas em apoio à reestruturação da cadeia produtiva da castanha-do-brasil.

#### 4.2 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DO PERÍODO 1951 A 1973

Na Tabela 1, apresentam-se os resultados do modelo de oferta e demanda de castanha-do-brasil para o período de 1951 a 1973, que representa a fase em que os impactos ambientais produzidos pela abertura de estradas, desmatamento para implantação de pastagens e de lavoura e as queimadas são considerados insignificantes.

Nessa fase, o aumento da oferta deve-se ao domínio dos castanhais e de sua exploração em busca da mais valia obtida dos extrativistas pelos agentes econômicos dominantes. Portanto, a primeira metade da década de 1970 pode ser considerada como o auge da produção extrativa de castanha na Amazônia. A partir desse momento, a ampliação dos sistemas de produção agropecuários e de exploração madeireira tornou o extrativismo da castanha-do-brasil relativamente menos competitivo, em função do apoio creditício disponibilizado para outras atividades de interesse, corroborando com o processo de destruição dos castanhais.

O modelo econométrico foi adequadamente especificado para representar o mercado de castanha no período de 1951 a 1973. O vetor de variáveis exógenas e instrumentais foi corretamente definido pelos resultados da estatística *J* de Hansen, com valor próximo de zero e não significativa para o sistema de equações (Tabela 1). Estas variáveis explicaram, respectivamente, 79,35% e 46,00% das variações nas quantidades demandadas e ofertadas de castanha-do-brasil. Os termos de erro não apresentaram problemas de autocorrelação de primeira ordem, conforme a estatística de Durbin-Watson.

**Tabela 1.** Resultados do sistema de equações de oferta e demanda por castanha-do-brasil para a região Norte, período 1951 a 1973.

Variável	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística: t	Probab.	Elasticidade
<b>Demanda: QCBT=C(10)+C(11)*PCBT+C(12)*PIBR+C(13)*Tend</b>					
Constante: C(10)	-10.556,2	7895,224	-1,337036	0,18980	-
Preço castanha: C(11)	-42,36944	12,21918	-3,467454	0,00140	-0,5554
Renda <i>per capita</i> : C(12)	12,50623	0,777081	16,09386	0,00000	1,0765
Tendência: C(13)	56,91664	7,237689	7,863926	0,00000	0,7325
<b>Oferta: QCBT=C(20)+C(21)*PCBT(t-1)+C(22)*PLATEX+C(23)*QCBT(-1)+C(24)*SRURAL</b>					
Constante: C(20)	35.225,55	13544,16	2,600791	0,01350	-
Preço da castanha(t-1): C(21)	51,86548	20,05448	2,586229	0,01400	0,6675
Preço do látex: C(22)	-6,193613	1,692833	-3,658727	0,00080	-0,5216
Salário Rural: C(24)	-944,0846	222,6414	-4,240381	0,00020	-0,5494
Quant. Castanha (-1): C(23)	0,590009	0,095734	6,162995	0,00000	0,4016
<b>Demanda</b>					
R-quadrado	0,793469		Estatística J do sistema	0,29649	
R-quadrado ajustado	0,759047		Estatística Durbin-Watson - d	2,06239	
<b>Oferta</b>					
R-quadrado	0,460014		Estatística J do sistema	0,29649	
R-quadrado ajustado	0,332958		Estatística Durbin-Watson - d	2,18149	

**Fonte:** Dados da pesquisa. Elasticidade:  $\varepsilon = c_{ij} \cdot X_j / Q$ ,  $X_j$  são as médias das variáveis exógenas e  $Q$  é a média da quantidade de castanha-do-brasil. A elasticidade de ajustamento é calculada da seguinte forma:  $\varepsilon = (1 - C_{23}) \cdot Q_{t-1} / Q_b$ ,  $Q_{t-1}$  é a média da produção defasada.

Os coeficientes da equação de demanda apresentaram sinais de acordo com o esperado, e significantes a 1% (Tabela 1). A quantidade demandada apresentou correlação inversa ao comportamento dos preços e positiva com relação às variações da renda. Portanto, incremento de R\$ 1,00 no preço da castanha e na renda do consumidor, respectivamente, tende a diminuir a quantidade demandada em 42,4 ton. no mesmo ano e a incrementar a demanda de 12,5 ton., mantendo constante a influência das demais variáveis. Ou seja, o efeito-renda positivo não neutraliza o impacto do efeito-preço. A variável tendência, por seu turno, indica que a cada ano a demanda de castanha aumentou 56,92 ton. no período.

Com relação à oferta, os resultados também estão coerentes com a teoria e são significativos a pelo menos 1,4%. A quantidade ofertada respondeu diretamente ao preço defasado de um ano. Esse resultado se coaduna com as

boas safras de castanha alternada a cada dois anos, em função de suas características biológicas (KITAMURA; MÜLLER, 1984), conforme evidenciado na Figura 4. Assim, um aumento no preço da castanha de R\$ 1,00 em um ano, a quantidade ofertada tende a aumentar em 51,9 ton. um ano depois, por ocasião da próxima safra. O coeficiente da variável salário rural apresentou correlação negativa com a oferta, indicando que para aumento no salário da mão de obra rural de R\$ 1,00, a oferta tende a diminuir em 944,1 ton., tudo o mais permanecendo constante.

O preço do látex, que também é um produto do extrativismo vegetal na Amazônia, apresentou relação negativa em relação à oferta de castanha, mostrando que aumentos de R\$ 1,00 tende a reduzir a oferta em 6,19 ton. Isto indica, conforme esperado, uma relação de concorrência pelos fatores de produção entre essas atividades.

Por último, o coeficiente de ajustamento da oferta de 0,41 ( $= 1 - 0,59$ ) indica que o aumento de uma tonelada na produção de castanha-do-brasil em um ano, tende a provocar um incremento de 41 kg do ano seguinte.

#### **4.2.1 Elasticidades da demanda e da oferta de castanha: 1951 a 1973**

A magnitude do coeficiente de elasticidade-preço da demanda, por ser menor do que um, em valor absoluto, indica que a demanda de castanha é de natureza inelástica. Portanto, a cada variação de 10% nos preços de mercado da castanha, a quantidade demandada variou -5,55% em sentido contrário, ou seja, a resposta dos consumidores em relação a mudanças no preço foi menos que proporcional. Essa relação de inelasticidade torna os gastos dos consumidores no produto instáveis, pois pequenas alterações nas compras resultam de elevadas mudanças nos preços em sentido contrário, para que a magnitude dos gastos se mantenha constante.

Para a demanda de exportação de castanha-do-brasil, no período de 1960 a 1978, do mercado dos Estados Unidos, Paez (1981) estimou uma elasticidade-preço igual a -0,708 e, para o Reino Unido igual a -0,800, por meio de modelos uniequacionais. Como os produtos exportados apresentam maior qualidade e agregação de valor, a demanda tende a ser mais elástica. Todavia,

esse tipo de modelo não capta todas as informações do mercado, deixando de fora as forças relevantes que influenciam a demanda e, por sua vez, o preço de equilíbrio do mercado. Em consequência, comete-se erro de especificação do modelo estrutural.

O estudo da CFP (1972) também encontrou uma elasticidade-preço de -1,537 para a demanda de exportação, especificada para o período de 1950 a 1970, e Paez (1981) obteve um valor de -1,520 para a demanda de exportação de castanha-do-brasil, destinada ao mercado da Alemanha, que cobre o período de 1960 a 1978. Os estudos apresentam 11 anos em comum, por isso os resultados se mantiveram praticamente iguais.

Com relação ao mercado paraense, Santana e Khan (1992), utilizando um modelo de equações simultâneas para o período de 1969 a 1987, obtiveram uma elasticidade-preço de -2,613 para a demanda por castanha. Este coeficiente superior deve-se à maior variação no comportamento das variáveis no período de 1975 a 1987, que abrange o auge do período de destruição das castanheiras e forte restrição da oferta diante de uma demanda em expansão. Portanto, a elasticidade-preço da demanda nessa primeira fase do ciclo da castanha e início da fase de destruição gerou coeficientes de elasticidade variando de acordo com os mercados consumidores, o período da análise e o modelo utilizado na estimativa da demanda. No entanto, apenas o modelo de Santana e Khan (1992) não apresenta viés de especificação, o que indica a estimativa do real valor.

A elasticidade-renda da demanda de 1,076 indicou que a castanha é um produto enquadrado na categoria de “bem superior”, dado que a variação na demanda segue a mesma direção da alteração na renda e em magnitude mais que proporcional à mudança na renda dos consumidores, mantido os demais fatores constantes. Assim, para variações de 10% na renda dos consumidores, a demanda de castanha tende a variar de 10,76% na mesma direção. Os resultados das elasticidades-preço e renda indicam que para variações iguais e na mesma direção, os efeitos não se contrabalançam, mantendo o desequilíbrio do mercado.

A elasticidade-renda da castanha no mercado internacional, conforme Paez (1981), foi de 1,17 e, para o mercado paraense, Santana e Khan (1992) obtiveram um coeficiente de elasticidade igual a 0,717. Novamente, observa-se

que as elasticidades diferem em função do mercado e do modelo utilizado na estimativa da demanda.

Nessa pesquisa, o coeficiente de elasticidade-preço da oferta de 0,668 foi menor do que um, indicando que a castanha é um produto de oferta inelástica. O resultado indicou que um incremento de 10% na quantidade ofertada só seria efetivado se os preços aumentassem 14,97%, tudo o mais mantido constante. Com efeito, a receita do extrativista tornou-se bastante instável à mudança da safra, pois um incremento substancial na quantidade comercializada tende a tornar o valor da produção significativamente mais baixo e inviabilizar a atividade extrativista. A evidência dessa característica, aliada à inoperância da política pública em defesa dessa atividade, contribuiu fortemente para a substituição da venda da produção de castanha pela venda de toras de madeira da castanheira, assim como da substituição das áreas de castanhais por área de pastagem para pecuária extensiva. Isto tudo ocorreu por falta de uma política de garantia de renda dos extrativistas.

Nesse período, apenas Rodrigues (1978) estimou uma equação de oferta individual para castanha no mercado brasileiro. O coeficiente de elasticidade obtido foi de 0,297, porém não apresentou significância estatística a 10%.

A elasticidade-custo de -0,549 indicou relativa sensibilidade da oferta de castanha aos incrementos no valor do salário rural, dado que a oferta tende a diminuir de -5,49% em resposta a incrementos de 10% no valor do salário pago às pessoas que trabalham na atividade rural. A concorrência com outras atividades por mão de obra, juntamente com a possibilidade de aumento do salário, tende reduzir a oferta de castanha-do-brasil, sobretudo se o aumento da procura coincidir com a época de colheita da castanha.

A elasticidade de ajustamento de 0,4016 indica que a cada variação de 10% na produção de castanha de um ano, a safra do ano seguinte tende a aumentar em 4,01%, *ceteris paribus*. Este resultado sinaliza que a estabilidade da produção, *per si*, induz a um crescimento vegetativo em busca do equilíbrio em longo prazo.

#### 4.3 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DO PERÍODO 1990 A 2010

O modelo de oferta e demanda do período 1990 a 2010 foi especificado de forma adequada para explicar o comportamento do mercado da castanha-do-brasil. A estatística  $J$  de Hansen para o sistema indicou a aceitação da hipótese de que o vetor de variáveis exógenas e instrumentais é ortogonal aos erros, indicando que a especificação do modelo está correta. Também não há problema de autocorrelação de primeira ordem nos termos de erro, conforme a estatística de Durbin-Watson.

As variáveis incluídas nas equações de demanda e oferta explicaram 66,99% e 39,76%, respectivamente, das variações nas quantidades demandadas e ofertadas do modelo. Não há problemas de multicolinearidade entre as variáveis exógenas, pois o valor médio do fator de variância inflacionaria foi de  $FVI = 2,19$  (COSTA; SANTANA, 2015).

Os resultados estão de acordo com o esperado teoricamente e são estatisticamente significantes a 1% (Tabela 2). A quantidade demandada apresentou correlação inversa aos preços, assim como o coeficiente associado à variável renda foi positivo. Portanto, os coeficientes associados às variáveis preço, renda e preço da castanha de caju indicam, respectivamente, que a quantidade demandada tende a diminuir em 3,86 ton. em resposta ao aumento unitário no preço, e a demanda tende a aumentar 3,23 ton. em resposta à mudança unitária na renda e a diminuir 2,96 ton. em resposta ao incremento no preço da castanha de caju.

Quanto à variável *dummy*, o consumo da castanha no período de 1996 a 2006 foi abaixo da média do período anterior a 1996 em 14.838,6 ton., caracterizando o auge da destruição das castanheiras.

Com relação à oferta, os resultados estão de acordo com a teoria e apresentaram significância estatística a 1% (Tabela 2). Portanto, tem-se que a quantidade ofertada de castanha-do-brasil é influenciada por variações do preço. Com efeito, a variável preço do látex está negativamente correlacionada com a oferta de castanha e, por outro lado, a variável preço da terra de mata apresentou correlação positiva com a oferta de castanha-do-brasil. Assim, em resposta a incrementos unitários na variável preço do látex, a oferta tende a diminuir em 4,34

ton. Em contrapartida, para aumento unitário (R\$ 1,00) nos preços da terra de mata, a oferta de castanha tende a aumentar em 12,98 ton.

**Tabela 2.** Resultados do sistema de equações de oferta e demanda de castanha-do-brasil para a região Norte, período 1990 a 2010.

Variável	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística -t	Probab.	Elasticidade
<b>Demanda: QCBT=C(10)+C(11)*PCBT+C(12)*RENDAM+C(13)*PCAJU+C(14)*VD</b>					
Constante: C(10)	27.966,08	2.388,514	11,70857	0.0000	-
Preço castanha: C(11)	-3,864174	0,772386	-5,002908	0.0000	-0,2221
Renda <i>per capita</i> : C(12)	3,231122	0,214540	15,06069	0.0000	0,8191
Preço castanha caju: C(13)	-2,960086	0,400657	-7,388072	0.0000	-0,1479
Variável <i>dummy</i> : C(14)	-14.838,63	1.244,111	-11,92709	0.0000	-0,4938
<b>Oferta: C(20)+C(21)*PCBT(-1)+C(22)*PLATEX+C(23)*PTMATA+C(24)*QCBT(-1)</b>					
Constante: C(20)	6.574,916	2.063,792	3,185.843	0.0034	-
Preço castanha(t-1): C(21)	4,810944	0,810761	5,933863	0.0000	0,2697
Preço do látex: C(22)	-4,345678	1,467340	-2,961604	0.0059	-0,2435
Preço terra mata: C(23)	12,98740	2,290631	5,669793	0.0000	0,2031
Quantidade de Castanha(t-1): C(24)	0,560406	0,063188	8,868857	0.0000	0,4534
<b>Demanda</b>					
R-quadrado	0,669908		Estatística J do sistema	0,302403	
R-quadrado ajustado	0,581883		Estatística Durbin-Watson - d	1,226846	
<b>Oferta</b>					
R-quadrado	0,397571		Estatística J do sistema	0,302403	
R-quadrado ajustado	0,236924		Estatística Durbin-Watson - d	1,968763	

**Fonte:** Dados da pesquisa. Elasticidade:  $\varepsilon = c_{jj} \cdot X_j / Q$ ,  $X_j$  são as médias das variáveis exógenas e  $Q$  é a média da quantidade de castanha-do-brasil. A elasticidade de ajustamento é calculada da seguinte forma:  $\varepsilon = (1 - C_{24}) \cdot Q_{t-1} / Q_b$ ,  $Q_{t-1}$  é a média da produção defasada.

O coeficiente da quantidade defasada de castanha foi positivo e menor do que 1, indicando que uma boa safra de castanha em um dado ano tende a influenciar positivamente a safra do ano seguinte.

#### 4.3.1 Elasticidades da demanda e da oferta: 1990 a 2010

A elasticidade-preço da demanda da castanha-do-brasil de -0,222, com valor menor do que a unidade em termos absolutos, indicando que em resposta a incrementos de 10% nos preços a quantidade demandada do produto tende a variar em sentido contrário -2,22%, *ceteris paribus*. Essa magnitude de resposta demonstra que a castanha-do-brasil é um produto de demanda inelástica a preço.

Nota-se que a demanda tornou-se mais inelástica do que a demanda estimada para a fase inicial do ciclo da castanha-do-brasil.

Com relação à elasticidade-renda, a castanha-do-brasil de 0,819 pode ser classificada como produto essencial, ou “bem normal” para os consumidores. No período estudado, em resposta a incrementos de 10% na renda do consumidor, a demanda deslocou-se em 8,19%. Esse resultado é de grande importância na dinâmica do consumo, pois as políticas de aumento e distribuição da renda tendem a incrementar a demanda a taxas crescentes e, por consequência, pressionar o preço de equilíbrio do mercado.

A elasticidade cruzada da demanda de castanha-do-brasil em relação à castanha de caju, produto tido como substituto, em função de pertencer à mesma categoria de nozes, revelou que esses produtos são complementares no consumo. A relação de complementaridade é fraca, pois a cada incremento de 10% no preço da castanha de caju, a demanda de castanha-do-brasil se retraiu de -1,48%, em média. Este fato deve-se à nova dinâmica do consumo, em que as nozes são compradas em conjunto para assegurar diversidade de produtos para o consumo diário ou sazonal das famílias e, principalmente, pelas casas de comércio e de produtos alimentares que adquirem uma cesta de nozes para atender aos consumidores. No período de 1969 a 1987, Santana e Khan (1992) encontraram uma elasticidade cruzada da ordem de 0,029, indicando que tais produtos se revelaram como substitutos fracos, dado que a relação de maior substitutibilidade da castanha de caju seria com a castanha-do-brasil sem casca.

No período mais recente, de 1988 a 2001, Moreira (2004) estimou um modelo logarítmico de demanda e oferta para a média de produção dos estados do Acre, Amazonas e Pará, e encontrou os coeficientes de elasticidade-preço e elasticidade-renda da demanda, respectivamente, da ordem de -0,851 e -0,741. Porém, ambos os coeficientes não foram estatisticamente significativos, além de a elasticidade renda ser negativa. No caso da oferta, a elasticidade-preço foi de 0,208, porém a estimativa não apresentou significância estatística. Naturalmente, tais resultados não são válidos em função de problemas de manipulação inadequada dos dados e erros econôméticos no que tange à especificação e estimação dos parâmetros do modelo.

Por sua vez, Santana (2013) encontrou uma elasticidade-preço de -0,611 e elasticidade renda da castanha de 1,085 para a região do Oeste do Pará (transamazônica e BR-163), no período de 1999 a 2011. Estes coeficientes são mais elásticos do que os obtidos para a região Norte, em função do período e do local específico da pesquisa. Também estimou uma elasticidade cruzada com o açaí de -0,292, que caracteriza os produtos como complementares.

Com relação à oferta, tem-se que a castanha-do-brasil apresentou elasticidade-preço igual a 0,269, indicando que para variações de 10% no preço da castanha, a quantidade ofertada tende a aumentar em 2,7%. Esse resultado confirma a hipótese de que a castanha-do-brasil tornou-se mais inelástica em relação ao período inicial, dado que o extrativismo está chegando ao limite da capacidade produtiva dos castanhais, cuja produção de castanha varia muito pouco em resposta aos preços de mercado, conforme propuseram Costanza et al. (1997), El Serafy (1998) e Farber et al. (2002). Portanto, na Amazônia, não há como incrementar a produção sem melhorar o manejo das reservas de castanhais e/ou como viabilizar plantios comerciais com a espécie. Assim, o preço de equilíbrio do mercado torna-se fortemente determinado pela demanda. Como a demanda é sensível a variações na renda do consumidor, essa variável terá peso preponderante na dinâmica de ajustamento do mercado. Ou seja, é fundamental integrar as políticas de transferência de renda para as populações tradicionais com as políticas que fazem operar o mercado institucional.

No Oeste do Pará, Santana (2013) obteve um coeficiente de elasticidade-preço da oferta de castanha de 0,692. Nesta região, existem muitas castanheiras nas reservas e nos assentamentos, de modo que a resposta é rápida diante de incremento no preço.

A elasticidade cruzada da oferta de castanha-do-brasil em relação ao látex (Tabela 2) revelou que os produtos são concorrentes em relação ao uso dos fatores de produção, sobretudo mão de obra e terra, porque ambas as atividades desenvolvidas em reservas extrativistas, ou combinadas com lavoura plantada, necessitam de terra e, principalmente, da mão de obra das populações tradicionais da Amazônia. Neste caso, em resposta a incremento no preço do látex de 10%, a oferta de castanha retraiu-se em -2,43%, os demais fatores

permanecendo constantes. Observa-se que em muitas reservas coexistem os dois produtos influenciando a alocação de mão de obra.

Portanto, a coleta de castanha é intensiva em mão de obra, mas sua produtividade é baixa, o que torna a atividade fortemente dependente deste fator de produção. No estado do Pará, Santana e Khan (1992) encontraram uma relação cruzada de -1,568, portanto, bem mais forte dadas as circunstâncias em que tais atividades eram exploradas ao longo das décadas de 1970 e 1980, com os planos de uso da terra sendo definidos em um mundo ainda sem o controle ambiental e cujas mudanças passaram a ser mais efetivas nas décadas subsequentes.

A elasticidade cruzada entre a oferta de castanha-do-brasil e o preço da área de mata apresentou uma relação de produção conjunta, de modo que, em resposta ao aumento de 10% no preço da área de terra de mata, a oferta de castanha tende a incrementar 2,03% (Tabela 2). Este resultado está coerente com a economia do extrativismo da castanha, cuja produção depende totalmente da preservação da floresta, que abriga os animais que disseminam as sementes, os insetos que polinizam as flores e mantêm as condições ambientais para o desenvolvimento sustentável da atividade. A castanheira produz madeira e castanha, portanto, o aumento no preço da floresta valoriza a castanheira como árvore e, por conseguinte, contribui para preservar a floresta, dado que aumenta o valor do capital florestal das áreas de reserva.

Por fim, tem-se que um aumento no preço da terra de mata limita a utilização do recurso para as atividades concorrentes do extrativismo e possibilita uma nova combinação de racionalidade no uso de fatores em que menos área de mata é utilizada. A elevação do preço da terra de mata no estado do Pará, conforme Santana (2014), Santana et al. (2014) e Santana et al. (2015), tem como uma das causas o marco que regula o uso da terra e dos recursos florestais, por meio da aplicação da legislação ambiental e punição de infratores.

A elasticidade de ajustamento da oferta de 0,4534 demonstra que o incremento da oferta de 10% em um determinado ano, tende a produzir aumento de 4,53% no ano seguinte, *ceteris paribus*. Este resultado indica que a oferta em longo prazo seja mais elástica e da ordem de 0,614. Porém, isto só tende a ocorrer em caso de reestruturação da cadeia produtiva em combinação com o

plantio comercial da castanheira. Caso contrário, a oferta tende a tornar-se cada vez mais inelástica com o passar do tempo.

#### 4.4 BENEFÍCIO SOCIOAMBIENTAL DA CASTANHA-DO-BRASIL

Nessa seção, apresenta-se a análise sobre o benefício socioambiental total do extrativismo da castanha-do-brasil nos períodos que atingiu o máximo de produção e na fase em que a produção caiu ao limite mínimo. Da diferença entre esses resultados, obtém-se o valor do custo socioambiental total da depredação dos castanhais.

##### 4.4.1 Benefício médio do período de 1951 a 1973

Para expressar as quantidades demandadas e ofertadas de castanha-do-brasil em função dos preços, substituem-se os valores médios das variáveis exógenas em cada equação e soma-se o resultado ao intercepto. Dessa forma, é possível aplicar as integrais aos intervalos definidos pela faixa de preços entre zero e R\$ 2.075,32 e calcular os benefícios socioeconômicos e ambientais do produtor e do consumidor para o período de 1951 a 1973.

$$\text{Demanda: } QCBd_t = 87.930,35 - 43,37 PCB_t$$

$$\text{Oferta: } QCBot = 14.138,04 + 51,87 PCB_t$$

$$\text{Equilíbrio: } QCBe = 54.752,21 \text{ ton.}; PCB_e = R\$ 783,07/\text{ton.}$$

A área delimitada pela oferta e a esquerda do preço de equilíbrio define o excedente socioeconômico e ambiental do produtor (BSAP) e a área situada abaixo da demanda e a direita do preço de equilíbrio representa o benefício socioeconômico e ambiental do consumidor (BSAC).

O benefício socioambiental da produção e comercialização da castanha-do-brasil, no período de 1951 a 1973, foi obtido somando-se o excedente do produtor com o excedente do consumidor. O valor monetário desse benefício resultou da soma da integral da equação de oferta, definida no intervalo de preço entre zero e R\$ 783,07/ton., que representa o benefício socioambiental do produtor, com o benefício socioambiental do consumidor dado pela integral da

equação de demanda, definida entre o preço de equilíbrio R\$ 783,07/ton. e o preço R\$ 2.075,32/ton., que torna a demanda igual a zero. Essa faixa de preços representa os limites de preço máximo, preço “justo” ou de equilíbrio e o preço zero que não é esperado pelos consumidores para maximizar suas funções de utilidades, adotando-se os critérios de racionalidade nos planos de compra e venda da castanha-do-brasil da Amazônia.

Desse modo, o benefício socioeconômico ambiental total da castanha-do-brasil (BSATC) antes da depredação é a soma do BSAP com o BSAC. O resultado foi obtido da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 BSATC_t &= BSAP_t + BSAC_t \\
 &= \int_0^{783,07} (14.138,04 + 51,87PCB)dPCB + \int_{783,07}^{2.075,32} (87.930,35 - 42,37PCB)dPCB \\
 BSATC_t &= (14.138,04 PCB + 25,935 PCB^2)_0^{783,07} + (87.930,35 PCB - 21,185 PCB^2)_{783,07}^{2.075,32} \\
 BSATC_t &= 26.974.381,32 + 35.375.806,18 = R\$ 62.350.187,50/\text{ano}.
 \end{aligned}$$

O valor BSAP foi de R\$ 26,97 milhões por ano e BSAC de R\$ 35,38 milhões por ano. Assim, o benefício socioeconômico e ambiental total gerado pela extração e comercialização da castanha-do-brasil foi de R\$ 62,35 milhões por ano. Desse total, cerca de 43,26% ficou com os extrativistas e a parcela de 56,74% foi apropriada pelos consumidores de castanha. Portanto, a maior parcela do benefício gerado pelo extrativismo da castanha-do-brasil foi apropriada pelos consumidores. Isto revela a importância deste ativo natural para o bem-estar da sociedade e que foi ignorado pelos tomadores de decisão.

#### 4.4.2 Benefício médio do período de 1990 a 2010

Utilizando-se o mesmo critério aplicado ao período inicial, obteve-se o resultado expresso nas equações seguintes.

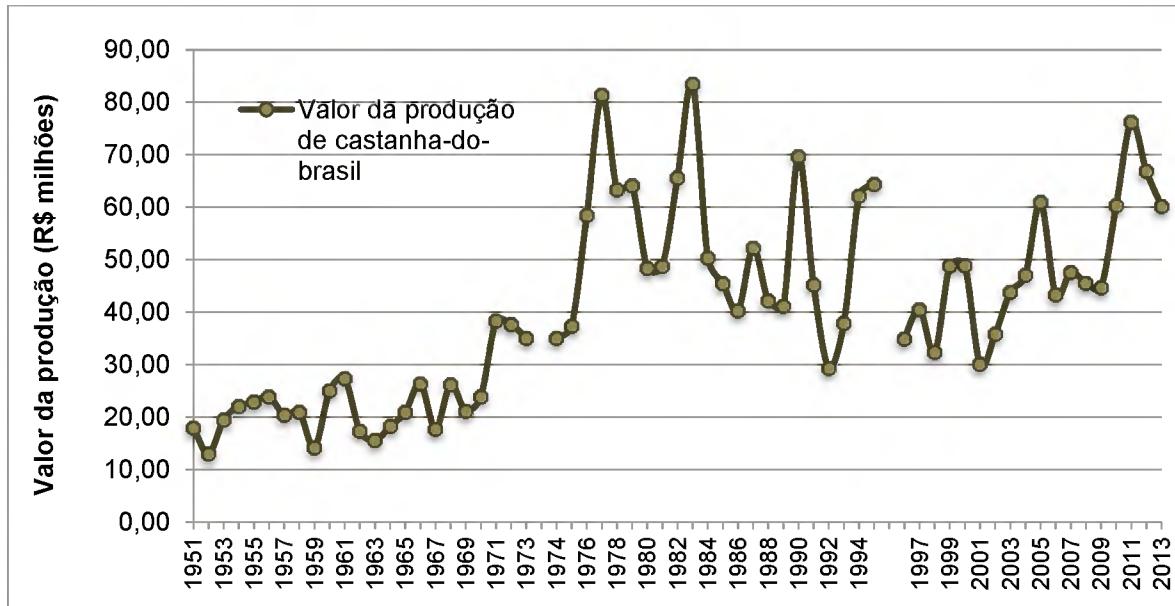
Demand:  $QCBd_t = 33.298,98 - 3,86 PCB_t$

Offer:  $QCBot = 22.729,73 + 4,81 PCB_t$

Equilibrium:  $QCB_e = 28.591,10 \text{ ton.}; PCB_e = R\$ 1.218,34/\text{ton.}$

Estes resultados permitem mostrar que a situação de equilíbrio ocorreu com a quantidade de 28,6 mil ton. de castanha transacionada no mercado regional, cerca de 52,2% da quantidade de equilíbrio do período 1951/73. Por sua vez, o preço de equilíbrio da castanha foi de R\$ 1.218,34/ton., cerca de 55,59% superior ao preço de equilíbrio do período 1951/73. Como a oferta tornou-se mais inelástica, evidenciado pela redução do coeficiente de elasticidade de  $|-0,55|$  para  $|-0,22|$ , essa mudança nos preços e nas quantidades, certamente aumentou a instabilidade do valor da produção da castanha e, por sua vez, da renda dos extrativistas, resultando em perda líquida do bem-estar social.

No gráfico da Figura 5, visualiza-se o aumento da instabilidade do valor da produção da castanha-do-brasil a partir da depredação das castanheiras. Portanto, além de eliminar parte do ativo e empobrecer a reserva extrativista, cria-se um ambiente de instabilidade muito forte para os extrativistas, cujas condições de sobrevivência são afetadas ao extremo, o que deixa a população ainda mais vulnerável e susceptível aos interesses econômicos.



**Figura 5.** Comportamento histórico do valor da produção ao longo das fases do ciclo da castanha-do-brasil da Amazônia, 1951 a 2013.

Tudo isto ocorre por causa da destruição dos castanhais. Assim, para manter a sustentabilidade das reservas é necessária uma política de garantia da renda dos extrativistas, que pode ser obtida com a integração dos instrumentos

de regulação do mercado institucional com as políticas de transferência de renda para as populações tradicionais, como forma de compensar a perda de bem-estar social.

A seguir, apresentam-se os resultados dos cálculos dos benefícios do extrativismo da castanha-do-brasil.

A área delimitada pela oferta e o preço de equilíbrio define o excedente do produtor ou benefício socioeconômico e ambiental do produtor e a área situada abaixo da demanda e a direita do preço de equilíbrio representa o excedente do consumidor ou o benefício socioeconômico e ambiental do consumidor.

O BSAP para o período de 1990 a 2010, é dado pela integral definida entre os valores do preço igual a zero e do equilíbrio do mercado R\$ 1.218,34, mais a integral da demanda entre o preço de equilíbrio e o preço que torna essa demanda igual à demanda do período 1951/73, de R\$ 1.418,80 e a integral da demanda de 1951/73 entre os valores do preço de R\$ 1.418,80 e o preço que torna a quantidade demandada igual a zero R\$ 2.075,32. Desta forma, obtém-se o benefício socioambiental total que a castanha-do-brasil gerou para a população, constituída por extrativistas e consumidores. O resultado foi obtido da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 BSATC_t &= BSAP_t + BSAC_t \\
 &= \int_0^{1.218,34} (22.729,73 + 4,81 PCB) dPCB + \int_{1.218,34}^{1.418,80} (33.298,98 - 3,86 PCB) dPCB \\
 &\quad + \int_{1.418,80}^{2.075,32} (87.930,35 - 42,37 PCB) dPCB \\
 BSATC_t &= (22.729,73 PCB + 2,405 PCB^2) + (33.298,98 PCB - 1,915 PCB^2)_{1.218,34}^{1.418,80} \\
 &\quad + (87.930,35 PCB - 21,185 PCB^2)_{1.418,80}^{2.075,32} = \\
 &= R\$ 31.262.406,66 + R\$ 5.662.765,85 + R\$ 9.130.497,93 = R\$ 46.055.670,45/ano
 \end{aligned}$$

O BSAP é de R\$ 31,26 milhões e o BSAC de R\$ 14,79 milhões. Portanto, o valor médio anual do benefício socioeconômico e ambiental total, gerado pela produção e comercialização da castanha-do-brasil ao longo das décadas de 1990

a 2010, foi de R\$ 46,05 milhões por ano. Desse total, uma parcela de 67,88% foi apropriada pelos extrativistas e os 32,12% restantes beneficiaram os agentes consumidores de castanha.

#### 4.5 CUSTO SOCIOAMBIENTAL DA DESTRUIÇÃO DAS CASTANHEIRAS

A diferença entre o valor do benefício socioeconômico e ambiental total gerado na situação com o impacto máximo da destruição dos castanhais (período de 1990 a 2010) e o gerado na fase inicial do ciclo do extrativismo da castanha (período 1951 a 1973), em que tal impacto foi insignificante, resultou no custo socioambiental total da diminuição da produção de castanha-do-brasil (CSADC) na Amazônia. O cálculo foi realizado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{CSADC}_t &= \text{BSATC}_{ct} - \text{BSATC}_{st} = 46.055.670,45 - 62.350.187,50 \\ &= - R\$ 16.294.517,05/ano \end{aligned}$$

Os resultados indicam que o custo socioambiental médio da depredação dos castanhais na Amazônia foi de – R\$ 16,29 milhões por ano. Esse resultado explica o impacto socioeconômico e ambiental causado pelo processo de transformação da área dos castanhais em área de pastagens e de lavoura, derrubada das castanheiras para a venda de madeira em tora para as serrarias e para a fabricação de carvão.

Este resultado revelou a magnitude da perda líquida de benefício, ou de bem-estar, dos extrativistas e dos consumidores de castanha-do-brasil. Em economia, este valor é denominado de peso morto ou perda líquida do excedente econômico total por parte da sociedade. Assim, tanto os extrativistas que continuaram na área coletando uma quantidade menor quanto os que saíram do mercado perderam bem-estar. Da mesma forma, os consumidores que reduziriam o consumo e os que saíram do mercado por causa do aumento de preço tiveram perda líquida da qualidade de vida.

Como a produção da castanha é comercializada nos mercados regional, nacional e internacional, assim como os serviços ecossistêmicos de regulação do ambiente, especificamente, dos gases de efeito estufa que atingem o Globo,

pode-se afirmar que a perda de qualidade de vida atinge toda a população mundial.

O custo médio da depredação estimado por Angelo et al. (2013) entre 1998 e 2008 foi de R\$ 11.598,94 milhões para a soma dos estados do Acre, Amazonas e Pará, o que reflete uma diferença de valor. Isto pode ter ocorrido por várias razões. A primeira é que o período de tempo é diferente. Porém os aspectos técnicos envolvendo a deficiência do método utilizado para calcular o coeficiente de deslocamento, ao assumir que a oferta é especificada na forma linear e os coeficientes de elasticidade-preço da demanda e da oferta não são estatisticamente significativos. Este é o principal viés do trabalho, pois os coeficientes não apresentaram significância estatística. Ou seja, tanto a demanda quanto a oferta seriam perfeitamente inelástica, impossibilitando a aplicação do método. Mesmo assim o estudo evidenciou uma perda real do benefício com a destruição das reservas de castanheiras da Amazônia.

O modelo utilizado por Angelo et al. (2013) exige que a elasticidade da oferta seja diferente de zero. No caso específico, a elasticidade-preço estimada não foi estatisticamente significativa (probabilidade = 0,520), logo, se o modelo econômico estivesse corretamente especificado e utilizado o método de estimação adequado, a oferta seria considerada perfeitamente inelástica. A elasticidade-preço da demanda também não foi significativa (probabilidade = 0,144). Portanto, esses resultados foram utilizados de forma equivocada para a realidade da economia do extrativismo da castanha-do-brasil na Amazônia. Apesar deste absurdo, o manuscrito foi publicado, o que desqualifica a equipe de editores e, por sua vez, a credibilidade da revista por não se proteger deste tipo de problema. Ou seja, deve-se fazer um esforço para aumentar o grau de conhecimento interdisciplinar de editores e/ou revisores de revistas classificadas pela CAPES, de modo a evitar erros graves nos artigos publicados.

Pelos resultados desta tese, observa-se que tanto a oferta quanto a demanda se deslocaram com a depredação, o que gerou um montante de custo superior ao que seria estimado, assumindo-se a demanda inalterada diante das externalidades negativas geradas pelos impactos ambientais. Como cada situação da análise pode se tornar um caso específico, o valor real do benefício e

do custo socioambiental deve ser mensurado com a metodologia proposta nesta tese.

Isto é possível porque as reservas de castanheiras nos estados do Acre, Amapá, Amazonas e Rondônia adotaram medidas de proteção e manejo da reserva e organizaram os produtores para beneficiar a castanha. Esta ação contribuiu para que a produção de castanha se recuperasse a partir de 1997, enquanto que no estado do Pará essa reversão ocorreu a partir de 2007.

#### **4.5.1 Perda líquida de bem-estar social**

Como a castanheira é um ativo natural milenar, seu fluxo de produção é infinito, logo, é importante que seja determinado o valor total dos benefícios que devem fazer parte da contabilidade regional como forma de demonstrar a importância relativa dos castanhais para a economia da Amazônia. Ao mesmo tempo, apresentar a magnitude da perda do bem-estar social resultante da destruição das áreas de reserva da castanheira-do-brasil.

O valor da perda líquida de bem-estar social causado pela queda na produção de castanha em função da destruição do ativo natural das castanheiras, considerando o fluxo perpétuo de benefícios, é dado por:

$$VPCOMP_t = \frac{CSADC_t}{r} = \frac{BSATC_{ct} - BSATC_{st}}{r} = \frac{(46.055.670,45 - 62.350.187,50)}{0,04} \\ = \frac{-16.294.517,05}{0,04} = -R\$407.362.926,25$$

Assim, o valor do benefício do período 1951/73 foi de R\$ 1.558,75 milhões e no período de 1990/10 foi de R\$ 1.151,39 milhões, cuja diferença entre tais valores gerou a perda líquida de R\$ 407,36 milhões. O benefício do período 1990/10 representa 0,7718% do produto interno bruto da agropecuária regional. A participação do custo no PIB agropecuário da região Norte foi de 0,254%, em valores de 2010.

Apenas para referência sobre a magnitude da importância desta perda, tem-se que o custo da destruição das castanheiras na Amazônia, equivale ao montante planejado para a consolidação da Universidade Federal Rural da Amazônia, a ser concretizado em 2024, com 126 cursos de graduação, 36 cursos

de pós-graduação, 1.676 professores, 636 técnicos, 28.796 alunos de graduação e 1.225 alunos de pós-graduação (SANTANA, 2015).

Este valor representa o custo das decisões equivocadas, tomadas com base em políticas públicas que não consideraram o valor monetário dos serviços ecossistêmicos gerados pelos ativos naturais e, sobretudo, a sua contribuição para o bem-estar da sociedade. Em função disso, tal valor deve ser utilizado em benefício da sociedade para apoiar projetos que assegurem um fluxo de produção sustentável das reservas extrativistas de castanheiras na Amazônia. Portanto, atende-se a hipótese de que a compensação pelos danos socioambientais causados pela destruição das castanheiras pode contribuir para a evolução de uma trajetória de desenvolvimento local sustentável.

Por fim, além de estimar o custo socioeconômico e ambiental da destruição das reservas de castanheiras, em novas bases metodológicas, os resultados da tese fundamentam a preocupação e fatos evidenciados em algumas pesquisas que revelaram grande parte dos problemas causados pelo desmatamento na Amazônia. Entre estes estudos, Santana (2002), Santana (2012), Fearnside *et al.* (2013) e Daniel *et al.* (2014) relacionam o desmatamento aos projetos agropecuários, assentamentos da reforma agrária, abertura de estradas e a inundação de grandes áreas de floresta pela implantação de hidrelétricas. Adicionalmente, os resultados da tese robustecem o trabalho de Santana *et al.* (2012), ao demonstrar que a extração manejada de madeira, mesmo sem incorporar os efeitos sociais e ambientais, supera o retorno da pecuária extensiva e da produção de grãos na Amazônia.

Por fim, os resultados da tese contribuem para consolidar a metodologia de análise benefício-custo aplicada na valoração de ativos naturais, ao adicionar a dimensão social, ou excedente do consumidor, ao excedente do produtor no cálculo do valor presente líquido social e na taxa de retorno social.

Este novo conhecimento é fundamental para as atividades extrativistas da Amazônia, que são conduzidas por grupos sociais vulneráveis das comunidades de quilombolas, indígenas e ribeirinhos e, portanto, a não inclusão da dimensão social gera viés no valor dos ativos naturais e do bem-estar das populações de extrativistas e consumidores dos produtos florestais não madeireiros.

## 5 CONCLUSÕES

Comprovou-se que a abertura e expansão da malha rodoviária e dos projetos agropecuários por dentro e no entorno das áreas de castanhais nativos contribuiu para a destruição dos castanhais, ao mesmo tempo em que os incrementos dos preços das áreas de matas contribuíram para reduzir sua destruição e, por sua vez, aumentar a oferta de castanha. Essa conclusão é fundamental para orientar o desenho de políticas públicas envolvendo os sistemas de uso sustentável das áreas de florestas protegidas da Amazônia.

O consumo de castanha-do-brasil na região Norte, no período de 1996 a 2006, caiu 14,84 mil ton. em função da destruição dos castanhais.

Confirmou-se que a oferta de castanha-do-brasil segue caminho inverso ao traçado pelos produtos da agropecuária, uma vez que, no início do ciclo, a oferta foi de 0,6675 e, na fase final do ciclo, apresentou um coeficiente de elasticidade de 0,2697. Portanto, tornou-se fortemente inelástica com o esgotamento desse ativo natural.

O extrativismo da castanha-do-brasil, mesmo diante de sua importância socioeconômica de gerar ocupação de mão de obra e renda para 25 mil famílias e ambiental de contribuir para a dinâmica e diversidade da flora e da fauna, bem como da regulação do clima, está com sua sustentabilidade ameaçada, sobretudo pela significância das conclusões apresentadas em seguida.

A demanda de castanha-do-brasil por tornar-se mais inelástica a preço e a renda no período analisado, aumentou a instabilidade do consumo da castanha na Amazônia.

A inelasticidade-preço da oferta e da demanda, causada pela destruição das castanheiras, tornou a renda dos extrativistas fortemente instável a partir de meados dos anos de 1970.

A castanha-do-brasil apresentou relação de concorrência com o látex, no que tange ao uso dos fatores trabalho e capital, e de associação complementar com a área de mata, dado que a interação sistêmica das castanheiras na floresta contribui para aumentar o valor do capital natural.

Os benefícios socioeconômicos médios caíram de R\$ 62,35 milhões para R\$ 46,06 milhões em função da diminuição da produção da castanha-do-brasil no período analisado. Esta perda da economia do extrativismo da castanha tornou sua participação no PIB agropecuário da região Norte 26,5% menor.

Os custos socioeconômicos médios ou perda líquida de bem-estar social, causados pela depredação dos castanhais da Amazônia, foram de R\$ 16,29 milhões por ano, no período de 1990 a 2010, e ainda não houve compensação desse passivo socioambiental. Esse fato representa o efeito da estratégia de um crescimento econômico que foi adotado sem considerar os danos à preservação dos ativos naturais e a formação de capital humano e capital social nas reservas extrativistas da Amazônia.

O valor da compensação pelos danos socioambientais a ser pago aos extrativistas da castanha na Amazônia seria de R\$ 407,36 milhões, apenas pela diminuição do fluxo de produção da castanha-do-brasil.

A concepção de crescimento com distribuição de renda e mitigação de impactos ambientais adotados para o Brasil e, especialmente, para a Amazônia, no que tange à gestão de reservas extrativistas e assentamentos rurais, os projetos de investimento em grande escala devem, obrigatoriamente, compensar os danos causados à sociedade e ao meio ambiente, como forma de regular a trajetória do desenvolvimento local.

## 6 LIMITAÇÕES

Embora a análise desenvolvida nesta tese tenha avançado em termos teóricos e metodológicos, a avaliação se limitou à valoração da dimensão que envolve o suprimento do produto castanha-do-brasil, por apresentar valor de mercado e dispor das estatísticas necessárias à realização do trabalho.

A principal limitação da tese e que remete a novos estudos, dada a importância do conhecimento sobre o valor econômico total dos ativos naturais para a sua incorporação nas contabilidades regional e nacional, foi a impossibilidade de contemplar a valoração de todos os serviços ecossistêmicos das reservas de castanheiras, exatamente por não apresentarem valor de mercado e exigir pesquisa de campo para gerar informações primárias sobre os serviços ecossistêmicos produzidos pelos castanhais.

A tese limitou-se à valoração do serviço de provisão das castanheiras, necessitando que os demais serviços sejam valorados com a aplicação o método integrado da avaliação contingente, para que se conheça o valor econômico total da reserva extrativista e orientar sua trajetória de desenvolvimento.

A escassez de estatísticas sistematizadas sobre as variáveis preço e quantidade dos produtos florestais não madeireiros e as variáveis ambientais que absorvem os efeitos das externalidades das políticas públicas implementadas na região amazônica, representa uma forte limitação para a realização de estudos de valoração e, sobretudo, limita a aplicação de modelos matemáticos, estatísticos e econôméticos mais complexos e adequados à realidade regional.

Uma das principais barreiras ao avanço dos estudos quantitativos sobre a valoração dos recursos naturais da Amazônia é a ausência de capital humano com sólidos conhecimentos teóricos e metodológicos em estudos de mercado e em modelos matemáticos e econôméticos para dar maior sustentação técnica e científica à pesquisa sobre os sistemas produtivos da Amazônia.

Por fim, o estudo da valoração dos serviços ecossistêmicos das reservas extrativistas ganharia ainda mais importância, caso os custos socioambientais das atividades que impactaram e/ou sucederam os castanhais destruídos fossem estimados. Este ponto vem sendo trabalhado nos estudos do Grupo de Pesquisa em Cadeias Produtivas, Mercados e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia.

## 7 SUGESTÕES

Os grandes projetos de investimento implantados na Amazônia ao longo de sua história causaram severos danos aos recursos naturais, meio ambiente e a sociedade. Os novos empreendimentos envolvendo hidrelétricas, portos, estradas mineração, concessão florestal, grandes plantações agrícolas e florestais continuam produzindo externalidades negativas sobre o meio ambiente e a sociedade. Além disso, não há registro de compensação efetiva desses danos como forma de promover o desenvolvimento regional e contribuir para sua integração à economia nacional e global, uma vez que os bens e serviços ecossistêmicos produzidos pelos ativos naturais da Amazônia impactam sobre o planeta Terra.

Assim, propõe-se que os projetos implantados na Amazônia para a extração mineral, produção de energia, modais da logística de transporte, assentamentos de reforma agrária, concessões florestais e projetos agropecuários e industriais que, direta ou indiretamente, causam a destruição de recursos naturais, especialmente das reservas de castanheiras, devem arcar com a compensação no valor do custo socioambiental dos danos causados à natureza e à sociedade global. Esses recursos monetários e o valor do ativo natural da reserva de castanheiras podem constituir o lastro de um **fundo de recebíveis socioambiental** para que os rendimentos sejam aplicados em projetos que contribuam para o desenvolvimento local. A gestão desse fundo, conforme Santana et al. (2014), deve ser feita por um arranjo institucional, com a liderança do Banco da Amazônia, que é a principal instituição financiadora dos projetos voltados para o desenvolvimento regional.

Esse fundo deve apoiar sob condições diferenciadas pesquisas para valorar as reservas de castanheiras, incluir o valor desses ativos naturais na contabilidade regional e implementar modelos de organização e gestão sustentável das reservas. Além disso, deve-se apoiar micro e pequenos empreendimentos com vistas a ampliar a produção, qualidade e agregação de valor à castanha-do-brasil, formar capital humano e capital social, bem como manejar e incorporar as áreas de capoeiras oriundas da agricultura familiar às reservas e combinar com a implantação de sistemas de produção agroflorestal

e/ou silvipastoril com vistas a gerar emprego, renda e melhorar a qualidade de vida dos extrativistas e da população rural do entorno dos castanhais e de outras reservas extrativistas.

As reservas extrativistas de castanheiras dadas as restrições de mão de obra, logística de coleta em função da grande dispersão das árvores, o baixo grau de organização social e formação de capital humano, a baixa qualidade do produto e elevado controle de preço da castanha por parte de agroindústrias e dos atravessadores, torna a atividade inviável economicamente e vulnerável ao desmatamento e substituição por outras atividades agropecuárias. Portanto, o futuro das reservas extrativistas depende do enfrentamento e solução desses problemas, mediante a estruturação e governança dessa cadeia produtiva.

Portanto, o aumento da produtividade e da renda gerada pelos castanhais, juntamente com a manutenção da ocupação de mão de obra depende da estruturação da cadeia produtiva a partir do sistema de produção (manejo das reservas e das capoeiras e plantios em sistemas agroflorestais), que dada a combinação de complementaridade com a agricultura familiar e com a pesca artesanal deve evoluir para reservas agroextrativistas, bem como da organização dos extrativistas em cooperativas, com vistas a adotar práticas de agregação de valor ao produto, comercialização da produção e gestão de negócios para tornar a cadeia competitiva.

Por fim, a valorização dos ativos naturais pode contribuir para a formulação de políticas de desenvolvimento sustentável das áreas de reservas extrativistas e das demais áreas envolvendo unidades de conservação da Amazônia. A sugestão fundamental é que o valor dos ativos naturais, incluindo também as áreas de proteção permanente e áreas de reserva legal dos estabelecimentos rurais, seja incorporado ao valor da terra. Desta forma, esse ativo ao ser incorporado à contabilidade como patrimônio permanente ou como benfeitorias, pode ser utilizado como elemento de garantia para que os pequenos produtores tenham acesso ao crédito rural e, por ocasião de desapropriação ou de venda, consigam um valor “justo” pela terra.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, C.; MOTTA, R.S.; ORTIZ, R.A.; REID, J.; AZNAR, C.E.; SINISGALLI, P. A.A. The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, São Paulo State (Brazil). **Ecological Economics**, v.66, n.2, p.359-370, 2008.
- ANGELO, H.; POMPERMAYER, R.S.; ALMEIDA, A.N.; MOREIRA, J.M.M.A.P. O custo social do desmatamento da Amazônia brasileira: o caso da castanha-do-brasil (*Berthellotia excelsa*). **Ciência Florestal**, v.23, n.1, p.183-191, 2013.
- ANGELO, H.; POMPERMAYER, R.S.; VIANA, M.C.; ALMEIDA, A.N.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; SOUZA, A.N. 2012. Valoração econômica da depredação do Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Cerrado brasileiro. **Scientia Forestalis**, v.40, n.1, p.35-45, 2012.
- ALMEIDA, A.W. Terras tradicionalmente ocupadas: processos de territorialização e movimentos sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v.6, n.1, p.9-32, 2004.
- ARROW, K.; SOLOW, R.; PORTNEY, P.; LEANER, E.; RADNER, R.; SCHUMAN, H. Report of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Panel on contingent valuation. **Federal Register**, v.58, n.10, p.4602-4614, 1993.
- AVILA, A.F.D. **Evaluation de la recherche agronomique au Brésil**: le cas de la recherche rizicole de l'IRGA au Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado – Économie Agraire) - Université de Montpellier – France, 1981. 217p.
- AYER, H.W.; SCHUH, E. Social rates of return and other aspects of agricultural research in São Paulo, Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**, v.54, n.3, p.557-569, 1972.
- BENTES, E.S.; SANTANA, A.C.; HOMMA, A.K.O.; GOMES, S.C. Valoração econômica da jusante da barragem de Tucuruí. **Revista de Política Agrícola**, v.23, n.4, p.102-110, 2014.
- BENTES, R.S.; MARÍN, R.A.; EMMI, M.F. Os cemitérios das castanheiras do Tocantins. **Pará Desenvolvimento**, v.23, p.18-23, 1988.
- BISHOP, R.C.; ROMANO, D. (ed.) **Environmental resource valuation**: applications of the contingent valuation method in Italy. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1998. 206p.
- CARSON, R.T. Contingent valuation: a practical alternative when prices aren't available. **Journal of Economic Perspectives**, v.26, n.1, p.27-42, 2012.
- CARSON, R.T.; LOUVIERE, J. A common nomenclature for stated preference elicitation approaches. **Environmental and Resource Economics**, v.49, n.4,

p.539-559, 2011.

CFP. COMISSÃO DE FINANCIAMENTO DA PRODUÇÃO. **Estudo da castanha-do-brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1972.

CIRIACY-WANTRUP, S.V. Capital returns from soil-conservation practices. **Journal of Farm Economics**, v.29, n.4, p.1181–1196, 1947.

CONTADOR, C.R. **Avaliação social de projetos**. São Paulo: Atlas, 1988. 316p.

COSTA, N.L.; SANTANA, A.C. Exports and market power of the soybean processing industry in Brazil between 1980 and 2010. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.26, p.2590-2600, 2015.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER S.; GRASSO M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUEDO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v.15, n.2, p.253–260, 1997.

COTTA, J.N.; KEINER, K.A.; WADT, L.H.O.; STAUDHAMMER, C.L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v.256, n.1-2, p.28-35, 2008.

DALY, H.; FARLEY, J. **Economia ecológica: princípios e aplicações**. Lisboa: Instituto Piaget, 2004. 530p.

DANIEL, N.; MCGRATH, D.; STICKER, C. Slowing Amazon deforestation through public policy and innovations in beef and soy supply chains. **Science**, v.344, p.1118-1123, 2014.

EL SERAFY, S. Pricing the invaluable: the value of the world's ecosystem services and natural capital. **Ecological Economics**, v.25, n.1, p.25–27, 1998.

ENRÍQUEZ, G.E.V. **Desafios da sustentabilidade da Amazônia**: biodiversidade, cadeia produtiva e comunidades extrativistas integradas. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília. Brasília, 2008. 460p.

EVIEWS7. **User's Guide II**. Irvine-CA: QMS, 2012. 818p.

FARBER, S.C.; COSTANZA, R.; WILSON, M.A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics**, v.41, n.2, p.375-392, 2002.

FAUCHEUX, S.; NOËL, J-F. **Economia dos recursos naturais e do meio ambiente**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. 445p.

FEARSIDE, P.M.; FIGUEIREDO, A.M.R.; BONJOUR, S.C.M. Amazonian forest loss and the long reach of China's influence. **Environment, Development and Sustainability**, v.15: 325-338, 2013.

FERREIRA, M.M. **Retorno aos investimentos em pesquisa e assistência técnica na cultura do café em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993. 139p.

FISHER, A.C.; HANEMANN, M.W. Quasi-option value: some misconceptions dispelled. **Journal of Environmental Improvement**, v.14, n.2, p.183-190, 1987.

FISHER, A.C.; KRUTILLA, J.V.; CICCHETH, C.J. The economics of environmental preservation: a theoretical and empirical analysis. **The American Economic Review**, v.42, n.4, p.605-619, 1972.

GOMES, S.A. **Análise econométrica da produtividade total dos fatores na Amazônia Legal, 1990-2004**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007. 234p.

GREENE, W.H. **Econometric analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2011. 1075p.

GRILICHES, Z. Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations. **Journal of Political Economy**, v.66, n.10, p.419-431, 1958.

GUEDES, M.C.; NEVES, E.S.; RODRIGUES, E.G.; PAIVA, P.; COSTA, J.B.P.; FREITAS, M.F.; LEMOS, L.M. Castanha na roça: expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.9, n.2, p.381-398, 2014.

GUJARATI, D.N. **Basic econometrics**. New York: McGraw-Hill, 1995. 838P.

HANEMANN, W.M. Valuing the environment through contingent valuation. **Journal of Economic Perspectives**, v.8, n. 1, p.19-43, 1994.

HANSEN, L.P. Large sample properties of generalized method of moments estimators. **Econometrica**, v.50, n.4, p.1029-1054, 1982.

HIRSHLEIFER, J.; GLAZER, A. **Price theory and applications**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 532p.

HOMMA, A.K.O. (ed.) **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília: Embrapa, 2014. 467p.

HOMMA, A.K.O. Extrativismo, manejo ou plantio: o que fazer?. In: SANTANA, A.C. (Org.) **Valorização econômica e mercado de recursos florestais**. Belém: UFRA, 2012. p.185-226.

HOMMA, A.K.O. **Cronologia da ocupação e destruição dos castanhais no Sudeste paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 132p.

HOMMA, A.K.O. **A extração de recursos naturais renováveis: o caso do extrativismo vegetal na Amazônia.** Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1989. 575p.

HOMMA, A.K.O.; MENEZES, A.J.E.; MAUÉS, M.M. Castanheira-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.9, n.2, p.293-306, 2014.

IBGE. Produção extrativa vegetal e da silvicultura 2012. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 13 de junho de 2012.

IBGE. Produção extrativa vegetal e da silvicultura 2013. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 13 de agosto de 2015.

JEHLE, G.A.; RENY, P.J. **Advanced microeconomic theory.** New York: Prentice Hall, 2011. 656p.

KENDALL, L.T.; FISHMAN, M.J. **A primer on securitization.** London: MIT Press, 1996.

KHAN, A.S.; SOUZA, J.S. Taxa de retorno social do investimento em pesquisa na cultura da mandioca no Nordeste. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.29, n.4, p.411-426, 1991.

KITAMURA, P.C.; MÜLLER, C.H. **Castanhais nativos de Marabá-PA:** fatores de depredação e bases para a sua preservação. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984. 32p.

KMENTA, J. **Elementos de econometria.** São Paulo: Atlas, 1978. 670p.

LAUDATO SI'. **Carta Encíclica do Papa Francisco sobre o cuidado da casa comum.** Roma: A Santa Sé, 2015. 87p.

LINDNER, R.K.; JARRET, F.G. Supply shifts and the size of research benefits. **American Journal of Agricultural Economics**, v.60, n.1, p.48-58, 1978.

LIU, S.; COSTANZA, R.; FARBER, S.; TROY, A. Valuing ecosystem services: theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. **Ecological Economics Reviews**, v.1185, n.1, p.54–78, 2010.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.D.; GREEN, J.R. **Microeconomic theory.** New York: Oxford University Press, 1995. 981p.

MARSHALL, A. **Princípios de economia.** São Paulo: Abril Cultural, 1982. 272p.

MITCHELL, R.C.; CARSON, R.T. **Using surveys to value public goods:** the contingent valuation method. Washington, DC: Resources for the Future, 1989. 471p.

MOREIRA, J.M.A.P. **O custo social do desmatamento da Amazônia brasileira: o caso da castanha-do-brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. Brasília, 2004. 49p.

MOTTA, R.S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais.** Rio de Janeiro: IPEA; MMA; PNUD; CNPq, 1997.

NOGUEIRA, J.M.; RODRIGUES, A.A. **Manual de valoração econômica de florestas nacionais.** Brasília: IBAMA; FUNTEC, 2007.

NOGUEIRA, A.K.M. **As tecnologias utilizadas na produção de açaí e seus benefícios socioeconômicos no estado do Pará.** 2011. Dissertação (Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia. 73p.

NORTHON, G.W; DAVIS, J.S. Evaluating returns to agricultural research: a review. **American Journal of Agricultural Economics**, v.63, n.4, p.685-699, 1981.

NUNES, F.; SOARES-FILHO, B.; GIUDICE, R.; RODRIGUES, H.; BOWMAN, M.; SILVESTRINI, R.; MENDOZA, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. **Environmental Conservation**, v.39, n.2, p.132-143, 2012.

OLIVEIRA, C.M.; SANTANA, A.C.; HOMMA, A.K.O. Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará. **Acta Amazonica**, v.43, n1., p.23-32, 2013.

PAEZ, P.B. **Analysis of the international demand for Brazil nuts.** Dissertation (Ph. D. in Agricultural and Resources Economics) – Oregon State University, 1981. 138p.

PAIVA, P.M.; GUEDES, M.C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v.26, n.3, p.508-514, 2011.

PEARCE, D.W. Environmental sustainability and cost benefit analysis. **Environment and planning**, v.22, n.1, p.97-112, 1990.

PEARCE, D. **Economic values and the natural world.** Londres: Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, 1993.

PEREIRA NETO, J.A.; PONTE, M.X.; SANTANA, A.C. **Acúmulo de carbono e mecanismos de mercado em sistemas agroflorestais de cacaueiros: uma experiência na região da rodovia Transamazônica.** Belém: IPAM, 2012.

PETERSON, W.L. Returns to poultry research in the United States. **Journal of Farm Economics**, v.49, n.3, p.656-670, 1967.

- PIMENTEL, L.D.; VAGNER JÚNIOR, A.; SANTOS, C.E.M.; BRUCKNER, C.H. Estimativa de viabilidade econômica no cultivo da castanha-do-brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.37, n.6, p.26-36, 2007.
- PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Econometria: modelos e previsões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 725p.
- PINHEIRO, F.A.P.; SAVOIA, J.R.F. Securitização de recebíveis – análise dos riscos inerentes. **Revista Brasileira de Finanças**, v.7, n.3, p.305-326, 2009.
- RANDALL, A. **Resource economics**. Columbus: Grid Publishing, 1981. 415p.
- RANDALL, A.; STOLL, J.R. Consumer's surplus in commodity space. **The American Economic Review**, v.70, n.3, p.449-455, 1980.
- RODRIGUES, F.M. **Estrutura e política do mercado de castanha-do-brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1978. 61p.
- ROSE, R.N. Supply shift and research benefits: comments. **American Journal of Agricultural Economics**, v.62, n.2, p.834-837, 1980.
- SALOMÃO, R.P. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. (castanheira) nas regiões de Carajás e Marabá, estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Botânica**, v.7, n.1, p.47-68, 1991.
- SALOMÃO, R.P. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.9, n.2, p.259-266, 2014.
- SALOMÃO, R.P.; SANTANA, A.C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N.A.; PRECINOTO, R.S. Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.9, n.2, p.307-320, 2014.
- SANTANA, A.C. **Métodos quantitativos em economia: elementos e aplicações**. Belém: UFRA, 2003. 484p.
- SANTANA, A.C. **Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local**. Belém, PA: UFRA, 2005. 197p.
- SANTANA, A.C. **Valorização econômica e mercado de recursos florestais**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 2012. 226p.
- SANTANA, A.C. **Mercado de produtos agropecuários e florestais dos polos de Altamira, Itaituba e Santarém, estado do Pará**. Belém: IPAM; FUNPEA; UFRA, 2013. 132p. (Relatório Final de Pesquisa)

SANTANA, A.C. **Valoração ambiental da área de savana metalófila, ou canga, da Flona de Carajás para fins de indenização.** Belém: UFRA; FUNPEA; VALE, 2014. 89p.

SANTANA, A.C. **Preço da madeira em pé, cadeia de valor da madeira e avaliação dos contratos de concessão florestal no estado do Pará.** Belém: UFRA; CNPq, 2014. 78p. (Relatório de Pesquisa para o CNPq).

SANTANA, A.C. **Planejamento estratégico institucional da UFRA: 2014-2024.** Belém: UFRA, 2015. 115p.

SANTANA, A.C. Custo social da depredação da castanha-do-brasil no Pará. **Economia Rural**, v.3, n.3, p.7-10, 1991.

SANTANA, A.C. **Efeitos do FNO no desenvolvimento socioeconômico da Região Norte: análise de eficácia.** Belém: Banco da Amazônia, 2013. 228p.

SANTANA, A.C. Estrutura da oferta de carne suína sob condições de risco no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.30, n.1, p.21-39, 1992.

SANTANA, A.C. Impactos econômicos e sociais das políticas de reflorestamento no Brasil. **Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, v.25, n.1, p.21-34, 1994.

SANTANA, A.C. Recent changes in the relations of Brazilian meat demand system. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v.37, n.2., p.161-184, 1999.

SANTANA, A.C.; BENTES, E.S. Segurança alimentar: o conceito da FAO e a situação do Estado do Pará In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia rural, 2002, Passo Fundo - RS. **Equidade e Eficiência na Agricultura Brasileira**. Brasília: SOBER, 2002. v.40. p.1 – 17.

SANTANA, A.C.; KHAN, A.S. Custo social da depredação florestal no Pará: o caso da castanha-do-brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.30, n.3, p.253-269, 1992.

SANTANA, A.C.; KHAN, A.S. Avaliação e distribuição dos ganhos sociais da adoção de novas tecnologias na cultura de feijão caupi no Nordeste. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.25, n.2, p.191-203, 1987a.

SANTANA, A.C.; KHAN, A.S. Teoria neoclássica sobre a apropriação dos benefícios sociais do progresso tecnológico na cultura do feijão caupi In: **Encontro Latino Americano da Econometric Society**, 7, 1987, São Paulo - SP. São Paulo: FEA/FIPE/USP, 1987b. v.7. p.1855-1872.

SANTANA, A.C.; D'ÁVILA, J.L.; ALENCAR, M.I.R.; MATTAR, P.N.; SOUZA, R.F.; COSTA, R.M.Q. **Reestruturação produtiva e desenvolvimento na Amazônia: condicionantes e perspectivas.** Belém: BASA; FCAP, 1997. 185p.

SANTANA, A.C.; RUFINO, J.L.S.; TEIXEIRA, E.C. Efeitos da política de preços mínimos na produção de algodão e arroz no Nordeste. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.33, n.1, p.37-57, 1995.

SANTANA, A.C.; CAMPOS, P.S.S.; RAMOS, T.J.N.; GALATE, R.S.; MOTA, A.V. O mercado de frutas no estado do Pará: 1985 a 2005. **Revista de Estudos Sociais**, v.13, n.1, p.174-185, 2011b.

SANTANA, A.C.; LOPES, M.L.B.; HOMMA, A.K.O.; NOGUEIRA, O.L. Benefícios sociais do açaí manejado no Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2002, Passo Fundo – RS. Anais.... Brasília: SOBER. 40: 1-12, 2002.

SANTANA, A.C.; RIBEIRO, D.T. Sistema de demanda de carnes no Brasil: modelo de equação aparentemente não-relacionada. In: Congresso Brasileiro de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco - AC. **Amazônia, Mudanças Globais e Agronegócio**: o desenvolvimento em questão. Brasília: SOBER, 2008. v. 45. p. 1-19.

SANTANA, A.C.; SANTANA, A.L.; COSTA, N.L.; NOGUEIRA, A.K.M.; SANTOS, M.A.S. Comportamento dos preços das terras de lavoura, pastagens e mata no leste da Amazônia sob a influência do eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2015, João Pessoa, PB. Anais... **Agropecuária, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: SOBER, 53: 1-16, 2015.

SANTANA, A.C.; SANTANA, A.L.; SANTOS, M.A.S. Influência do desmatamento no mercado de madeira em torno da região Mamuru-Arapiuns, Sudoeste do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v.54, n.1, p.44-53, 2011a.

SANTANA, A.C., SANTOS, M.A.S. O mercado de caupi no Estado do Pará: aplicação do método dos momentos generalizados. **Revista de Ciências Agrárias**, v.44, n.1, p.47 - 58, 2000.

SANTANA, A.C.; SANTOS, M.A.S.; SANTANA, A.L. A dinâmica do mercado de terras nos estados do Maranhão, Pará e Tocantins. In: SANTANA, A.C. **Mercado, cadeia produtiva e desenvolvimento rural na Amazônia**. Belém: UFRA, 2014. p.21-39, 2014.

SANTANA, A.C.; GOMES, S.C.; MOREIRA, M.G.P. Valoração dos impactos gerados pelos empreendimentos para a produção de energia da bacia do Tapajós. In: IDESP. **Região de integração do Tapajós**: relatório técnico. Belém: IDESP, 2014. p.101-111.

SANTANA, A.C.; SANTOS, M.A.S.; SANTANA, A.L.; YARED, J.A.G. O valor econômico da extração manejada de madeira no Baixo Amazonas, estado do Pará. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p.527-536, 2012.

SANTOS, C.F.; ABSY, M.L. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): Interações com Abelhas sem Ferrão (Apidae: Meliponini) e Nicho Trófico. **Ecology, Behavior and Bionomics**, v.39, n.6, p.854-861, 2010.

SANTOS, J.C.; DINIZ, J.D.A.; PIKETTY, M.G.; BAYMA, M.M.A. Cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Pará: ênfase na melhoria da qualidade e na contaminação por aflotoxina. In: SANTANA, A.C. **Mercado, cadeia produtiva e desenvolvimento rural na Amazônia**. Belém: UFRA, 2014. p.165-195.

SEN, A.K. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000. 416p.

SILVA, I.M.; SANTANA, A.C.; REIS, M.S. Análise dos retornos sociais oriundos de adoção tecnológica na cultura do açaí no estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v.2, n.3, p.25-37, 2006.

SILVEIRA, J.S. **A multidimensionalidade da valorização de produtos locais**: implicações para políticas públicas, mercado, território e sustentabilidade na Amazônia. Tese (Doutorado do Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2009. 391p.

SILVIUS, K.M.; FRAGOSO, J.M.V. Red-rouumped Agouti (*Dasyprocta leporina*) home range use in an Amazonian forest: implications for the aggregated distribution of forest trees. **Biotropica**, v.35, n.1, p.74-83, 2003.

THOMAS, E.; CAICEDO, C.A.; LOO, J.; KINDT, R. The distribution of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) through time: from range contraction in glacial refugia, over human-mediated expansion, to anthropogenic climate change. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.9, n.2, p.267-291, 2014.

TIETENBERG, T.; LEWIS, L. **Environmental economics and policy**. New York: Pearson, 2010. 536p.

VARIAN, **Microeconomia**: princípios básicos. Rio de Janeiro: Campus, 2012. 807p.

WALLACE, K.J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. **Biological conservation**, v.139, n.2, p.235-246, 2007.

WEISBROD, B. Collective consumption services of individual consumption goods. **Quarterly Journal of Economics**, v.78, n.3, p.471-477, 1964.

## APÊNDICES METODOLÓGICOS

Neste espaço apresentam-se as principais metodologias de cálculo do benefício social de pesquisa no Apêndice A, o desenvolvimento sucinto do Método Generalizado dos Momentos, utilizado para estimar os parâmetros das equações de demanda e oferta para castanha-do-brasil no Apêndice B, os conceitos e fundamentos do fundo de recebíveis no Apêndice C e algumas fotos de castanheiras em ambiente natural, em área de pastagem e também da castanha no Apêndice D.

### APÊNDICE A – METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO RETORNO SOCIAL

Metodologia de cálculo do benefício social de pesquisa (BSP) e/ou de inovações tecnológicas implementadas nos sistemas de produção, envolve a aplicação das técnicas de análise benefício-custo. Assim, para incorporar a dimensão social utiliza-se o conceito de excedente econômico total (EET) ou benefício social líquido total desenvolvido por Marshall (1982), que contempla o excedente do produtor (EP), ou lucro do produtor, e o excedente do consumidor (EC), ou benefício social do consumidor, gerado pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento e/ou pela adoção de novas tecnologias e inovações.

Quando a análise envolve um único produto, ou atividade produtiva, o excedente econômico é o método adequado para a determinação dos benefícios socioeconômicos e os retornos sociais de investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como para captar os efeitos da adoção de novas tecnologias e inovações no processo, produto e na gestão. Assim, o método pode ser aplicado para medir os retornos socioeconômicos e ambientais bruto e líquido *ex-ante*, ou retornos potenciais e *ex-post*, ou retornos reais.

Nesta perspectiva, a aplicação pioneira foi realizada por Griliches (1958) para medir os benefícios sociais da descoberta do milho híbrido. Os princípios socioeconômicos assumidos foram que:

- a) A área total abaixo da curva de demanda e à esquerda da quantidade total demandada, representa a utilidade total do produto para o consumidor, logo representa o valor monetário ou benefício total;
- b) A curva de oferta reflete o custo de oportunidade dos recursos utilizados para produzir cada quantidade ofertada do produto;
- c) A área situada abaixo da demanda e acima da oferta, delimitada pela quantidade de equilíbrio, representa o excedente econômico total ou benefício social líquido.

Portanto a aplicação da metodologia exige a estimação dos parâmetros das equações de demanda e oferta. Por dificuldade de estimar tais equações por falta de dados sobre o milho híbrido, Griliches (1958) calculou o BSP assumindo duas situações para a linha de oferta (Figura A1): a oferta de milho é perfeitamente inelástica em longo prazo (Gráfico A); e oferta de milho é perfeitamente elástica em longo prazo (Gráfico B).

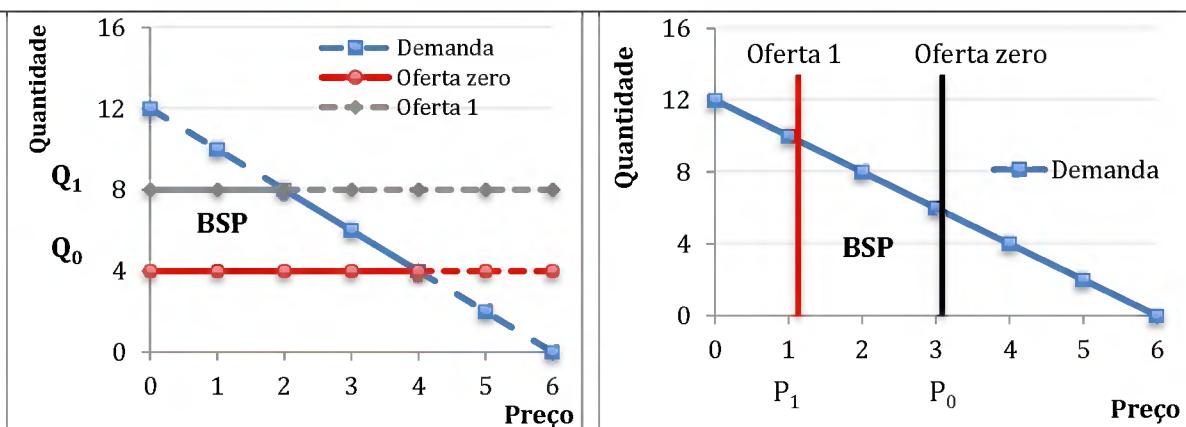


Gráfico A. Oferta perfeitamente inelástica.

Gráfico B. Oferta perfeitamente elástica

**Figura A1.** Benefício social da pesquisa considerando a oferta perfeitamente inelástica e perfeitamente elástica.

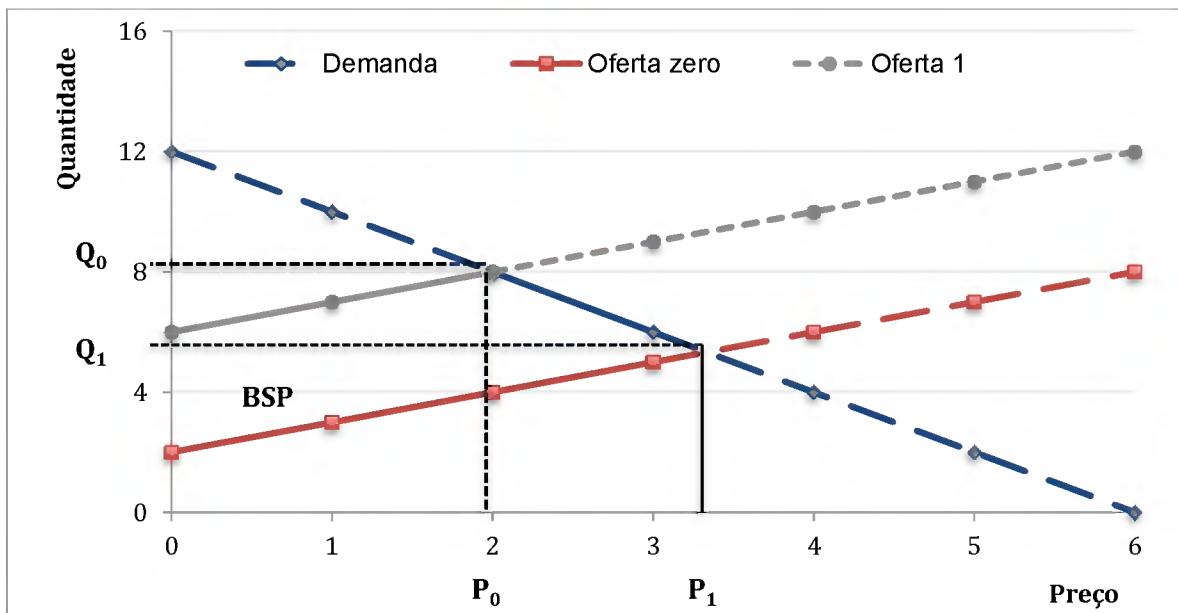
A segunda aplicação da metodologia foi realizada por Peterson (1967) para estimar o retorno social da pesquisa com aves. Utilizou um modelo de oferta com elasticidade positiva e menor do que 1,0, conforme Figura A2

Na Figura A2, a linha de Oferta zero representa a situação antes da pesquisa com aves e a linha de Oferta 1 ilustra a situação da oferta incorporando os efeitos da pesquisa avícola. Neste caso, o BSP é delimitado pela área entre as duas curvas de oferta e abaixo da curva de demanda.

A fórmula utilizada no cálculo do BSP foi a seguinte:

$$BSP = KP_1 Q_1 + \left( \frac{K^2 P_1 Q_1}{2\eta} \right) - \left( \frac{Q_0 K^2 P_1^2}{2P_0} \right) \cdot \left( \frac{\eta \cdot \varepsilon}{\eta + \varepsilon} \right) \cdot \left( \frac{\eta - 1}{\eta} \right)^2$$

em que  $\eta$  e  $\varepsilon$  são os coeficientes de elasticidade-preço da demanda e da oferta,  $Q_0$  e  $Q_1$  são as quantidades produzidas antes e depois da pesquisa,  $P_0$  e  $P_1$  são os preços do produto antes e depois da pesquisa e  $K$  é a diminuição percentual da oferta do produto antes da pesquisa.



**Figura A2.** Benefício social da pesquisa para oferta positivamente inclinada e deslocamento paralelo.

Os resultados obtidos por essas duas metodologias tendem a gerar viés no cálculo do BSP e do retorno social. Para contornar esse problema, Lindner e Jarrett (1978) propuseram várias formas de deslocamento da oferta diante de mudanças tecnológicas. As mudanças na oferta se devem ao fato de que a adoção de tecnologias por parte dos produtores não ocorre de forma homogênea e instantânea. Assim, no caso mais frequente, a oferta se desloca de forma proporcional e divergente, uma vez que a medida que a quantidade aumenta a oferta torna-se mais distante. Isto ocorre porque a redução no custo médio de produção é maior entre os produtores com alto custo fixo de produção do que para os produtores com baixo custo médio de produção. Assim, a representação gráfica do deslocamento da oferta é ilustrada na Figura A3 (SANTANA, 1987).

A fórmula aplicada no cálculo do benefício social da pesquisa foi a seguinte:

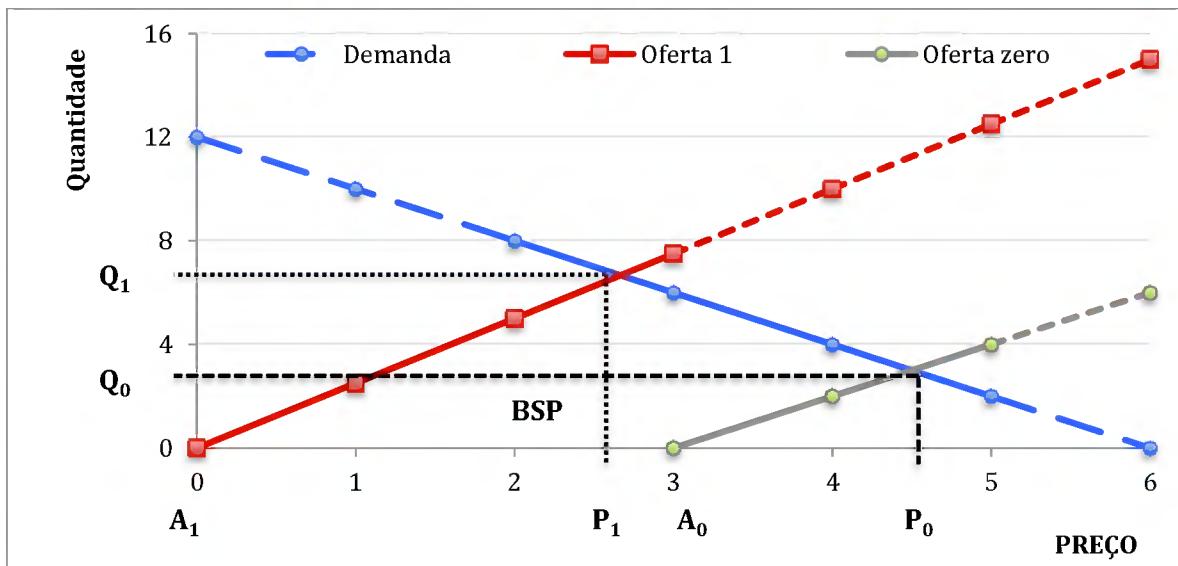
$$BSP = \frac{(P_0 Q_1 - P_1 Q_0 + Q_0 A_0 - Q_1 A_1)}{2}$$

Em que  $P_0$  e  $Q_0$  são os preços e quantidades de equilíbrio antes da pesquisa,  $P_1$  e  $Q_1$  são os preços e quantidades de equilíbrio depois da pesquisa e  $A_0$  e  $A_1$  são os valores de preço igual ao custo unitário de produção antes e depois da pesquisa. Sendo que:

$$P_0 = P_1 \left( 1 + \frac{K\varepsilon}{\eta + \varepsilon} \right)$$

$$Q_0 = Q_1 \left( 1 - \frac{K\eta\varepsilon}{\eta + \varepsilon} \right)$$

$$K = \left( 1 - \frac{A_1}{A_0} \right)$$

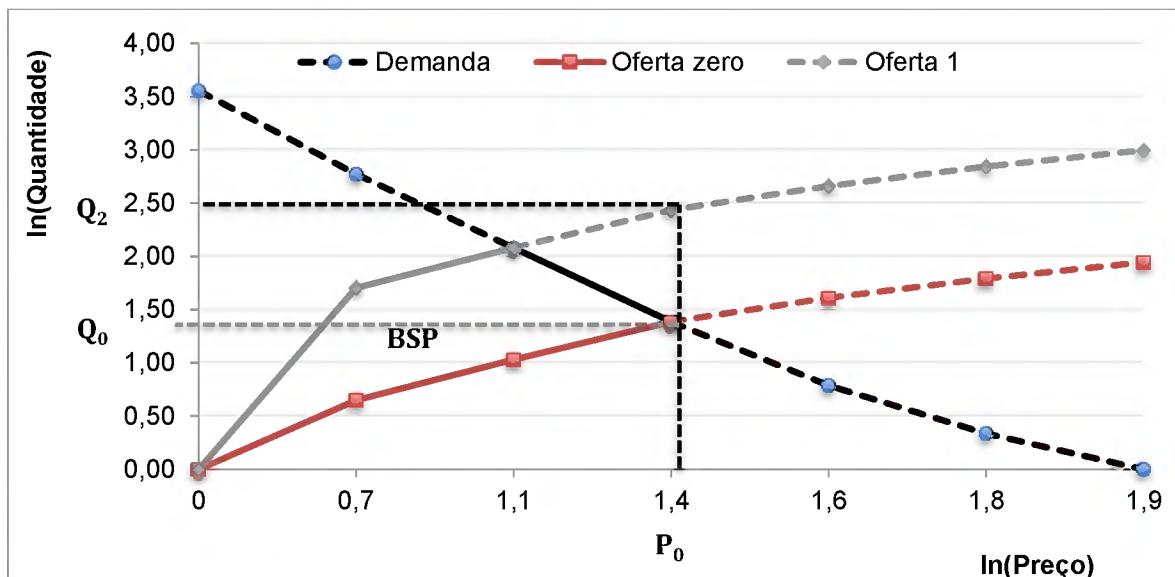


**Figura A3.** Benefício social da pesquisa para uma variação proporcional e divergente da oferta.

Como os preços, as quantidades e/ou as informações sobre custos com e sem a influência das tecnologias, ou no caso dos impactos gerados pelos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, podem ser obtidas de experimentos e/ou de informações secundárias. Como além dessas informações exigem-se apenas os coeficientes de elasticidade-preço da demanda e da oferta, muitos trabalhos não estimam os parâmetros das equações de demanda e oferta

do produto analisado. Ao invés disso, lançam mão dos coeficientes de elasticidade disponíveis em publicações sobre os mercados dos produtos de interesse. Foi o caso por exemplo de Angelo et al. (2013), que utilizaram os coeficientes de elasticidades-preço estimados por Moreira (2004).

Avançando ainda nas contribuições quanto à forma de deslocamento da oferta, tem-se a proposição de Rose (1980) de uma combinação da mudança na oferta, inicialmente pivotal e depois proporcional (Figura A4), e a adaptação do modelo para aplicação ao caso do custo da depredação da castanheira-do-brasil no estado do Pará por Santana e Khan (1992). Em seguida, Santana et al. (2002) e Silva et al. (2006) aplicaram esta metodologia para estimar o BSP do açaí no estado do Pará.



**Figura A4.** Benefício social da pesquisa para uma variação pivotal combinada com variação proporcional na curva de oferta.

Assim, o benefício social da pesquisa, dado pela área entre as duas curvas de oferta e abaixo da curva de demanda, foi calculado da seguinte forma:

$$BSP = 0,5 KP_0 Q_0 (1 + Z\eta)$$

$$K = [(1 - Q_0/Q_2)/\varepsilon]; Z = K\varepsilon/(\eta + \varepsilon)$$

em que  $\eta$  e  $\varepsilon$  são as elasticidades-preço da demanda e da oferta,  $Q_0$  e  $P_0$  são os preços e as quantidades na situação inicial e  $Q_2$  é a quantidade potencial de produção.

Outros trabalhos, por sua vez, quando não encontram os coeficientes de elasticidade e nem realizam a estimativa, assumem, com base na teoria da demanda e da oferta, a magnitude das elasticidades e realizam a estimativa potencial para o benefício social da pesquisa. Tais iniciativas, no entanto, tende a produzir viéses de diversas naturezas, uma vez que os modelos a partir dos quais foram obtidos as elasticidades podem não ser lineares e estimadas por métodos de equações simultâneas. Além disso, os dados podem não ser atualizados e nem referentes à área de estudo.

Todos os cálculos realizados com a aplicação desses modelos foram desenvolvidos a partir de equações lineares de demanda e oferta, de modo que a utilização de coeficientes estimados a partir de modelos especificados na forma não linear, pode gerar viés de super ou subestimação do BSP.

Com efeito, Ayer e Schuh (1975) e Avila (1981) assumiram um deslocamento pivotal da curva de oferta especificada na forma logarítmica para estimar o benefício socioeconômico da pesquisa com algodão em São Paulo e com arroz no Rio Grande do Sul (Figura A5). O coeficiente de deslocamento da curva de oferta foi definido pela variação entre a produção potencial e a produção obtida antes dos resultados da pesquisa. Assim, para evitar erro de mensuração do BSP, a estimativa deve ser realizada por meio do cálculo integral.

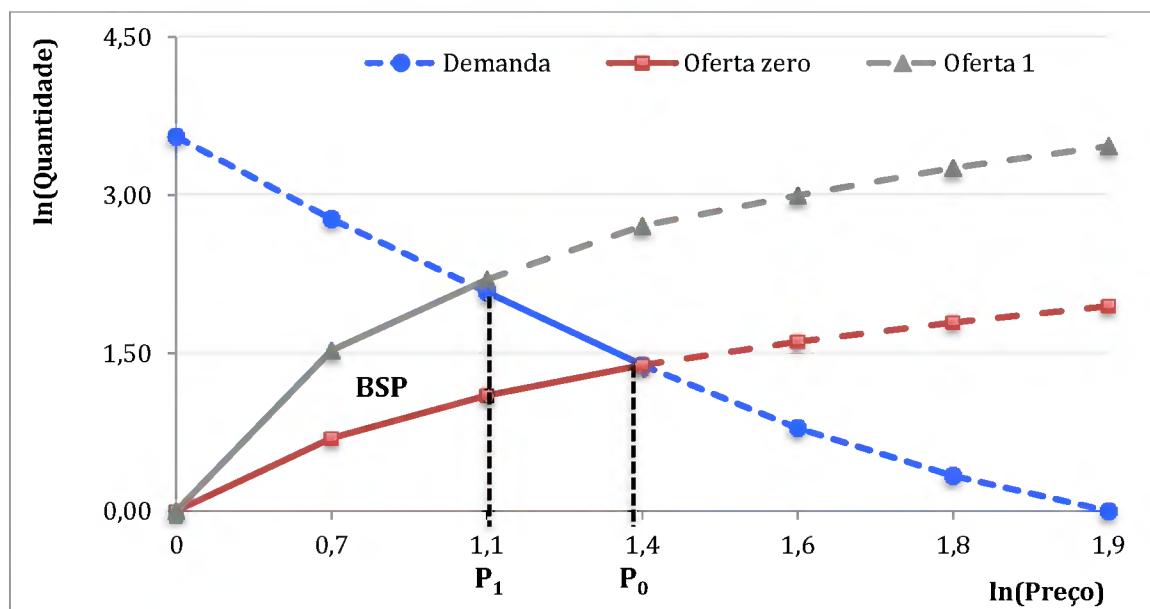
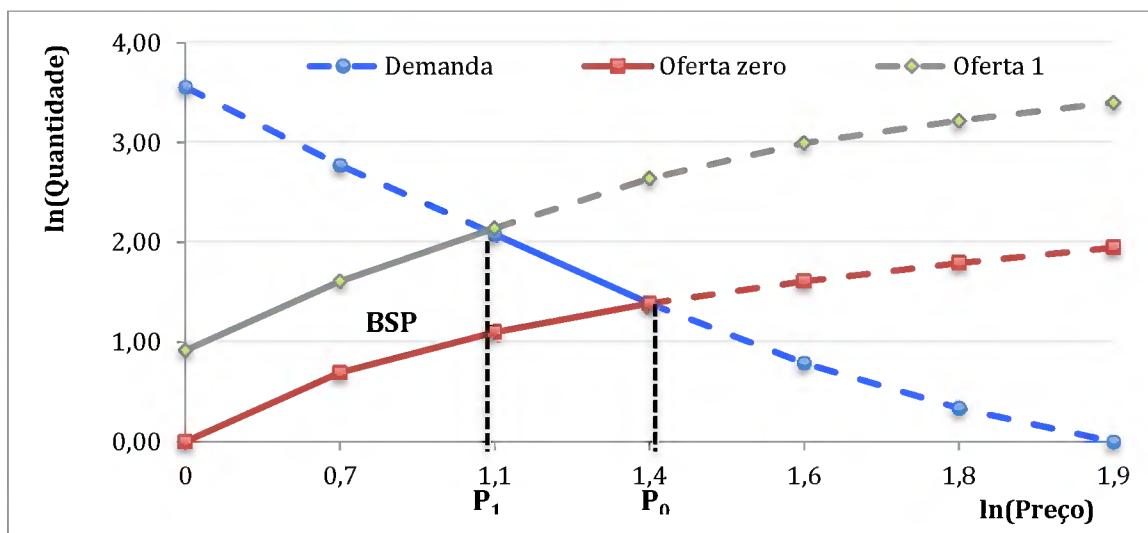


Figura A5. Benefício social da pesquisa para uma variação pivotal na curva de oferta.

Assim, o benefício social da pesquisa, dado pela área entre as duas curvas de oferta e abaixo da curva de demanda, foi calculado da seguinte forma:

$$BSP = \int_0^{P_1} (Oferta\ 1)dP + \int_{P_1}^{P_0} (Demanda)dP - \int_0^{P_0} (Oferta\ zero)dP$$

Por fim, Nogueira (2011) estimou o benefício social da pesquisa que foi gerado com a mudança tecnológica de manejo e cultivo racional do açaí no estado do Pará. Esta nova tecnologia produziu mudança na produção e na produtividade, o que sugere causar um deslocamento proporcional e divergente da curva de oferta. O modelo de equações simultâneas foi especificado na forma logarítmica. Neste caso, o BSP foi mensurado por meio da aplicação do cálculo integral para evitar erro. Na Figura A6, apresenta-se a forma de deslocamento da oferta.



**Figura A6.** Benefício social da pesquisa para uma variação divergente proporcional da curva de oferta.

O BSP, definido pela área entre as duas curvas de oferta e abaixo da curva de demanda, foi estimado da seguinte forma:

$$BSP = \int_0^{P_1} (Oferta\ 1)dP + \int_{P_1}^{P_0} (Demanda)dP - \int_0^{P_0} (Oferta\ zero)dP$$

Este conhecimento é utilizado nesta tese para estimar o excedente econômico total antes e depois da destruição das reservas de castanheiras da Amazônia. Para tanto, foram especificados e estimados os parâmetros das equações estruturais de demanda e oferta especificadas na forma de sistemas de equações simultâneas. Assim, o custo da destruição foi calculado por meio da diferença entre os EET. Constitui, portanto, forma original para o cálculo real do benefício-custo dos impactos da destruição de recursos naturais.

## APÊNDICE B – MÉTODO GENERALIZADO DOS MOMENTOS (MGM)

A estimação do sistema de equações simultâneas foi realizada pelo Método Generalizado dos Momentos (MGM), aplicado pela primeira vez no Brasil por Santana e Santos (2000) para estimar os parâmetros da demanda e oferta por feijão caupi do estado do Pará e por Santana e Bentes (2002) para estimar os parâmetros da demanda e oferta do mercado agrícola agregado do estado do Pará. Este método apresenta vantagens em relação a outros métodos de estimação de sistemas de equações simultâneas ou de modelos recursivos por permitir incorporar variáveis instrumentais defasadas, para que se possa captar seus efeitos dinâmicos sobre o modelo estrutural. A estimação do modelo foi realizada por meio do software EViews7 (2012).

O MGM, conforme Greene (2011), supera os problemas básicos da violação de duas hipóteses clássicas da análise de regressão: autocorrelação e heterocedasticidade. Na estimação de parâmetros por Mínimos Quadrados Generalizados (MQG), computam-se  $k$  estatísticas, denominadas momentos, de tal forma que suas probabilidades limites sejam funções conhecidas desses parâmetros. Os  $k$  parâmetros são contemplados como argumentos das  $k$  funções de probabilidade que, para gerar uma solução, são invertidas para que os parâmetros sejam expressos em função dos momentos.

O processo de estimação, via MGM, assume que o parâmetro desconhecido de uma equação linear seja estimado combinando momentos populacionais, que são funções de parâmetros desconhecidos, com momentos amostrais apropriados.

O passo inicial é definir as condições de momento, dada por

$$E[m(X_t, \theta)] = 0,$$

em que  $X_t$  representa uma amostra de parâmetros para determinado período de tempo  $T$ , da qual se deseja estimar um vetor de dimensão ( $p \times 1$ ) de parâmetros  $\theta$  desconhecidos, sendo  $m(X_t, \theta)$  uma função vetorial de  $\theta$  (GOMES, 2007; SANTANA et al., 2011; EVIEWS7, 2012).

A estimação do vetor de parâmetros  $\theta$  é feita levando-se em consideração as condições de momentos. Caso ( $q = p$ ), tem-se que  $\theta$  é exatamente identificado pelas condições de momento. A solução desse conjunto de equações gera o valor de  $\theta$  que satisfaz às condições de momento e pode representar o verdadeiro valor do parâmetro populacional. A estimação pelo MGM é usada quando os parâmetros  $\theta$  são sobreidentificados pelas condições de momento.

Com os argumentos acima, é definida a função critério da seguinte forma:

$$Q_T(\theta) = m_T(\theta') A_T m_T(\theta),$$

em que  $A_T$  é uma matriz definida positiva. Tem-se que o estimador de MGM de  $\theta$  é dado por;

$$\hat{\theta}_T = \arg \min_{\theta} Q_T(\theta).$$

Conforme Greene (2011), na estimação dos parâmetros de um sistema de equações simultâneas via MGM, consideram-se o seguinte processo:

$$Y_{ij} = X'_{it}\beta + u_{it}, \quad \begin{cases} i = 1, \dots, M \\ t = 1, \dots, T \end{cases}$$

em que  $Y_{ij}$  é o vetor de variáveis endógenas,  $X_{it}$  é o vetor de variáveis exógenas e/ou pré-determinadas,  $\beta$  é o vetor de parâmetros desconhecidos e  $u_{it}$  é o vetor de erros aleatórios.

No modelo especificado acima, admite-se a possibilidade de que alguma das variáveis  $X_{it}$ , seja correlacionado como os erros aleatórios, isto é,  $E(X_{ik}u_{ik}) \neq 0$ , para algum  $k$ . Portanto, assume-se que existe um conjunto de variáveis instrumentais  $Z_{it}$ , que contém um ou todos os elementos de  $X_{it}$ . Estas variáveis instrumentais  $Z_{it}$ , satisfazem a um conjunto de  $k$  condições de ortogonalidade, dado por (EVIEWS7, 2012):

$$q = E[Z_{it}u_{it}] = E[Z_{it}(Y_{it} - X'_{it}\beta)] = 0$$

Se o modelo é identificado (SANTANA, 2003; GREENE, 2011) e a matriz de pesos  $W$  admite inversa, segue-se que o estimador obtido pelo método

generalizado dos momentos é determinado por meio da minimização da equação abaixo em relação ao parâmetro  $\beta$ ,

$$\hat{\beta} = E[Z_{it}(Y_{it} - X'_{it}\beta)]'WE[Z_{it}(Y_{it} - X'_{it}\beta)]$$

Nesta equação, a matriz de pesos  $W$  é simétrica e positiva definida (GREENE, 2011). Assim, qualquer matriz simétrica positiva definida  $W$  pode gerar estimativas consistentes para os parâmetros  $\beta$ .

No MGM, conforme Hansen (1982), a matriz  $W$  é tomada como sendo a inversa da matriz de covariância dos dados, incluindo o vetor de variáveis instrumentais ( $Z_t$ ). Hansen também mostrou que quando a matriz de pesos é a matriz inversa da covariância dos dados, os estimadores obtidos por MGM são eficientes. Portanto, é possível demonstrar que os estimadores de MGM têm distribuição assintótica normal multivariada.

Finalmente, para estimar os parâmetros, necessita-se submeter os dados a um processo com vários passos iterativos para se obter a convergência das estimativas dos parâmetros. Nesta tese, considerou-se o processo de controle das iterações simultâneas, que atualiza a matriz de coeficientes e a matriz de pesos em cada iteração de cada passo. Estes passos são repetidos até que a matriz de coeficientes e de pesos convergirem (EVIEWS7, 2012).

O estimador de MGM é robusto para sistemas heterocedásticos com dados em *cross-section* e sistemas autocorrelacionados em dados de séries temporais, como é o caso desta tese.

Por fim, o teste  $j$  de Hansen foi utilizado para testar as condições de ajustamento do sistema de equações por MGM e a adequação das variáveis instrumentais ao modelo. Com a obtenção de um valor próximo de zero para este teste, o que representa uma estatística não significativa a pelo menos 5%, confirmam-se que as condições de momentos sobreidentificadas foram satisfeitas e o modelo foi corretamente especificado (SANTANA et al., 2011b; COSTA; SANTANA, 2015).

## APÊNDICE C – FUNDAMENTOS DO FUNDO DE RECEBÍVEIS

Entre os instrumentos de política econômica, especificamente no que tange aos empreendimentos de grande escala que exploram os recursos naturais da Amazônia, especialmente o barramento de rios para a produção de energia, extração mineral e construção de logística de transporte (portos, estradas, ferrovias e hidrovias) devem integrar uma metodologia para determinar os custos e benefícios socioeconômicos e ambientais e demonstrar sua viabilidade. Até o momento, não é transparente para a sociedade o valor que lhe cabe como compensação dos danos ambientais e sociais, cujo destino seria contribuir para o desenvolvimento local e sustentável da população local.

No que tange aos instrumentos de política ambiental, há as ações regulatórias (envolvem licenças, fiscalização, zoneamento, criação de reservas, padrões de qualidade, níveis de emissões, normas técnicas e estudos técnicos de referência) e as ações econômicas para compensar as consequências das externalidades negativas geradas pela exploração dos recursos naturais. Esses instrumentos apresentados têm a finalidade de gerar resultados que atendam simultaneamente à eficácia ambiental, à eficiência econômica e à equidade social. Isso requer a ação de arranjos institucionais para a implantação e gestão desses instrumentos de política pública de modo a responder em tempo às questões socioambientais e econômicas.

Assim, independentemente do alcance dos instrumentos já constituídos, nada se tem em termos de instrumentos amplos direcionados para financiar o desenvolvimento local, fortalecendo os encadeamentos produtivos e comerciais para frente e para trás de um conjunto de atividades socioeconômicas e ambientais, com vista a aumentar a qualidade de vida da população (SANTANA, 2008). Assim, os efeitos históricos dos núcleos de enclave que se formam no entorno desses projetos, com benefício para poucos tendem a ser reduzidos, ao mesmo tempo que se amplia o processo de distribuição da renda, das oportunidades de emprego e o acesso aos serviços públicos por maior parcela da população (SANTANA et al., 2014). A partir desse ponto, novos indicadores que incorporem fatores sociais e ambientais, em conjunto com o PIB *per capita*, podem revelar as mudanças produzidas a partir da utilização dos recursos

naturais e dos impostos pagos pela sociedade local, nacional e, no caso da Amazônia, de toda a humanidade.

Nesse contexto, os projetos de investimento na Amazônia definam um crédito tributário e o valor socioambiental e econômico dos danos causados à natureza e à sociedade para constituir um **fundo de recebíveis socioambiental (FRS)** para o fomento permanente do desenvolvimento regional, cuja gestão deve ser feita por um arranjo institucional, com a liderança do Banco da Amazônia, por exemplo, por ser a principal instituição financiadora dos projetos voltados para o desenvolvimento regional.

A proposição é que seja definido um valor, composto pelos créditos tributários e pela compensação social e ambiental pagos pelos grandes projetos implantados na Amazônia, visando contribuir de forma permanente com o desenvolvimento sustentável regional. Portanto, o fundo deve ser composto pelos recursos oriundos das compensações, utilizando o valor dos ativos naturais explorados e remanescentes nas “áreas protegidas” o valor das externalidades estimadas com base na preferência declarada pela sociedade quanto a Disposição a Pagar (DAP) ou a Disposição a Aceitar (DAA) pelos recursos que não têm preço de mercado e a estimativa do excedente econômico total para os produtos que têm preço de mercado.

Por fim, os recursos desse fundo é fundamental dentro de uma política de desenvolvimento como liberdade para as populações tradicionais, conforme Sen (2000), de modo a contribuir para mudar a trajetória histórica de exclusão protagonizada pelos grandes empreendimentos formadores de enclaves na Amazônia que, independentemente da forma de exploração dos recursos naturais e do contingente populacional afetado, sempre resultam em acumulação de riqueza para uma minoria e em um grande passivo ambiental e social no local e em seu entorno.

### **Fundamento conceitual do fundo de recebíveis**

O Banco da Amazônia pode criar um fundo de investimento, que deve assumir as características do Fundo de Investimento em Direitos Creditórios (FIDC), introduzido no Brasil ao final de 2001 pela Resolução CMN 2907.

Conforme Pinheiro e Savoia (2009), em que o ativo desse tipo de fundo representa os direitos creditórios que definem o crédito originário de operações realizadas pelos segmentos financeiros, de empresas diversas, prestação de serviços e, nesse caso, pelos recebíveis oriundos dos valores pagos como compensação por créditos tributários e danos causados ao meio ambiente (pela destruição dos recursos naturais renováveis e não renováveis) e à sociedade pelos grandes projetos implantados e/ou a serem implantados na Amazônia e que vão formar o lastro desse fundo de recebíveis.

A partir desse fundo, conforme Kendall e Fishman (1996), o BNDES pode exercer a função de gestor do fundo, mediante o lançamento de papéis e/ou quotas no mercado para a busca de investidores com interesse no rendimento de tais papéis, ao longo do tempo, que são lastreados nos recebíveis das compensações e tributos pagos pelos grandes projetos de investimento na Amazônia. Essa é uma forma de apoiar o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias apropriadas e alavancar endogenamente micro e pequenos projetos socioeconômicos e ambientais, aproveitando as vantagens e potencialidades humanas e tecnológicas locais, de forma a mover os efeitos de encadeamento do desenvolvimento sustentável. Dessa forma, pode-se efetivamente contribuir para desfazer a tendência generalizada da formação de enclaves econômicos nos municípios-sede que convivem com os níveis elevados de pobreza nas áreas do seu entorno.

Os fundos de recebíveis vêm se consolidando como instrumento eficiente de captação de recursos para empresas no mercado de capitais brasileiro e que, no caso da Amazônia, poderia ser criado e implantado na forma de um **Fundo de Recebíveis Socioambiental** a ser constituído pelos direitos de crédito tributários e o valor das compensações a serem pagas por danos ao capital ambiental às populações pobres afetadas pelos grandes projetos, cuja primazia envolve o financiamento de pesquisas e implantação de micro e pequenos negócios, criação e implantação de núcleos habitacionais e outros projetos de interesse social e ambiental, como forma de estruturar e adensar as cadeias produtivas nas áreas do entorno de tais projetos e melhorar a qualidade de vida da população regional.

Uma vez determinada a magnitude desses valores, faz-se a sua integralização como ativo do FRS para financiar o desenvolvimento regional, a partir de investimentos sob condições diferenciadas a micro e pequenos empreendimentos com fins socioeconômicos no território de sua influência. A forma da estrutura da securitização e da operacionalidade do fundo cabe ao arranjo institucional proponente e gestor do fundo.

Portanto, a efetivação e acompanhamento do FRS tem como condição necessária a construção de indicadores socioeconômicos, ambientais e institucionais para complementar os indicadores tradicionalmente que traduzem o desempenho econômico, a vulnerabilidade social da população e os impactos sobre os recursos ambientais.

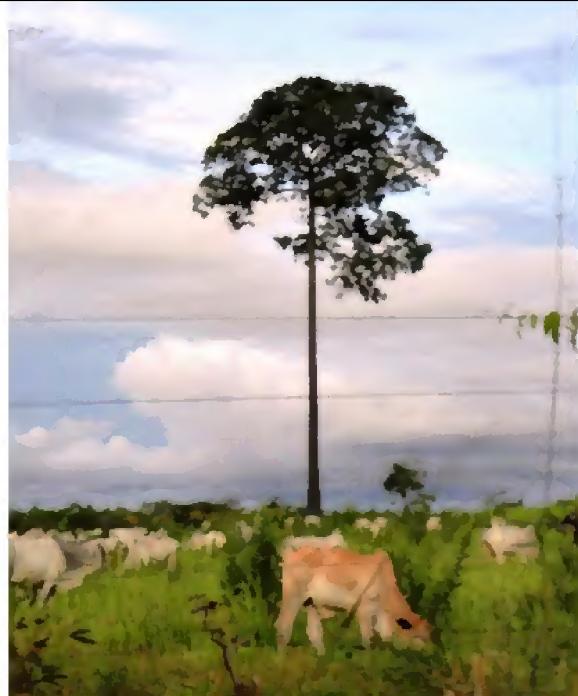
Tais indicadores devem ser concebidos a partir da efetivação de pesquisas empíricas sustentadas no rigor metodológico e científico cujos resultados servem de apoio à tomada de decisão dos gestores públicos e dos gestores do fundo, ao mesmo tempo em que ofertam à sociedade o insumo necessário para fundamentar as discussões sobre a importância dos grandes projetos na região amazônica, seus benefícios e o custo a ser arcado pelas gerações atual e futura.

## APÊNDICE D – FOTOS DE CASTANHEIRAS E DA CASTANHA

As fotos das Figuras A7 e A8 ilustram castanheiras em ambiente natural, áreas de pastagens, áreas manejadas com alta densidade de plantas, áreas preparadas para lavouras de grãos, coleta e quebra do ouriço da castanha, castanha com casca e produtos diversos fabricados com a castanha-do-brasil.



**Foto A.** Castanheira em ambiente natural.



**Foto B.** Castanheira em área de pasto.



**Foto C.** Castanheira em área manejada.



**Foto D.** Castanheira em área de lavoura.

**Figura A7.** Castanheiras em áreas nativa, de pasto, de manejo e de lavoura no estado do Pará.

As fotos da Figura A8 representam a castanha-do-brasil com casca em pacotes para a venda em mercado de produtor e castanha a granel no armazém de uma fábrica.



Foto E. Coleta e quebra da castanha-do-brasil



Foto F. Ouriço e amêndoas de castanha



Foto G. Castanha com casca para a venda no mercado do Ver-O-Peso.



Foto H. Castanha com casca no armazém de uma fábrica.



Foto I. Cosmético produzido da castanha



Foto J. Paçoca de castanha

Figura A8. Castanha-do-brasil a venda no estado e no armazém de uma fábrica do estado do Pará.

## APÊNDICE E – MÉTODO INTEGRADO DE AVALIAÇÃO CONTINGENTE

A valorização dos recursos naturais restringia-se aos métodos do valor instrumental, que incorporava apenas os aspectos econômicos do capital natural. Ou seja, reconhece o valor dos produtos e serviços do ativo ambiental transacionado nos mercados. Acontece que os ativos ambientais são multifuncionais sendo, ou não sendo, transacionados nos mercados. Portanto, qualquer análise parcial, que leva em conta a percepção econômica, sem a adequada incorporação dos aspectos ecológicos, tende a enviesar o valor monetário do ativo ambiental. Sendo assim, a pesquisa utilizou uma abordagem integrada dos postulados econômicos e ecológicos para representar a dimensão holística que a valoração da natureza requer.

Assim, o Método Integrado de Avaliação Contingente (MIAC), que iniciou fortemente ancorado nos postulados da economia ambiental (aplicação da Teoria Neoclássica aos ativos ambientais), teve o primeiro de ensaio da combinação dos conhecimentos da Economia Neoclássica com a Economia Ecológica realizado por Ciriacy-Wantrup (1947) ao sugerir que os benefícios extra-mercado da conservação de solos podiam ser mensurados por meio da Disposição a Pagar (DAP), declarada em pesquisa de entrevista e, também, indicar limites e erros de comportamento gerados nas estratégias dos entrevistados. Mais de 50 anos depois, os estudos em busca da consolidação do MIAC avançaram em muitas direções, de maneira a avaliar e superar a maioria das críticas de alguns representantes da Teoria Neoclássica (WEISBROD, 1964), conforme revelam as pesquisas que avançaram no processo de integração desses aportes de conhecimento na forma do modelo MIAC (BISHOP, 1978; MITCHELL; CARSON, 1989; BARBIER; HAUSMAN, 1992; ARROW et al., 1993; HANEMANN, 1994; FARBER et al., 2002; LIU et al., 2010; SANTANA, 2014).

O MIAC foi estudado por Kenneth Arrow e Robert Solow, dois ganhadores do Prêmio Nobel em Economia, com o objetivo de aferir seu potencial como instrumento de avaliação do valor de danos ambientais e do passivo perdido. Uma das conclusões foi que

“os estudos conduzidos com o MIAC podem gerar estimativas confiáveis e suficientes como ponto de partida

para uma decisão judicial ou administrativa sobre danos causados aos ativos ambientais, incluído os valores do passivo perdido" (ARROW et al., 1993, p.35).

O MIAC é o método mais versátil, estudado e aplicado para medir o valor de ativos ambientais por incorporar o valor de opção e/ou de existência dos ativos ambientais. Carson e Louviere (2011) identificaram mais de 7.500 artigos e estudos sobre a aplicação do método da avaliação contingente em mais de 130 países, envolvendo aspectos culturais, ambientais, saúde, transporte, energia etc., com diversos graus de integração entre os enfoques econômicos, sociais e ecológicos. A partir desses resultados, podem-se orientar estudos específicos e complementares sobre recursos endêmicos e outros aspectos multifuncionais dos ativos ambientais quando necessários ao desenho de políticas públicas de regulação dos estoques disponíveis na natureza.

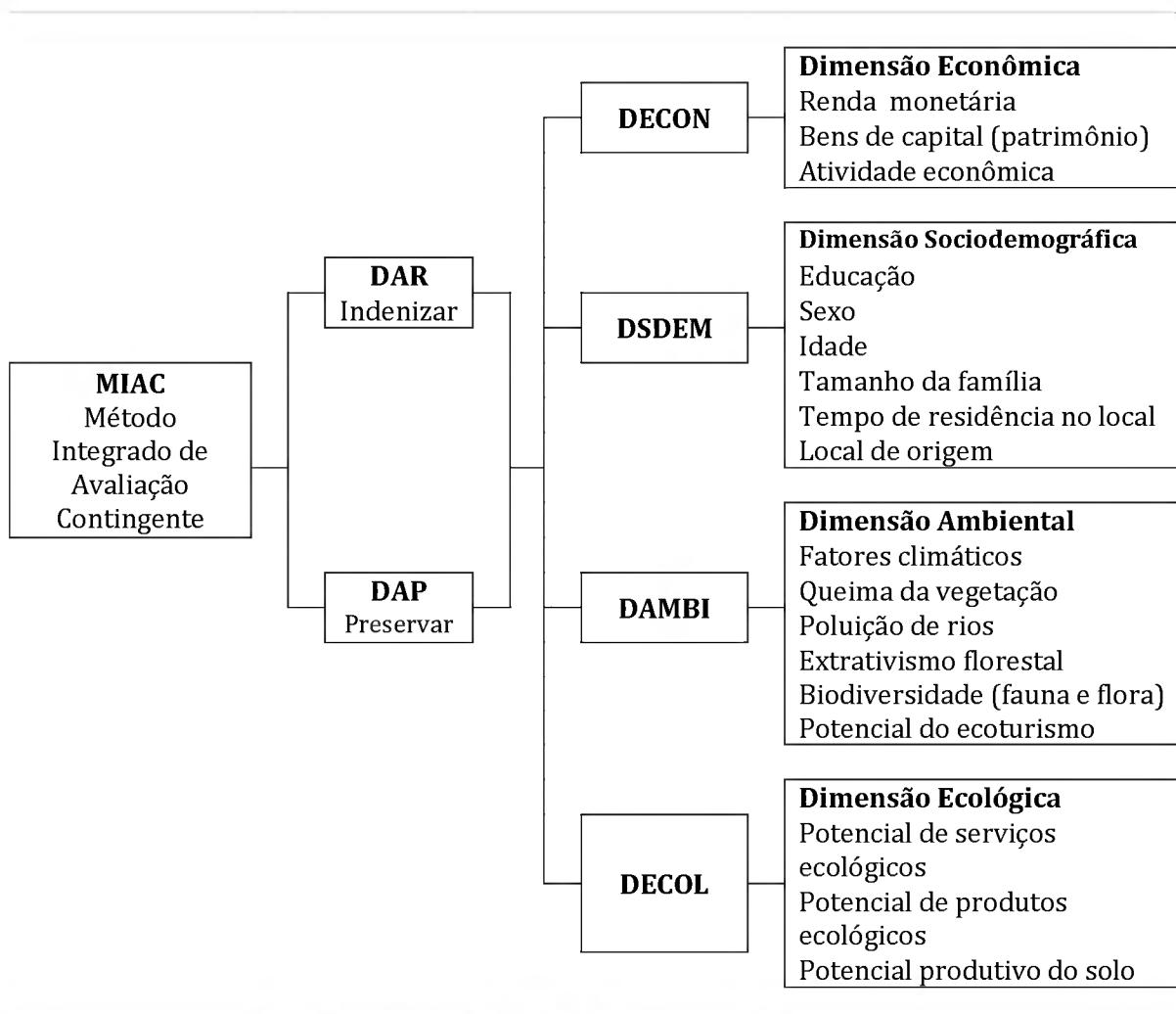
Santana (2014), ampliou o tradicional método avaliação contingente para incorporar os fatores socioeconômicos e ecológicos de forma integrada, ao considerar os fluxos de produtos e de serviços ecossistêmicos dos ativos ambientais na determinação do valor econômico total dos recursos naturais. Além disso, aplicou pioneiramente a especificação do MIAC na forma de equações aparentemente não relacionadas, dado que até os modelos eram especificados na forma de equações individuais.

O método avaliação contingente tradicional contempla as dimensões econômica (DECON) e sociodemográfica (DSDEM) e uma ou outra variável de interesse incluída na dimensão ambiental (DAMBI). Portanto, ancora-se fortemente na aplicação dos princípios da Teoria Neoclássica aos recursos naturais, sem a preocupação com a multifuncionalidade do capital natural. Além disso, muitas variáveis *dummy* são incorporadas ao modelo para captar a influência dos efeitos sociais e ambientais. Porém, a maioria não apresentava significância estatística por problemas estatísticos causados ao modelo econômético.

As dimensões ambiental e ecológica representam o conceito de ativo natural e os respectivos serviços ecossistêmicos. Santana (2014), incluiu a dimensão DAMBI para captar os efeitos dos serviços de regulação, culturais e de provisão inerentes à Flona de Carajás e a dimensão DECOL para incorporar os

serviços de provisão, suporte das propriedades naturais dos recursos, funções ecológicas e serviços culturais.

Assim, o MIAC incorpora explicitamente estas dimensões na sua especificação para estimar o valor declarado da Disposição a Pagar (preservação do recurso, garantir um benefício ou evitar uma perda) e o valor da Disposição a Aceitar - DAA (indenização para deixar suprimir ou explorar o recurso, compensar uma perda, precaução pela não obtenção de um benefício). Assim, o valor de uso e o valor de não uso são explicitamente contemplados no modelo, mediante as variáveis contidas em ambas as dimensões.



**Figura A9.** Representação esquemática do modelo integrado de avaliação contingente formulado para estimar o valor econômico total do ativo natural.

Dado o grande número de variáveis categóricas utilizado para qualificar as diversas funções do ecossistema nas dimensões ambiental e ecológica, deve-se aplicar a técnica de análise fatorial para gerar indicadores representativos

dessas dimensões e solucionar os problemas econométricos identificados em diversos estudos consultados.

A especificação condensada do MIAC é a seguinte:

$$\text{MIAC} \left| \begin{array}{l} DAP = f(DEC\text{ON}, DSDEM, DAMBI, DECOL; \alpha) \\ DAA = f(DEC\text{ON}, DSDEM, DAMBI, DECOL; \beta) \end{array} \right.$$

Em que  $\alpha$  e  $\beta$  são os vetores de parâmetros a serem estimados.

Portanto, ao fazer a integração entre a Economia Neoclássica e a Economia Ecológica, o MIAC pode gerar o valor econômico total dos recursos de forma mais consistente com a realidade.

### Modelo de equações aparentemente não relacionadas

A especificação econômica das equações de disposição a pagar (DAP) pela preservação da canga e disposição a aceitar (DAA) como indenização pela supressão da vegetação da canga e viabilizar a extração do minério de ferro foi desenhada por um sistema de equações aparentemente não relacionadas, conforme Santana (1999) e Santana e Ribeiro (2008). Assume-se que os termos de erro das equações estão correlacionados. Assim, a estimativa separada de cada equação não considera a informação sobre a correlação mutual dos termos de erro e a eficiência dos estimadores torna-se questionável (KMENTA, 1978).

O sistema de equações aparentemente não relacionadas, conhecido na literatura como modelo SUR (*Seemingly Unrelated Regressions*) na forma irrestrita é dado por Greene (2011):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & x_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_M \end{bmatrix}$$

$$Y_m = \beta_m X_m + u_m \quad (m = 1, 2)$$

Na equação,  $Y_m$  representa o vetor de dimensão ( $T \times 1$ ) das observações amostrais das variáveis dependentes (DAP e DAA);  $X_m$  representa a matriz ( $T \times K_m$ ) com os valores das observações das variáveis explanatórias correspondentes

aos fatores sociais, educacionais, econômicos e ambientais;  $\beta_m$  é um vetor ( $K_m \times 1$ ) dos parâmetros das equações a serem estimados e  $u_m$  é um vetor ( $T \times 1$ ) dos valores amostrais dos erros aleatórios.

Assume-se que o termo de erro  $u_m$  apresenta distribuição normal com média

$$E(e_{mt}) = 0, \text{ com } (t = 1, 2, \dots, T)$$

E a matriz de variância e covariância é dada por

$$E(u_m, u_m') = \sigma_{mm} I_T.$$

Adicionalmente, assume-se a possibilidade de que os erros das equações não sejam mutuamente exclusivos. Neste caso, tem-se que a matriz de variância e covariância com os erros da  $m$ -ésima e da  $p$ -ésima equação apresentando vínculos. Como esse erro deve ser sutil, conforme Kmenta (1978), o sistema denomina-se de aparentemente não correlacionado e a matriz de covariância é dada por:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1M} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \cdots & \sigma_{MM} \end{bmatrix}$$

$$E(u_m, u_p') = V = \Sigma \otimes I = \sigma_{mp} I_T, \text{ com } (m, p = 1, 2, \dots, T)$$

$$V^{-1} = \Sigma^{-1} \otimes I$$

Assim, conforme Greene (1997), o vetor dos parâmetros estimados de forma não tendenciosa é dado pela fórmula de mínimos quadrados generalizados:

$$\beta = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}Y = [X'(\Sigma^{-1} \otimes I)X]^{-1}X'(\Sigma^{-1} \otimes I)Y$$

Assume-se que o modelo não apresenta problema de autocorrelação serial nos resíduos, uma vez que se trata de amostra de dados longitudinal.





