

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

GEORGE CORRÊA AMARO

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO ECONÔMICA
DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Porto Alegre

2010

GEORGE CORRÊA AMARO

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO ECONÔMICA
DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia, modalidade Profissional, do curso de Mestrado Interinstitucional UFRGS/Universidade Federal de Roraima.

Orientador: **Stefano Florissi**

Porto Alegre

2010

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
Responsável: Biblioteca Gládis W. do Amaral, Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS

A485m

Amaro, George Corrêa.

Modelagem e simulação econômica de sistemas agroflorestais na
Amazônia brasileira – Porto Alegre, 2010.
117 f.

Ênfase em Desenvolvimento e Integração Econômica;
Orientador: Stefano Florissi.

Dissertação (Mestrado Profissional Interinstitucional em Economia) –
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências
Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Economia, Porto Alegre;
Universidade Federal de Roraima, 2010.

1. Economia florestal. 2. Sistemas agroflorestais. 3. Modelo
econométrico. I. Florissi, Stefano. II. Universidade Federal do Rio
Grande do Sul. Faculdade de Ciências Econômicas. Programa de Pós-
Graduação em Economia. III. Título.

CDU 631.151

GEORGE CORRÊA AMARO

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO ECONÔMICA
DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia, modalidade Profissional, do curso de Mestrado Interinstitucional UFRGS/Universidade Federal de Roraima.

Aprovada em: Porto Alegre, 22 de novembro de 2010.

Prof. Dr. Stefano Florissi - orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Edson Damas
Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Marcelo Francia Arco-Verde
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. Sabino da Silva Pôrto Júnior
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

À minha mãe,
por nunca ter desistido dos seus sonhos...
(*in memoriam*)

À minha avó,
pelo seu exemplo, pela sua força e sua luta, que sempre me fizeram acreditar em sonhos...
(*in memoriam*)

À minha esposa,
por sempre compartilhar os seus e os meus sonhos...

À minha filha,
por representar novos sonhos, a cada dia...

Aos meus amigos do coração (eles sabem quem são!),
que sempre têm, em seus corações, um cantinho para mim, minhas manias e devaneios...

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Marcelo Francia Arco-Verde, pelo incansável apoio (desde sempre!), pela confiança e amizade e, fundamentalmente, pelo companheirismo e por ser uma inspiração no trabalho para a Amazônia e pela Embrapa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Stefano Florissi, pelos *insights* econômicos, por ter despertado minha paixão pela economia, por “abrir muitas janelas”, pelos “mergulhos no lago”, pela amizade e por, a cada dia, reinventar formas para buscar entender o mundo.

Ao Prof. Dr. Sabino da Silva Pôrto Júnior, pelas aulas repletas de verdades, por me ajudar na busca do raciocínio econômico e por “construir tempo” para avaliar, sempre de forma instrutiva e carinhosa, meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Damas, por sempre ter acreditado e apoiado o projeto deste Mestrado, pelo exemplo de estudos, conhecimento e dedicação e, principalmente, por todo o incentivo.

Ao Prof. Dr. Ronald Otto Hillbrecht, por todo esforço na Coordenação deste curso de Mestrado, por compartilhar seu apurado senso econômico, pela paciência, sempre presente em suas considerações e, finalmente, por suas construtivas e amigas avaliações.

Ao Prof. Dr. Ricardo Sgrillo por, mesmo sem me conhecer, ter o desprendimento de discutir, explicar e corrigir meus modelos, me ensinando a humildade de saber e compartilhar.

Ao meu querido amigo de modelos solitários, Moisés Mourão Júnior, pelo eterno incentivo e pelas valiosas conversas e sugestões.

Ao Núcleo de Estudos Comparados da Amazônia e do Caribe – NECAR, da Universidade Federal de Roraima – UFRR, nas pessoas do Prof. MSc. Haroldo Eurico Amoras dos Santos, Prof. Dr. Mauro Luiz Schmitz Ferreira, Prof^a. MSc. Ana Zuleide Barroso da Silva e Prof. Dr. Edson Damas, pelo esforço e dedicação para a concretização deste curso de Mestrado, pelo apoio sempre presente no dia-a-dia e pelas aulas e conversas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGE, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, pela excelência em educação superior que representa e pela oportunidade para desvendar um pouco do mágico universo econômico através de seus mestres.

A todos os professores do Minter em Economia PPGE/UFRGS/UFRR, cuja contribuição direta é maior do que jamais serei capaz de expressar, tanto pelas aulas, quanto pelas conversas, fontes incomensuráveis de idéias e motivação.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, em especial à Embrapa Roraima, representada pelo seu Chefe Geral, Dr. Francisco Joaci de Freitas Luz, e pelo Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento, Dr. Marcelo Francia Arco-Verde, pelo estímulo, reconhecimento e, acima de tudo, pela compreensão e apoio constantes.

A Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA, ao Governo do Estado de Roraima e às organizações parceiras do NECAR/UFRR pelo apoio à realização deste curso de Mestrado.

Às queridas Iara, Raquel, Delourdes, da Secretaria do PPGE/UFRRGS, Ingrid e Lu, da Secretaria do NECAR/UFRR, pelo apoio, presteza, paciência, amizade e carinho com que sempre trataram as questões de natureza burocrática, viabilizando o caminho à conclusão do curso e, em especial, por terem me auxiliado prontamente para vencer as questões de natureza burocrática pertinentes, mas para as quais meu tempo era limitado.

À Jeana, bibliotecária da Embrapa Roraima, pelo apoio nas revisões das normas e à Lilian, bibliotecária da FCE/UFRRGS, pela revisão final extremamente rápida e precisa.

Aos queridos, saudosos e sempre presentes em meu coração e memória, colegas da 2ª. Turma do Minter em Economia PPGE/UFRRGS/UFRR, por terem tido a paciência para me ouvir, por compartilharem comigo vários momentos de coleguismo, carinho e amizade e pela motivação que suas presenças e idéias sempre me proporcionaram.

Aos amigos, pelas palavras de incentivo e pelo carinho, combustíveis para novas aventuras, sempre.

Finalmente, um agradecimento especial e eternamente apaixonado à Janaina, minha esposa, e à Bianca, minha filha, por seu amor, carinho e, sobretudo, pela cumplicidade e paciência: o que me torno a cada dia, devo boa parte a vocês e à nossa inspiração juntos.

“We shall not cease from exploration,
and the end of all our exploring will be to arrive
where we started and know the place for the first time.”

“What we call the beginning is often the end.
And to make an end is to make a beginning.
The end is where we start from.”

(T. S. Eliot)

Contrariwise, if it was so, it might be;
and if it were so, it would be;
but as it isn't, it ain't. That's logic.

(Lewis Carrol)

Resumo

O principal objetivo do trabalho foi avaliar o impacto no bem-estar social e a viabilidade financeira de sistemas agroflorestais (SAFs) na Amazônia brasileira com a utilização de modelos de simulação desenvolvidos com dinâmica de sistemas. Para isso foi proposto um SAF teórico de referência, elaborado a partir de informações reais de experimentos de longa duração disponibilizados através de diversas publicações e a partir das características edafoclimáticas e socioeconômicas dos municípios cobertos pela Operação Arco Verde. O modelo agrossilvicultural apresentado é composto por culturas anuais, cultivadas durante implantação do sistema e em uma faixa especificamente destinada a esse fim, uma fruteira semi-perene e outra perene, uma espécie florestal e outra destinada à adubação verde. As espécies utilizadas para esse sistema foram mandioca (*Manihot sculenta*), milho (*Zea mays*), banana (*Musa spp.*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e ingá (*Inga edulis*). Para o planejamento e análise financeira, foi desenvolvida uma planilha em Excel e simulações juntamente com análises de sensibilidade e das distribuições de probabilidade de alguns indicadores foram realizadas através de modelos de dinâmica de sistemas desenvolvidos com o Vensim DSS. O sistema de referência proposto apresentou-se capaz de gerar receitas durante todo o ciclo de cultivo, estimado em vinte anos, sendo viável financeiramente. Foi constatada a alta sensibilidade de SAFs à utilização de mão-de-obra familiar e às variações na taxa de juros. Além disso, foi verificada a baixa sensibilidade dos SAFs a variações nos preços dos produtos, caracterizando oferta inelástica. Um modelo de simulação para avaliar a adoção de SAFs em substituição a sistemas de produção não sustentáveis e suas relações com o estado do ambiente e com a oferta de serviços ambientais foi desenvolvido posteriormente. Após as simulações em vários cenários e a realização de análises de sensibilidade, com base no comportamento do modelo e na dinâmica das alterações pertinentes às éticas de consumo e de produção pode-se afirmar que, mediante à multifuncionalidade da agricultura e à produção conjunta de *commodities* agrícolas e de serviços ambientais pelos SAFs, aumentos na disposição a pagar, como forma de remuneração por serviços ambientais produzidos conjuntamente pelos SAFs, influenciam a dinâmica da adoção de sistemas agroflorestais e a utilização de SAFs na Amazônia brasileira promove acréscimos no bem-estar social, a partir do aumento de utilidade caracterizado por níveis mais altos de serviços ambientais.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais. Modelagem e Simulação. Dinâmica de Sistemas. Economia. Amazônia.

Abstract

This work had as its main objective to assess the financial viability and the impact on social welfare of agroforestry systems (AFS) in the Brazilian Amazon with the use of system dynamics simulation models. For this it was proposed a theoretical reference AFS based on information compiled from actual long-term experiments available through various publications and from the soil, climate and socioeconomic characteristics of the municipalities covered by Operação Arco Verde. The agroforestry model presented is composed of annual crops grown for system deployment and in a band specifically designated for such purposes, a fruit and a semi-evergreen perennial, one forest species and another devoted to green manure. The species used for this system were cassava (*Manihot sculenta*), maize (*Zea maiz*), banana (*Musa spp.*) cupuassu (*Theobroma grandiflorum*), brazil-nut (*Bertholletia excelsa*) and inga (*Inga edulis*). For financial planning and analysis, it was developed an Excel spreadsheet and simulations along with sensitivity analysis and probability distributions of some indicators were done using system dynamic models developed with Vensim DSS. The reference system proposed was able to generate revenue during the entire crop cycle, estimated at twenty years, being financially viable. It was noted the high sensitivity of AFS to the use of family manpower and to changes in interest rates. Moreover, there was the low sensitivity of AFS to variations in product prices, characterizing inelastic supply. A simulation model to evaluate the adoption of agroforestry systems to replace non-sustainable production systems and their relations with the state of the environment and the provision of environmental services was developed later. After the simulations in various scenarios and conducting sensitivity analysis, based on the model behavior and dynamics of the relevant amendments to the ethics of consumption and production, can be stated, upon the multifunctionality of agriculture and the joint production of agricultural commodities and environmental services, that increases in willingness to pay, as compensation for environmental services produced jointly by the AFS, influence the dynamics of the adoption of agroforestry and the use of agroforestry systems in the Brazilian Amazon promotes increases in social welfare from increasing utility characterized by higher levels of environmental services.

tKeywords: Agroforestry. Modeling and Simulation. System Dynamics. Economy. Amazon.

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Hipóteses	14
1.2	Objetivos.....	14
2	Revisão de Literatura.....	16
2.1	A Amazônia Brasileira	16
2.2	Sistemas Agroflorestais (SAFs) e seu uso na Amazônia Brasileira	18
2.3	Externalidades, Bens e Serviços Ambientais	24
2.4	A Multifuncionalidade da Agricultura	34
2.5	Bem-Estar Social e Sistemas Agroflorestais	39
2.6	Modelagem e Simulação com Dinâmica de Sistemas	43
3	Material e Métodos.....	46
3.1	Caracterização da Área de Estudo	46
3.2	Formulação e Descrição do Sistema Agroflorestal de Referência	55
3.3	Avaliação Financeira	63
3.4	Modelagem e Simulação	66
4	Resultados e Discussão.....	68
4.1	Modelos Heurísticos do Bem-Estar Social a partir da Adoção de SAFs.....	68
4.2	Modelos de Dinâmica de Sistemas.....	73
4.3	Avaliação Financeira do SAF de referência proposto	78
4.4	Simulações da Adoção de SAFs na Amazônia Brasileira	89
5	Conclusões.....	96
6	Considerações Finais	97
	Referências	98
	APÊNDICE A – Coeficientes Técnicos do SAF de Referência.....	107
	APÊNDICE B – Planilha para Planejamento e Avaliação Financeira de SAFs	115
	APÊNDICE C – Modelo de Simulação da Substituição de Sistemas Produtivos Não Sustentáveis por SAFs	117

1 Introdução

A região Amazônica ocupa uma área de aproximadamente 6 milhões de km², sendo que cerca de 60% estão em território brasileiro (RODRIGUES, 1996). A ocupação recente dessa região está vinculada à migração em massa, de pessoas atraídas por programas de colonização, incentivos fiscais, pelo desenvolvimento de infra-estrutura e pelas novas oportunidades econômicas.

As práticas de cultivo adotadas pelos migrantes intensificaram os efeitos da agricultura que tradicionalmente vinha sendo praticada na região, com o auxílio da “derruba e queima” e com um longo período de pousio. Do mesmo modo, a extração vegetal, até então voltada ao extrativismo de produtos florestais não madeireiros, deu lugar à exploração madeireira e à pecuária extensiva (ROSA et alli, 2009).

Tais mudanças provocaram sérios impactos na forma de exploração e uso dos recursos naturais da região Amazônica, acelerando o seu processo de degradação, seguindo a seguinte dinâmica: a) abertura de estradas; b) chegada em massa de migrantes; c) extração de madeira; d) derrubada e queima da floresta primária; e) plantio de culturas agrícolas anuais ou pastagem; f) pousio da floresta secundária; g) derrubada e queima da floresta secundária; e h) plantio de culturas agrícolas anuais ou pastagem (ROSA, 2002 apud ROSA et alli, 2009). Dependendo da capacidade de suporte dos recursos naturais, esta última etapa pode-se repetir por vários anos. No entanto, quando a pressão sobre os recursos naturais ultrapassa essa capacidade de recuperação e o nível de tecnologia empregado é muito baixo, os agricultores tendem a migrar para novas áreas de fronteira agrícola ou para as grandes cidades da região (ROSA et alli, 2009).

A lógica de valorização da terra, dentro desse novo contexto na Amazônia brasileira, passa a ser baseada na conversão das florestas nativas em sistemas de produção agropecuários, impulsionando os agricultores a expandir suas áreas de produção, as quais,

com o decorrer do tempo, passam a ampliar os espaços pertinentes às áreas antropizadas por atividades agropecuárias e madeireiras, formando o que se denomina de “áreas alteradas”.

O resultado dessa lógica ao longo do tempo gerou um decréscimo de cerca de 15% da cobertura vegetal da Amazônia Legal até 2009, sendo a média anual de desmatamento entre 1998 e 2009 de 17,2 mil km² (PEREIRA et alli, 2010). Em julho de 2010, o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) detectou 155 km² de desmatamentos na Amazônia Legal, do total de 1.488 km² desmatados entre agosto de 2009 e julho de 2010 o que, mesmo assim, representa uma redução de 16% entre o período anterior (HAYASHI et alli, 2010).

O desmatamento se concentra especialmente em uma área denominada Arco do Desflorestamento (ou, em outra perspectiva, Arco de Povoamento Adensado), que se estende desde o oeste do Estado do Maranhão, passando por Tocantins, parte do Pará e do Mato Grosso, todo o Estado de Rondônia, o sul do Amazonas chegando ao Acre. Através das rodovias federais, estaduais e estradas vicinais, muitas das quais clandestinas, a cada ano esse Arco avança mais para o interior da Amazônia. Além disso, surgem novas frentes de desmatamento, como as que ocorrem em Roraima, e na calha norte do Pará e Amazonas. Na perspectiva do Povoamento Adensado, este Arco deveria ser estruturado sob a ótica do aumento da produtividade econômica sem novos desmatamentos, através da implantação de infraestrutura e estruturas públicas compatíveis com a densidade demográfica e pela formação de mercados adequados à população que nele habita (BRASIL, 2008).

A reação imediata das políticas públicas se deu, na falta de políticas baseadas na sustentabilidade, através da intervenção direta na situação fundiária, determinando a criação de diversas Áreas Protegidas, compostas por Terras Indígenas e Unidades de Conservação, que correspondem a aproximadamente 44% da Amazônia Legal está nessas áreas, 23% são áreas privadas. As áreas especiais, tais como assentamentos rurais, terras militares e áreas de comunidades quilombolas, ocupam cerca de 6%. As terras devolutas e terras privadas em disputa compõem aproximadamente 27% da área total (PEREIRA et alli, 2010).

A possibilidade de contrabalancear a pressão econômica que força a utilização de sistemas produtivos não sustentáveis deve se dar na forma de políticas públicas que permitam modificar a ética ambiental¹ subjacente, tanto de consumo quanto de produção, possibilitando

¹ No contexto deste trabalho, entende-se ética ambiental o conjunto de valores que determina como o homem se comporta com relação a si mesmo e em relação a todos os seres vivos, compreendendo um conceito ecocêntrico de ética.

o reconhecimento de que há produção de ativos ambientais, de forma não intencional, mas direta, a partir da utilização de sistemas de produção sustentáveis, como os SAFs. Alterações no nível de ambientalismo dos agentes econômicos permitiriam alterar as concepções fundiárias relativas à Amazônia.

Basicamente, políticas microeconômicas buscam reduzir o efeito da escassez de recursos ou distribuir seu peso de uma forma mais razoável e, de acordo com Tisdell e Hartley (2008), podem ser incluídas em quatro categorias: a) as que afetam a eficiência econômica na alocação de recursos como, por exemplo, as políticas de pagamento por serviços ambientais (SAs) ou subsídios para adoção de SAFs na Amazônia brasileira, tendo como base os conceitos da multifuncionalidade da agricultura e da produção conjunta; b) aquelas que afetam o emprego, ou seja, políticas de incentivo ao uso e remuneração da mão-de-obra familiar ou à utilização de sistemas produtivos que permitam um fluxo de caixa contínuo e bem distribuído ao longo do tempo; c) que influenciam o crescimento econômico, com o incentivo à adoção de sistemas produtivos em maior consonância com as questões ambientais, os investimentos em pesquisas de sistemas alternativos à “derruba e queima” e na informação dos consumidores para o desenvolvimento de uma consciência de consumo ligada ao respeito à sustentabilidade e à natureza; e, d) que alteram a distribuição de renda, como as políticas de tributação ou aquelas voltadas aos benefícios do bem-estar social.

Dessa forma, políticas voltadas ao incentivo à adoção de SAFs poderiam perfeitamente pertencer a todas as categorias apresentadas, reforçando a importância de que sejam pensadas e implementadas de maneiras adequadas, principalmente no que diz respeito à definição de seus efeitos.

A proposta deste trabalho, não é utilizar métodos escalares para proporcionar avaliações econômicas pertinentes a políticas, mas sim basear do bem-estar social decorrente da adoção de SAFs na Amazônia em um método dinâmico, que permita captar o conceito de sustentabilidade através da expressão de algumas das relações existentes entre os agentes econômicos envolvidos com a utilização de modelos de simulação.

Page after page of professional economic journals are filled with mathematical formulas leading the reader from sets of more or less plausible but entirely arbitrary assumptions to precisely stated but irrelevant theoretical conclusions. Year after year, economic theorists continue to produce scores of mathematical models and to explore in great detail their formal properties; and the econometricians fit algebraic functions of all possible shapes to essentially the same sets of data without being able to advance, in any perceptible way, a systematic understanding of the structure and the operations of a real economic system (LEONTIEF, 1982, p.104).

Assim, os modelos apresentados devem ser entendidos como um ponto de partida, como ferramentas para pensar as principais questões subjacentes ao desenvolvimento da agropecuária na Amazônia brasileira e de como a intervenção em determinados elementos desse sistema complexo se propagaria, possibilitando um maior entendimento das questões envolvidas e novos questionamentos a respeito de suas relações.

1.1 Hipóteses

- a) os indicadores financeiros dos sistemas agroflorestais apresentam alta sensibilidade às variações nos parâmetros dos modelos;
- b) a remuneração por serviços ambientais produzidos conjuntamente pelos sistemas agroflorestais, através de aumentos na disposição a pagar dos consumidores, pode influenciar a dinâmica da adoção de sistemas agroflorestais;
- c) a utilização de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira promove aumento no bem-estar social;

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver modelos para realizar simulações econômicas de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Os objetivos específicos são:

- a) avaliar a sensibilidade de indicadores financeiros dos modelos de sistemas agroflorestais;
- b) identificar como a remuneração por serviços ambientais produzidos conjuntamente pelos sistemas agroflorestais, através de aumentos na disposição a pagar dos consumidores, pode influenciar a dinâmica da adoção de sistemas agroflorestais;
- c) identificar como o bem-estar social pode ser afetado, a partir de simulações da adoção de sistemas agroflorestais pelos produtores na Amazônia brasileira.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em seis partes principais. A primeira resume o problema e sua importância, as hipóteses e os objetivos do estudo.

A segunda parte apresenta uma revisão das teorias econômicas utilizadas, em especial no que se refere a bens públicos, externalidade e ao bem-estar social associado à adoção de SAFs. São revisados os aspectos multifuncionais da agricultura e também as características fundamentais dos sistemas agroflorestais e da Amazônia brasileira. Finalizando, são apresentados os principais conceitos e fundamentos da dinâmica de sistemas.

A apresentação dos modelos de simulação desenvolvidos com o uso de dinâmica de sistemas, de seus parâmetros e dos cenários propostos para avaliação é feita na terceira parte, juntamente com os métodos de avaliação financeira e econômica de SAFs utilizados para avaliar os resultados de um sistema agroflorestal de referência desenvolvido para a Amazônia brasileira a partir de uma análise dos municípios atendidos pela Operação Arco Verde.

Em seguida são apresentados e discutidos os resultados da análise financeira para o SAF proposto, incluindo a sensibilidade e probabilidade dos indicadores. Apresenta-se e discute-se também a repercussão da substituição de sistemas produtivos não sustentáveis por SAFs, na Amazônia brasileira, com base em simulações realizadas em diversos cenários. Finalizando esta parte, uma tabela destinada a auxiliar o entendimento da dimensão da produção conjunta de serviços ambientais e *commodities* agrícolas pelos sistemas agroflorestais, em termos da tipologia de bens e externalidades adotada, é apresentada.

As conclusões e considerações referentes a políticas públicas voltadas à adoção de SAFs na Amazônia são apresentadas nas duas últimas partes do trabalho, onde ainda se indicam novas possibilidades referentes aos modelos de simulação e a novas pesquisas.

2 Revisão de Literatura

Neste capítulo são apresentados os principais aspectos dos SAFs e de sua utilização na Amazônia brasileira. Segue-se uma revisão sobre bens públicos, externalidades, bens e serviços ambientais e sobre os aspectos multifuncionais da agricultura. Finalizando, são apresentados alguns modelos heurísticos que permitem entender a possibilidade de aumento no bem-estar social a partir de mudanças nos sistemas produtivos, com a adoção de SAFs em substituição à agricultura itinerante.

2.1 A Amazônia Brasileira

A Amazônia Legal é formada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e uma parte do estado do Maranhão (a oeste do meridiano 44 ° W), correspondendo a cerca de 59% do território brasileiro, com uma área total de aproximadamente 5.217.423 Km².

A população da Amazônia Legal aumentou de 8,2 milhões, em 1970, para 17 milhões em 1991, e alcançou quase 24 milhões de habitantes em 2009, o equivalente a 12% da população brasileira. A densidade demográfica era igual a 4,7 habitantes por quilômetro quadrado em 2009 (PEREIRA et alli, 2010).

O PIB da região alcançou 114,04 bilhões de reais em 2003, correspondendo a 7,33% do PIB nacional e 119 bilhões de reais em 2009, cerca de 8% do PIB brasileiro em 2009, conforme o IPEA (2007). Esta participação era de 6,57% em 1990 e de 6,65% em 2000. O PIB *per capita* foi de R\$ 5.027,00 em 2003, o equivalente a 57,8% do PIB *per capita* médio nacional, em função, principalmente, do valor de R\$ 2.354,00, apresentados pelo Maranhão (BRASIL, 2008), passando para R\$ 5,1 mil em 2009 (IPEA, 2007).

A composição do PIB nos estados da Amazônia apresenta-se de forma extremamente diferenciada. A participação do setor agropecuário é excepcional no Mato Grosso (36,3%) e muito elevada no Pará (23,6%), Maranhão (20,3%), Rondônia (18,7%) e Tocantins (14,7%), todos estados que compõem o Arco de Povoamento Adensado, sendo pouco significativa nos estados que formam a Amazônia Ocidental. Já a indústria de transformação tem uma notável participação no PIB do Amazonas (51,5%), com médio destaque no Pará, Maranhão e Acre (BRASIL, 2008).

Participação que deve ser destacada é a da administração pública nos estados de Roraima (56,1%), Acre (41,5%), Amapá (39,2%), Tocantins (25,2%) e Rondônia (25,0%), reflexo da condição de ex-territórios federais e/ou de estados recém criados, fortemente dependentes de verbas federais. Deve-se destacar também o forte peso do setor de construção civil em Tocantins e Rondônia, e da indústria extrativa mineral no Amazonas (BRASIL, 2008).

Aproximadamente 63% da Amazônia Legal são cobertos por florestas densas, abertas e estacionais e 22% são de vegetação nativa não florestal, composta por cerrado, campos naturais e campinaranas, sendo que, até 2009, cerca de 15% dessa cobertura vegetal foi desmatada (PEREIRA et alli, 2010).

A Amazônia abriga um terço das florestas tropicais úmidas do planeta, que concentram cerca de 30% da diversidade biológica mundial e apresentam imenso potencial genético, princípios ativos de inestimável interesse econômico e social e oferta de produtos florestais com alto valor no mercado (BRASIL, 2008).

A Amazonica Legal foi alvo de uma vasta gama de políticas que visavam impulsionar o desenvolvimento econômico. De acordo com Gomes (2007), estas políticas de incentivos fiscais ao capital e a produção, tinham o objetivo de promover e dinamizar a economia bem como de amenizar as diferenças produtivas dos sistemas locais e destes com os sistemas das outras regiões do país, além de ampliar o mercado para os produtos da região amazônica.

As dinâmicas regionais contemporâneas na Amazônia brasileira são decorrentes de novos fatores extra e intra-regionais, tais como o esgotamento das políticas públicas de ocupação do espaço e a resistência de populações regionais à expropriação de suas terras e à negação de sua identidade. Acrescentam-se a isso a expansão da agricultura mecanizada, a organização crescente da sociedade civil, as novas tecnologias de produção e gestão e as redes

de informação e de circulação. Da combinação desses processos resultou um novo cenário competitivo e conflitante entre, por um lado, os interesses que defendem a conservação da biodiversidade e da floresta, vinculadas à garantia dos meios de vida de produtores familiares e comunidades tradicionais e que se expressam nos experimentos de produção sustentável e de gestão de áreas protegidas, e, por outro, os interesses que promovem a exploração madeireira não sustentável e a expansão desordenada da fronteira agropecuária, com fortes tendências de desconsiderar os custos sociais e ambientais para a sociedade (BRASIL, 2008).

O impacto antrópico sobre o meio ambiente, causado principalmente pelas tentativas de suprimir a diversidade e estabelecer monoculturas, tem sido desigual, concentrando-se no Arco do Povoamento Adensado e ao longo de alguns rios e rodovias, enquanto a atividade madeireira e o garimpo penetram a floresta antes das outras atividades (BRASIL, 2008).

A heterogeneidade dos sistemas de produção utilizados na Amazônia brasileira é decorrente da própria diversidade natural e social da região e adoção de sistemas de produção mais adequados a essa diversidade é essencial, não só para a sustentabilidade ambiental, como também para a dinâmica econômica e inclusão social.

2.2 Sistemas Agroflorestais (SAFs) e seu uso na Amazônia Brasileira

A conversão de florestas primárias em outros usos da terra acelerou-se no século XX devido aos efeitos combinados do aumento populacional e da expansão dos mercados (COLCHESTER; LOHMANN, 1993). O cultivo através de “derruba e queima” é considerado, ainda, a principal fonte de desmatamentos. Esse tipo de prática, também conhecida como cultivo itinerante ou agricultura migratória, refere-se ao sistema de uso do solo no qual a cobertura vegetal é derrubada e queimada, cultiva-se com espécies alimentícias por dois ou três anos, sendo a área posteriormente abandonada para regeneração (pousio) com vegetação natural por um outro período de tempo que pode variar de 6 a 15 anos (NAIR, 1987; HUXLEY, 1983).

As características peculiares do uso da terra na região amazônica se resumem na queima da floresta primária para a implantação, principalmente, de sistemas de monocultivo.

Esse é um modelo agrícola comprovadamente não-sustentável, sobretudo em solos de baixa fertilidade natural, como os da região amazônica, onde o sistema derruba e queima causa o desmatamento, a perda da biodiversidade, o aumento das taxas de emissão de carbono, a lixiviação mais rápida dos nutrientes do solo e mantém a pobreza rural (GAMA, 2003).

Tanto a viabilidade econômica quanto a longevidade produtiva são características importantes para sistemas de uso da terra na Amazônia (FRANKE et alli, 1998; SANTANA; TOURINHO, 1998). Sistemas de produção que possibilitem a manutenção da capacidade produtiva do solo, a diminuição do desmatamento, a incorporação de áreas já alteradas ao processo produtivo e o aumento da renda dos agricultores, fixando-os à terra, são fundamentais para o estabelecimento de cultivos contínuos na Amazônia. Entre as opções mais condizentes com essas premissas estão os sistemas agroflorestais (GAMA, 2003).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são caracterizados pelo “[...] uso de árvores mais qualquer outro cultivo, ou pela combinação de árvores com cultivos alimentícios [...]”. Segundo a definição clássica do ICRAF (1983), os SAFs são sistemas de uso da terra em que se combinam, deliberadamente, de maneira consecutiva ou simultânea, na mesma unidade de aproveitamento da terra, espécies arbóreas perenes com cultivos agrícolas anuais, e/ou animais, para obter permanentemente maior produção (VERGARA, 1985).

Para Young (1990) e Fassbender (1993), SAFs referem-se ao sistema de uso da terra com árvores ou arbustos que crescem em associação com os cultivos e/ou pasto em um arranjo espacial em que se tenha interação, tanto ecológica quanto econômica, entre os componentes arbóreos e não-arbóreos do sistema, resultando no aumento e na otimização da produção agrícola de forma sustentável. Dessa forma, os SAFs caracterizam-se pela utilização de árvores, cultivos e/ou animais, em uma mesma unidade de terra, com interações ecológicas e econômicas, buscando a sustentabilidade da produção.

Os SAFs apresentam várias vantagens frente aos sistemas de monocultivo, tais como: utilização mais eficiente do espaço, redução efetiva da erosão, sustentabilidade da produção e estímulo à economia de produção com base participativa (MEDRADO, 2000). Contribuem para recuperar áreas alteradas ou degradadas, permitindo sua utilização novamente no sistema produtivo, de forma que represente uma alternativa para o uso dos recursos naturais, que aumente ou mantenha a produtividade da terra sem ocasionar degradação (MONTAGNINI, 1992).

Existem várias interações biológicas que podem prover vantagens quando bem manejadas, com a utilização dos SAFs: as árvores, além de possibilitar a extração de lenha e madeira, favorecem os sistemas de produção em aspectos tais como a manutenção da ciclagem de nutrientes e o aumento da diversidade de espécies. A ciclagem de nutrientes entre a biomassa e o solo, por sua vez, contribui para manter a produtividade (MONTAGNINI, 1992).

Os SAFs otimizam os efeitos benéficos das interações que ocorrem entre componentes arbóreos, cultivos agrícolas e criação de animais, diversificando produtos, diminuindo a necessidade de insumos externos e reduzindo os impactos ambientais negativos da agricultura convencional (YOUNG, 1990; NAIR, 1993).

O objetivo principal dos SAFs é de otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. Áreas de vegetação secundária, sem expressão econômica e social, podem ser reabilitadas e usadas racionalmente por meio de práticas agroflorestais (ENGEL, 1999).

“Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma opção viável entre os sistemas de produção sustentáveis existentes, com o principal objetivo de contribuir para a segurança alimentar e o bem-estar social e econômico dos produtores rurais, particularmente aqueles de baixa renda, assim como para a conservação dos recursos naturais” (ARCO-VERDE, 2008).

Além disso, de acordo com Gama (2003), a utilização dos SAFs na Amazônia como alternativa à agricultura tradicional, é justificada pela possibilidade de se obter em uma mesma área uma série de bens e serviços ambientais, gerando renda e trabalho por maior período de tempo, permitindo ainda o aproveitamento da mão-de-obra familiar em suas diversas fases de duração.

As principais vantagens da utilização de SAFs são:

- a) consorciação de espécies, o que aumenta a eficiência dos fatores de produção e reduz o risco econômico da inversão (SANTOS, 2000);
- b) ciclagem de nutrientes (CONNOR, 1983; GLOVER; BEER, 1986);
- c) controle de erosão, pela redução do impacto das chuvas, às altas temperaturas e ventos (BUDOWVISK, 1991);

- d) melhoria das condições microclimáticas (SANTOS, 2000);
- e) benefício do sombreamento para algumas culturas (BROONKIRD; FERNANDES; NAIR, 1984);
- f) diminuição da toxidez, acidificação e salinização existente no solo (SANTOS, 2000);
- g) mantém e melhoram a capacidade produtiva da terra (VILAS BOAS, 1991);
- h) permitem que a mão-de-obra seja melhor distribuída ao longo do ano (MAC DICKEN; VERGARA, 1990);
- i) componentes ou produtos de SAFs podem ser utilizados para produção de outros produtos, quer como substrato, quer como forma de sombreamento (SWINKELS; SHERR, 1991);
- j) maiores oportunidades de emprego podem ser geradas pela produção contínua de produtos madeiráveis (SWINKELS; SHERR, 1991);
- k) a alta diversidade de espécies pode contribuir para a diminuição do ataque de pragas (VILAS BOAS, 1991; SMITH et alli, 1996).

Em contrapartida, existem também desvantagens:

- a) competitividade entre componentes vegetais, podendo impactar a produção (SANTOS, 2000);
- b) prejuízos eventuais causados pelo componente animal (SANTOS, 2000);
- c) alelopatia, uma vez que podem ser liberados compostos químicos de um componente vegetal que sejam tóxicos a outro (SANTOS, 2000);
- d) aumento dos riscos de erosão, quando o componente arbóreo apresenta um dossel muito alto e o sombreamento interfere na vegetação rasteira (VILAS BOAS, 1991);
- e) o conhecimento de agricultores e técnicos sobre SAFs é limitado (VILAS BOAS, 1991);
- f) manejo mais complexo do que o de culturas anuais ou de ciclo curto (ALLEGRETTI, 1990 apud SANTOS, 2004);
- g) o componente florestal pode diminuir o rendimento das culturas agrícolas e pastagens (PRICE, 1995);
- h) o adensamento devido à consorciação dificulta a mecanização (SERRÃO; TOLEDO, 1990 apud SANTOS, 2004);
- i) o custo de implantação e monitoramento é mais elevado se comparado ao monocultivo (FERNANDES; SERRÃO, 1992 apud SANTOS, 2004);
- j) muitos produtos têm mercados limitados (SERRÃO; TOLEDO, 1990 apud SANTOS, 2004);

k) faltam estudos econômicos que comprovem sua viabilidade (SANTOS, 2000).

Em uma pesquisa realizada por Ferreira et alli (2009) com cinquenta agricultores familiares no nordeste do Pará, identifica-se uma outra característica importante dos SAFs: em quatro anos de acompanhamento, o número de áreas preparadas através do sistema de derruba e queima foi reduzido em 78%. O resultado imediato disso é a diminuição do avanço das áreas produtivas sobre novas áreas de floresta ou capoeira, o que se deve à capacidade que os SAFs têm de perenizar a área e possibilitar uso múltiplo.

Várias pesquisas têm sido realizadas na região amazônica para avaliar o desempenho de SAFs (ARCO-VERDE, 2008; BRIENZA et alli, 2009; GAMA, 2003; MENDES, 2003; SANTOS, 2000; VEIGA; MARQUES, 2008), entre outros. Com base nas espécies escolhidas e tecnologias disponíveis, os SAFs podem ser dirigidos para uma economia de subsistência ou de mercado (SANTOS, 2000). Dentre as várias espécies utilizadas em SAFs na Amazônia brasileira, podem-se destacar aquelas identificadas nas pesquisas apontadas na tabela 1.

Tabela 1. Algumas espécies utilizadas na formação de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Nome Vulgar	Nome Científico	AC	AP	AM	PA	RR	RO	Fonte
Culturas Anuais								
Arroz	<i>Oriza sativa</i>	☑	■	■	☑	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008; Brienza et alli, 2009; Gama, 2003
Caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	☑	■	■	☑	☑	■	Santos, 2000; Brienza et alli, 2009; Gama, 2003
Mandioca	<i>Manihot sculenta</i>	☑	■	■	■	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008 ; Freitas, 2008; Mendes, 2003
Milho	<i>Zea maiz</i>	☑	■	■	SR	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008; Brienza et alli, 2009; Mendes, 2003
Culturas Semi-perenes								
Banana	<i>Musa spp.</i>	SR	SR	SR	■	■	■	Arco-Verde, 2008; Gama, 2003; Calvi, 2009; Freitas, 2008; Sá et alli, 2008
Maracujá	<i>Passiflora edulis</i>	☑	■	■	■	☑	☑	Santos, 2000; Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Mamão	<i>Carica papaya</i>	☑	■	☑	■	☑	☑	Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Culturas Perenes								
Cupuaçu	<i>Theobroma grandiflorum</i>	■	■	■	■	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008; Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Gama, 2003; Mendes, 2003; Santos, 2004; Sá et alli, 2000

Nome Vulgar	Nome Científico	AC	AP	AM	PA	RR	RO	Fonte
Café	<i>Coffea arabica</i>	SR	SR	SR	SR	SR	■	Gama, 2003; Arco-Verde, 2008; Sá et alli, 2008
Cacau	<i>Theobroma cacao</i>	☑	■	☑	■	SR	■	Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Gama, 2003; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Acerola	<i>Malpighia glabra</i>	☑	■	■	■	☑	☑	Santos, 2000; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Açaí	<i>Euterpe spp.</i>	☑	■	■	■	☑	■	Santos, 2000; Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003; Santos, 2004; Sá et alli, 2008
Pupunha	<i>Bactris gasipaes</i>	■	■	■	■	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008; Gama, 2003; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Santos, 2004; Sá et alli, 2000
Pimenta-do-reino	<i>Piper nigrum</i>	☑	■	☑	■	☑	■	Sanguino, 2004; Gama, 2003; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Espécies Florestais								
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	☑	■	■	■	☑	☑	Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2008; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003; Santos, 2004
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i>	■	■	☑	■	■	■	Arco-Verde, 2008; Gama, 2003; Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2008; Brienza et alli, 2009; Mendes, 2003; Santos, 2004; Sá et alli, 2000
Cedro Doce	<i>Bombacopsis quinata</i>	SR	SR	SR	SR	■	SR	Arco-Verde, 2008
Paricá	<i>Schizolobium parahyba var. amazonicum</i>	☑	■	■	■	■	■	Santos, 2000; Brienza et alli, 2008; Arco-Verde, 2008; Mendes, 2003
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	SR	SR	SR	■	SR	SR	Calvi, 2009
Taxi Branco	<i>Sclerolobium paniculatum</i>	☑	■	☑	■	☑	■	Brienza et alli, 2008
Mogno	<i>Swietenia macrofila</i>	☑	■	■	■	☑	■	Sanguino, 2004; Calvi, 2009; Brienza et alli, 2009; Gama, 2003; Mendes, 2003; Santos, 2004
Espécies Adubadoras								
Ingá	<i>Inga edulis</i>	☑	■	■	☑	■	■	Santos, 2000; Arco-Verde, 2008; Brienza et alli, 2009; Freitas, 2008; Gama, 2003

■ = muitas referências para o estado; ☑ = poucas referências para o estado; SR = sem referências na bibliografia consultada.

Fonte: o autor.

As pesquisas agroflorestais na Amazônia brasileira identificam uma ampla possibilidade de diversificação da produção mediante a associação de diversas espécies nativas e exóticas, integrando-as ainda com a produção animal na mesma área (SMITH et alli, 1998 apud GAMA, 2003).

Associação de cultivos florestais, perenes e anuais, principalmente a partir da utilização de castanha-do-brasil, cupuaçu, cacau, seringueira, cupiúba, ingá, pimenta-do-reino, açaí, dendê, mandioca, banana, pupunha, milho e feijão-caupi, segundo Gama (2003), proporciona uma rápida recuperação do capital investido nos primeiros anos com as culturas agrícolas e a manutenção de uma receita positiva ao longo da duração do sistema, conforme já demonstraram análises financeiras realizadas em SAFs (OLIVEIRA; VOSTI, 1997; SILVA, 2000; SÁ et alli, 2000; SANTOS, 2000; ARCO-VERDE et alli, 2003; REYDON et alli, 2003 apud GAMA, 2003; SANTOS, 2004; ARCO-VERDE, 2008).

Como a agricultura tem múltiplos efeitos ambientais, positivos e negativos, que estão fortemente relacionados ao uso da terra e às práticas agrícolas utilizadas (OECD, 2001), faz-se necessário buscar entender como esses efeitos são produzidos e, principalmente, quais são os impactos decorrentes no mercado de *commodities* agrícolas, especialmente para compreensão de todo o potencial econômico da utilização de SAFs na Amazônia brasileira.

2.3 Externalidades, Bens e Serviços Ambientais

O termo “externalidade” refere-se a um acréscimo (benefício) ou decréscimo (custo) no bem-estar de uma terceira parte (externa) à atividade econômica. Segundo Riera, Aranda e Mavsar (2007), nas últimas décadas foi reconhecido que agentes externos à atividade econômica podem ser afetados por essa atividade e devem ser incluídos na análise econômica.

A origem do conceito encontra-se em Marshall (1890) que distinguia economias internas (economias de escala) de economias externas à firma. A solução consiste em deslocar a “fronteira” em relação à firma, de forma que ela internalize o recurso positivo ou negativo. Para Pigou (1920), em vez de economias externas à firma, a existência de externalidades se dá em relação ao mercado, e a ausência deste distorce a alocação de recursos, gerando “falhas de mercado”.

Dasgupta e Pearce (1975) afirmam que as externalidades são “efeitos externos” que ocorrem cada vez que uma atividade econômica de produção ou consumo afeta os níveis de

produção ou de utilidade de outros produtores ou consumidores e esses efeitos não são valorados nem compensados.

As externalidades designam, dessa forma, uma falha de mercado, no sentido de que o preço de um produto posto no mercado não contém em si todos os ganhos e perdas resultantes de sua produção, ou seja, o preço não reflete adequadamente o valor social do produto. Os agentes econômicos tendem a equalizar o custo marginal privado com o benefício marginal privado, sem levar em consideração os custos sociais.

Conforme Mankiw (2009), se o impacto sobre a terceira parte é benéfico, tem-se uma externalidade positiva; se é adverso, o que existe é uma externalidade negativa. Para Riera, Aranda e Mavsar (2007), quando as externalidades são produzidas por uma atividade econômica (de produção ou de consumo) que afete o ambiente e os agentes externos percebem que o seu bem-estar é afetado pelo impacto ambiental resultante, o que se tem é uma externalidade ambiental.

Externalidades ambientais e impactos ambientais são termos distintos, no sentido de que o impacto ambiental não necessariamente deve ser originário de uma atividade econômica, mas a externalidade sim. Mais ainda, o impacto pode não resultar em uma externalidade, se nenhum agente externo for afetado em seu bem-estar ao passo que a externalidade ambiental representa a percepção humana do impacto ambiental (RIERA, ARANDA e MAVSAR, 2007).

O problema básico inerente às externalidades é que um bem que gere uma externalidade positiva tende a ser sub-provido, uma vez que o mercado não consegue incorporar o benefício social gerado pela externalidade positiva. Se o bem gera uma externalidade negativa, então é mais provável que haja sobre-provisão (OECD, 2001).

Assim, os produtores do bem determinam o nível de produção que maximiza seu lucro enquanto um nível maior ou menor de produção seria necessário para maximizar o bem-estar social, significando que há uma divergência de interesses entre os produtores e a sociedade. Políticas para corrigir essa falha de Mercado baseiam-se no fornecimento de incentivos aos produtores, incorporando benefícios em seu processo decisório, ou na taxação (regulação), incorporando custos, permitindo que, dessa forma, a externalidade seja “internalizada” (OECD, 2001).

As externalidades positivas podem, conforme a tipologia apresentada pela OCDE, ser divididas em categorias, de acordo com o tipo de falha de mercado que induzem, conforme a tabela 2. Faz-se necessário, nesse sentido, diferenciar externalidades sem custos de oportunidade daquelas com custos de oportunidade. Custos de oportunidade, neste contexto, referem-se aos custos incorridos pelos produtores para a produção das externalidades, ou à redução do lucro líquido associada à redução das atividades que geram as externalidades (OECD, 2001).

Tabela 2. Classificação de externalidades positivas.

Tipo	Características
Tipo I	Externalidade com custos de oportunidade
Tipo II	Externalidade sem custos de oportunidade <ul style="list-style-type: none"> a) Benefícios marginais constantes à medida que aumenta a produção de <i>commodities</i> b) Benefícios marginais crescentes à medida que aumenta a produção de <i>commodities</i> c) Benefícios marginais decrescentes à medida que aumenta a produção de <i>commodities</i> d) Benefícios marginais descontínuos à medida que aumenta a produção de <i>commodities</i> e) Benefícios marginais nulos à medida que aumenta a produção de <i>commodities</i>

Fonte: Adaptado de OECD (2001).

Externalidades com custo de oportunidade são geradas a partir da decisão explícita dos produtores, alocando insumos entre a produção de *commodities* e de externalidades. Em teoria, segundo a OCDE, a combinação ótima de ambos é obtida quando o custo de oportunidade da produção da externalidade seja igual ao preço relativo do bem somado à externalidade, ou seja, quando o custo marginal da produção de externalidades se igualar ao seu benefício marginal (OECD, 2001).

As externalidades sem custos de oportunidade, por sua vez, são geradas automaticamente, sem que os produtores decidam alocar recursos para a sua produção. Somente surge ineficiência econômica a partir dessas externalidades se houver divergências entre os custos marginais sociais e os custos marginais privados no preço de mercado do produto que gera as externalidades (OECD, 2001).

Conforme a OCDE, a forma da divergência entre custos sociais e privados é crítica para discussão de falhas de mercado e suas implicações em relação a políticas e, por isso, é necessário que sejam criados os sub-grupos relativos às externalidades sem custos de oportunidade. Embora o caso dos benefícios sociais marginais constantes seja raro no mundo real, uma vez que usualmente há uma assimetria entre a produção de *commodities* e externalidades, sua utilidade reside no fato de ser uma referência para os outros modelos e para uma análise conceitual (OECD, 2001).

Os benefícios marginais decrescentes representam a característica geral da demanda para muitos bens, no sentido de ser “quanto mais se tem, menos se está disposto a pagar por uma unidade adicional”. Os benefícios marginais crescentes refletem os casos em que a quantidade física de externalidades aumenta na medida em que aumenta a produção agrícola. Os benefícios sociais marginais descontínuos apresentam-se apenas quando há benefícios marginais apenas nas áreas onde as externalidades são geradas.

Na figura 1 são apresentadas representações simplistas das curvas de benefício marginal associadas às externalidades sem custos de oportunidade, considerando benefícios lineares apenas por simplificação conceitual.

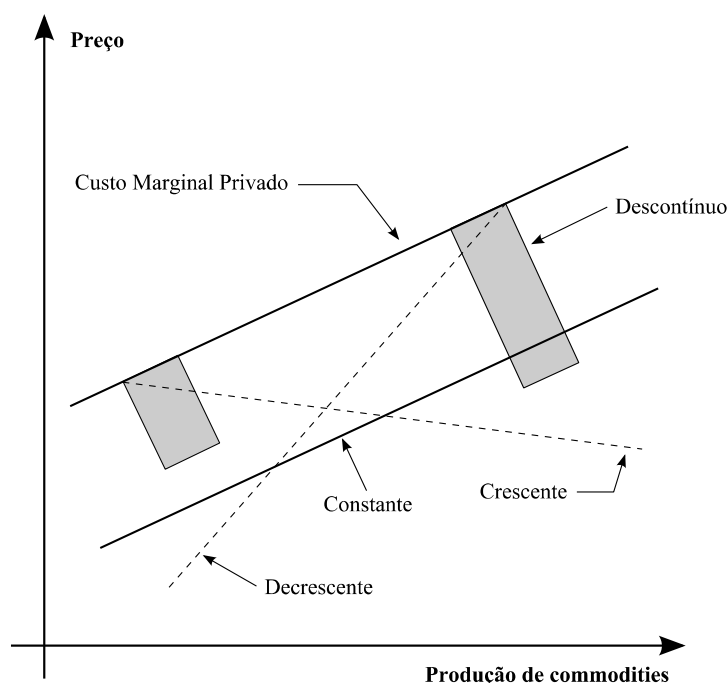


Figura 1. Curvas de custos marginais sociais, associados aos seus respectivos benefícios marginais sociais. (Adaptado de: OECD, 2001).

O ponto fundamental com relação às externalidades reside no fato de que quando um agente econômico tem a posse de um recurso, uma vez assegurado o direito de propriedade, seu preço representa o valor dos usos alternativos e o recurso é, por isso, utilizado de forma eficiente, o que levaria a uma possível negociação entre a parte afetada e a parte geradora da externalidade (ROSEN, 1999).

A economia e o ambiente estão, dessa forma, indissociavelmente ligados, conforme se pode perceber na figura 2, através da representação dos fluxos econômicos e ambientais. Matérias-primas (MP) são usadas como insumos no processo de produção (P), que cria os

produtos consumidos pelas famílias (C). O resultado final de produção e consumo é a geração de utilidade (U) ou satisfação (PEARCE; TURNER, 1990).

As matérias-primas são originadas a partir de recursos naturais não-renováveis (RN), que não possuem capacidade regenerativa e, assim sendo, o consumo do recurso (CR) é sempre maior do que a sua produção sustentável (PS). Com relação aos recursos renováveis (RR), sua disponibilidade diminui se o consumo for maior que o rendimento, mas pode crescer se sua utilização for menor do que a capacidade de regeneração do ambiente.

Resíduos (R) decorrentes da extração e transformação dos recursos em matérias-primas, dos processos de produção e do próprio consumo são gerados durante todo o ciclo. Parte desses resíduos é reciclada (r) e utilizada novamente no ciclo produção-consumo. Outra parte, entretanto, é apenas descartada diretamente no próprio ambiente.

O ambiente também gera seus próprios resíduos, mas ao contrário do sistema econômico, tem tecnologias para tratar e reciclar esse tipo de resíduo, possuindo uma capacidade limitada de absorção e conversão de resíduos em materiais biologicamente benignos, chamada de assimilação (A).

Desde que a capacidade assimilativa do ambiente ultrapasse o volume de resíduos gerados pela atividade econômica, o ambiente permanece inalterado. Infelizmente, porém, o volume de resíduos, muitas vezes, excede a capacidade de assimilação do ambiente, causando impactos ambientais, que, por sua vez, reduzem a capacidade produtiva futura e afetam negativamente os valores de utilidade.

De acordo com De Groot et alli (2002), o primeiro passo para uma avaliação inteligível de bens e serviços ambientais envolve a tradução da complexidade ecológica (estruturas e processos) em um número limitado de funções ecossistêmicas que, por sua vez, fornecem os bens e serviços que têm valor para as pessoas (serviços ambientais).

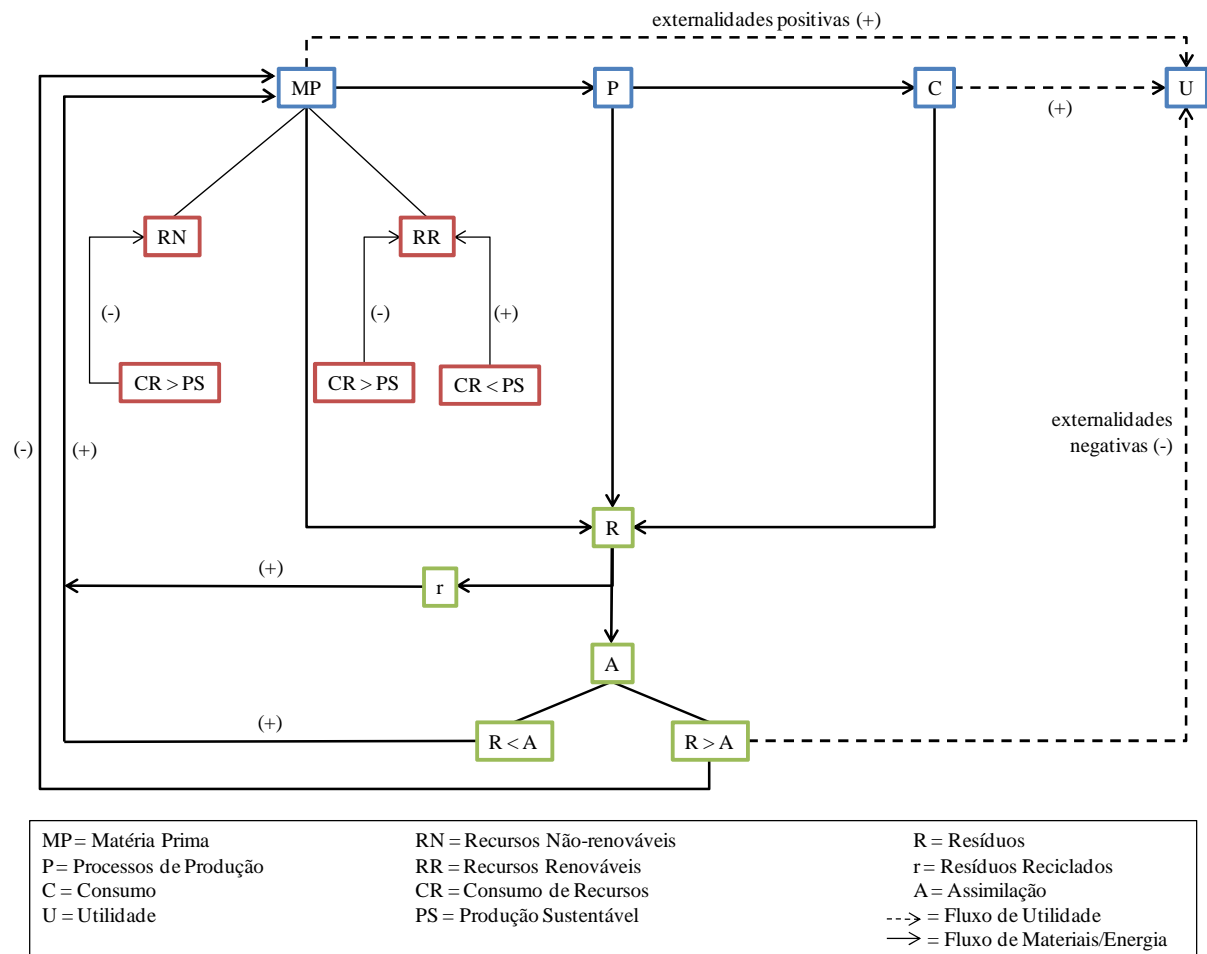


Figura 2. Interconectividade da economia com o ambiente.
(Adaptado de Pearce; Turner, 1990)

Ativo ambiental é o conjunto de bens e serviços fornecidos por processos e componentes da natureza que satisfaçam às necessidades humanas, direta ou indiretamente, e podem ser agrupados em quatro categorias básicas (DE GROOT et alli, 2002):

- funções de regulação: relacionadas à capacidade dos ecossistemas naturais e semi-naturais de regular os processos ecológicos essenciais e sistemas de suporte de vida através de ciclos biogeoquímicos e outros processos biosféricos;
- funções de habitat: o ecossistema natural provê refúgio e habitat de reprodução para plantas e animais selvagens e, por meio disso, contribui para a conservação do processo evolucionário e da diversidade biológica e genética;
- funções de produção: a fotossíntese e o tratamento de nutrientes pelos autótrofos converte energia, dióxido de carbono, água e nutrientes em uma grande variedade de estruturas de carboidratos que, por sua vez, são utilizadas pelos produtores

secundários para criar uma variedade ainda maior de biomassa viva, que provê diversos bens ecossistêmicos para consumo humano;

- d) funções de informação: porque a maior parte da evolução humana se deu em um contexto e habitat não domesticados, os ecossistemas naturais oferecem uma “função de referência” essencial e contribuem para a manutenção da saúde humana, provendo oportunidade de reflexão, enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo, recreação e experiência estética.

Uma vez conhecidas as funções de um ecossistema, a natureza e a magnitude de seu valor (inerentemente antropocêntrico), podem ser calculadas através da reconceitualização dessas funções em termos de “bens e serviços ecossistêmicos” (DE GROOT et alli, 2002), ou “serviços ambientais”.

A inexistência de um mercado entre produtores e consumidores da externalidade é uma condição necessária, mas não suficiente, para a ocorrência de falhas de mercado. Isto depende de como se distribuem os benefícios e custos das externalidades na sociedade. A conclusão é que externalidades, por si sós, não justificam intervenções; há muitos casos em que as externalidades são neutras em termos de eficiência econômica. Isso, por sua vez, leva à análise dos aspectos de bens públicos das externalidades da agricultura.

Na tabela 3 são apresentadas vinte e três funções ambientais, conforme De Groot et alli (2002), juntamente com alguns exemplos de serviços ambientais fornecidos pelos autores, de forma a promover um melhor entendimento sobre as bases conceituais discutidas.

Tabela 3. Funções, bens e serviços providos por ecossistemas naturais e semi-naturais.

Funções	Exemplos de Bens e Serviços Ambientais
Funções de Regulação	
Regulação de gases	Qualidade do ar; proteção UVA-B pelo ozônio
Regulação climática	Manutenção das condições de temperatura e precipitação favoráveis (moradia, agricultura etc.)
Prevenção de distúrbios naturais	Proteção contra tempestades, pelos recifes de coral
Regulação da água	Drenagem e irrigação; meio de transporte
Suprimento de água	Água fresca para consumo
Retenção de solo	Prevenção da erosão
Formação de matéria orgânica no solo	Manutenção da produtividade
Regulação de nutrientes	Manutenção da fertilidade
Tratamento de resíduos	Filtragem; desintoxicação
Polinização	Polinização de plantas selvagens e cultivadas

Funções	Exemplos de Bens e Serviços Ambientais
Controle biológico	Controle de pragas e doenças
Funções de Habitat	
Refúgio Ecológico	Manutenção da diversidade genética e biológica
Viveiros	Manutenção de espécies colhidas comercialmente
Funções de Produção	
Alimentação	Caça; pesca; frutas silvestres; piscicultura; apicultura
Matéria prima	Peles; madeira; matéria orgânica; liteira; óleos; castanhas; mel
Recursos genéticos	Aumentar a resistência de culturas a pragas e patógenos
Recursos medicinais	Drogas e medicamentos; modelos químicos; organismos para testes
Recursos ornamentais	Peles; penas e plumas; orquídeas; peixes de aquário; conchas
Funções de Informação	
Informação estética	Paisagens
Recreação e turismo	Esportes ao ar livre; eco-turismo
Informação cultural e artística	Uso da natureza em livros, filmes, pinturas, símbolos nacionais, folclore etc.
Informação espiritual e histórica	Uso da natureza para propósitos religiosos e históricos
Ciência e educação	Pesquisas científicas; excursões escolares

Fonte: Adaptado de De Groot et alli (2002).

Os bens públicos são aqueles consumidos coletivamente, ou seja, em que não há distinção significativa entre consumo individual e consumo total (OECD, 2001). A partir dessa noção, os bens públicos costumam distinguir-se, em oposição aos bens privados, por duas características: não-rivalidade e não-excludibilidade. O estudo da OECD (2001) propõe uma classificação de bens públicos em função dos graus de exclusividade e de rivalidade, conforme apresentado na tabela 4.

A não-rivalidade implica que os benefícios obtidos por uma pessoa não dependem dos benefícios auferidos por outras pessoas, ou seja, várias pessoas podem utilizar simultaneamente um bem ou serviço e essa utilização não destrói nem reduz a quantidade do bem público. A não-excludibilidade decorre da impossibilidade de assegurar que o benefício somente seja usufruído por quem paga por ele. Nessas condições, não é possível determinar um preço de equilíbrio que iguale oferta e demanda.

Os bens públicos puros são os que mais claramente dependem de intervenção do Governo para assegurar sua oferta. Ao mesmo tempo, as próprias características desses bens dificultam estimativas precisas da disposição do público para pagar por eles, isto é, de seu

valor marginal. Existe, por conseguinte, um risco substancial de “falha de política” associada à super ou à subestimação da disposição para contribuir para o suprimento de um bem público (OECD, 2001).

Tabela 4. Tipologia de bens públicos puros, impuros e bens privados.

Excludibilidade	Rivalidade		
	Não-Rivais	Congestionáveis	Rivais
Não-exclusivos	Bens públicos puros	Tipo II Recursos de Livre Acesso	Tipo II Recursos de Livre Acesso
Benefícios limitados territorialmente	Tipo I Bens públicos locais	-	-
Exclusivos para membros de uma comunidade	-	Tipo III Recursos de Propriedade Comum	Tipo III Recursos de Propriedade Comum
Exclusivos	Tipo IV	Tipo V Bens de Clube	Bens Privados

Fonte: Adaptado de OECD (2001).

Cada um dos tipos de bens públicos apresentados na tabela 4 requer mecanismos específicos em termos de políticas. Costuma ser menos difícil estimar o valor dos bens do Tipo I (bens públicos locais), o que faz com que tanto a falha de mercado quanto a falha de política tendam a ser menores do que no caso dos bens públicos puros (OECD, 2005).

O Tipo II (recurso de livre acesso) é normalmente associado à tragédia dos comuns (HARDIN, 1968), isto é, situações em que recursos finitos (sujeitos a rivalidade ou congestionamento) são superexplorados devido a não-exclusão. A solução para esses casos se baseia na implementação de regras que permitam a exclusão, transformando recursos de livre acesso em recursos de propriedade comum (Tipo III), cujo consumo pode ser otimizado (OECD, 2005).

O Tipo IV (bens exclusivos e não-rivais) pode ser suprido pelo mercado (estradas com pedágio, transporte público, parques). Finalmente, os bens de clube (Tipo V) são exclusivos e sujeitos a congestionamento. De forma análoga aos recursos de livre acesso, a melhor solução – ainda que sujeita a ineficiências residuais – consiste em agir sobre a exclusão. Neste caso, contudo, a exclusão tende a ser obtida através de cobrança pelo acesso, enquanto que para os recursos de livre acesso, talvez seja necessário estabelecer regras de acesso (OECD, 2005).

A existência de externalidades e de bens públicos está na origem das falhas de mercado, uma vez que, sem a definição clara de direitos de propriedade aplicáveis, não há como efetivar as transações nos mercados, que falham na alocação direta de valor.

O valor dos serviços ambientais, conforme Farber et alli (2002) apud De Groot et alli (2002), basicamente pode ser dividido em três tipos: ecológico, sócio-cultural e econômico. O valor ecológico é determinado pela integridade das funções de regulação e de habitat e pelos parâmetros do ecossistema, como complexidade, diversidade e raridade (DE GROOT et alli, 2000).

Valores sociais, como equidade e percepções, são fundamentais para determinar a importância de ativos ambientais e suas funções para as sociedades humanas (DE GROOT et alli, 2002), fazendo com que os sistemas naturais sejam uma fonte crucial de bem-estar não material, fundamental às sociedades sustentáveis.

O valor econômico de um bem (serviço) é estabelecido pela interação das percepções de todos os indivíduos a respeito de sua utilidade, sejam eles consumidores ou produtores, determinando os preços como indicativos dessa utilidade, resultantes da oferta e demanda dos bens, e as quantidades de equilíbrio (MARSHAL, 1997).

Entretanto, no caso dos serviços ambientais, que, embora úteis, são, *a priori*, abundantes, a percepção resultante é de que são de livre acesso e com direitos de propriedade não definidos (RANDALL, 1987), sem uma medida de utilidade marginal e, por consequência, sem preço determinado no mercado, o que passa a mudar apenas a partir de sua indisponibilidade, pois o custo do uso de bens comuns é diluído em toda a sociedade e os benefícios percebidos superam esses custos (HARDIN, 1968).

Conforme Mattos e Cau (2009), empiricamente tem sido observado que a evolução natural das preferências individuais em função dos processos de crescimento econômico tenderia a uma menor tolerância à escassez crescente de bens e serviços ambientais, configurando o que se denomina Curva Ambiental de Kuznets: à medida que a renda per capita se eleva com o crescimento econômico, a degradação ambiental aumenta até certo ponto, a partir do qual a qualidade ambiental passa a melhorar.

A explicação para esse fato seria que nos estágios iniciais do crescimento econômico a crescente degradação ambiental é aceita como um efeito colateral (externalidade) inevitável. A partir de certo nível de bem-estar econômico a população se tornaria mais sensível e disposta a pagar pela melhor qualidade do ambiente, o que permitiria as mudanças institucionais e organizacionais necessárias à correção dessas falhas de mercado.

A partir da consideração de valores culturais e sociais à racionalidade econômica, mudanças institucionais, novos instrumentos econômicos e metodologias de valoração indireta dos serviços ambientais, reconhecidamente pela aplicação do princípio da precaução, ampliam a abordagem microeconômica (ROMEIRO, 2001; MATTOS, 2006).

Contudo, é interessante notar que os conceitos de disposição a pagar e poluidor-pagador (taxas *pigouvianas*) inserem o ambiente na economia *ex post* o impacto ambiental, não se traduzindo em uma solução ideal, mas representando uma solução altamente plausível, especialmente se for considerada a expansão da fronteira de produção na Amazônia brasileira e a necessidade de que áreas degradadas sejam recuperadas e reincorporadas ao processo produtivo primário.

A produção conjunta de produtos de base e outros produtos, notadamente de serviços ambientais, característica dos SAFs, requer a ampliação do conceito básico de agricultura, permitindo que sejam diminuídas as distorções de percepção, melhorando a capacidade de valoração, condição necessária ao tratamento das externalidades.

2.4 A Multifuncionalidade da Agricultura

A agricultura é a uma atividade multifuncional, no sentido de que desempenha funções adicionais à produção de alimentos.

Beyond its primary function of producing food and fibre, agricultural activity can also shape the landscape, provide environmental benefits such as land conservation, the sustainable management of renewable natural resources and the preservation of biodiversity, and contribute to the socio-economic viability of many rural areas. Agriculture is multifunctional when it has one or several functions in addition to its primary role of producing food and fibre (OECD, 1998).

A teoria econômica clássica (SMITH, 1776; MILL, 1848) reconhece, já há muito tempo, que existem casos de produção conjunta. Embora não fazendo uma referência direta a isso, mas certamente dentro desse contexto, Marshall (1890) e Pigou (1920) introduziram o conceito de externalidades ao arcabouço econômico. Contudo, tanto a produção conjunta

quanto as externalidades eram vistas apenas como coincidências acidentais que ocorriam através de certas atividades econômicas. Foi um pesquisador de políticas florestais na Alemanha, Dietrich (1953), que percebeu que tanto uma quanto a outra são elementos constitucionais de um setor econômico.

Conforme Bohmann et alli (1999), embora o termo “multifuncionalidade” seja relativamente novo, tendo entrado no cenário das discussões sobre políticas públicas voltadas à agricultura somente nos anos 90, o conceito que ele representa não é. A idéia fundamental é que a agricultura é mais do que somente a produção de alimentos e *commodities*, pois produz também vários subprodutos desejados e indesejados. Alguns desses subprodutos são “bens”, tal como a criação de empregos rurais; outros são “males”, como a erosão e a poluição; e outros, por sua vez, são “intangíveis”, a exemplo do valor simbólico ou espiritual de preservar o patrimônio agrícola (BOHMANN et alli, 1999).

Embora a função primária da agricultura seja a produção de alimentos e fibras, segundo Bohmann et alli (1999), a atividade agrícola possui a característica de produzir, conjuntamente com *commodities*, várias não-*commodities* (OECD, 2001), o que lhe confere a característica de multifuncionalidade. Sendo assim, a agricultura tem caráter intrinsecamente multifuncional, compreendendo toda uma gama de funções ambientais, econômicas, de segurança alimentar, sociais e culturais.

Os elementos-chave da multifuncionalidade são: (i) a existência de várias *commodities* e não-*commodities* produzidas em conjunto pela agricultura; e, (ii) o fato de que algumas das não-*commodities* possuem características de externalidades ou bens públicos, o que significa que mercados para esses bens não existem ou não funcionam adequadamente (OECD, 2001).

Em adição à produção de alimentos, combustível e fibras, para suprir diversas necessidades humanas, enquanto sua função principal, a agricultura tem efeitos externos não intencionais nas funções mencionadas anteriormente que atingem outras pessoas e não somente aos agricultores. A maioria dessas funções são externalidades, isto é, não são contabilizadas pelos mercados e seus valores são desconhecidos (FAO, 2001).

Fica claro que a definição de multifuncionalidade dada pela OECD (2001) está intimamente ligada a múltiplas saídas (*commodities* e não-*commodities*) do processo produtivo agrícola, conjuntamente produzidas.

As saídas de não-*commodities* do processo produtivo agrícola, ao contrário dos ecossistemas – que apenas produzem serviços ecológicos positivos – incluem seus impactos sobre o meio ambiente (externalidades negativas), tais como gases de efeito estufa (GEE), escoamento de nutrientes e pesticidas, erosão do solo, redução da biodiversidade, a destruição dos habitats naturais e paisagens rurais menos atraentes pelos monocultivos (OLLIKAINEN; LANKOSKI, 2008; FAO, 2001).

Por outro lado, como fornecedor importante de serviços ambientais, a agricultura desempenha um papel fundamental no seqüestro de carbono, controle de cheias, recarga de águas subterrâneas, conservação do solo, preservação da biodiversidade, espaço aberto, vistas panorâmicas, o isolamento de congestionamento, e purificação da água, do solo e do ar. Estes abrangem quase todos os serviços ecológicos prestados pelos ecossistemas naturais, incluindo a provisão de serviços, regulação de serviços, serviços de apoio e serviços culturais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003), sendo a maioria não reconhecida e não remunerada.

De acordo com Olsson e Rønningen (1999), a agricultura convencional intensificada é uma das principais ameaças aos valores atribuídos aos ecossistemas agrícolas. Para Bjorklund et alli (1999), os agro-ecossistemas estão perdendo parte dos serviços ambientais e gerando mais impactos ambientais negativos, devido à intensificação dos cultivos, embora tenham ajudado a suprir a demanda dos alimentos e a reduzir a taxa de conversão de ecossistemas naturais em terras agrícolas (BANCO MUNDIAL, 2008).

Embora não haja uma definição única e completamente aceita de multifuncionalidade, neste trabalho, para que possam ser explorados os aspectos e características específicas da produção de não-*commodities* ambientais associada à produção agrícola, especialmente pela utilização de SAFs, procura-se manter o foco na definição operacional estabelecida pela OECD (2001).

Multifuncionalidade, como definida pela OECD (2001), é uma produção multi-produto, isto é, as firmas produzem mais de um bem. Nesse contexto, a produção pode ser conjunta, complementar ou concorrente. A produção conjunta implica que os insumos não podem ser especificamente atribuídos para as saídas (produtos) resultantes (GRAVELLE; REES, 1981), o que dá margem à geração de externalidades positivas e negativas.

No caso de complementaridade, a produção de um bem contribui com um elemento de produção que, juntamente com este produto original, faz-se necessário à produção de um segundo bem. Contudo, a complementaridade ocorre apenas dentro de certos limites, a partir dos quais se dá a concorrência por fatores comuns de produção, de acordo com Gravelle e Rees (1981).

Na figura 3 tem-se a representação simplificada de uma propriedade rural produtiva sob a ótica multifuncional da agricultura (Van Huylenbroeck, 2007). As entradas primárias (terra, trabalho, capital e insumos) são utilizadas para produzir *commodities* primárias (produtos tradicionais, como leite, milho ou madeira; ou produtos menos tradicionais, como alguma cultura bioenergética) ou serviços (como agro-turismo ou energia eólica). Parte dos produtos primários pode ser combinada com parte das entradas para gerar produtos secundários (a exemplo de queijo ou bioenergia).

Tanto os produtos primários quanto os secundários, neste caso, são negociáveis em mercados existentes e, dessa forma, são *commodities*. Adicionalmente, podem ainda ser produzidos de forma direta (intencionalmente ou não), bens e serviços não negociáveis, tais como a beleza da paisagem, biodiversidade e outras externalidades; ou indiretamente afetar o valor de não-*commodities* ou dos próprios bens e serviços produzidos, através da própria produção. A utilização do termo “serviço” permite incorporar atividades como o agroturismo e ainda serviços ambientais não intencionais, como o sequestro de carbono.

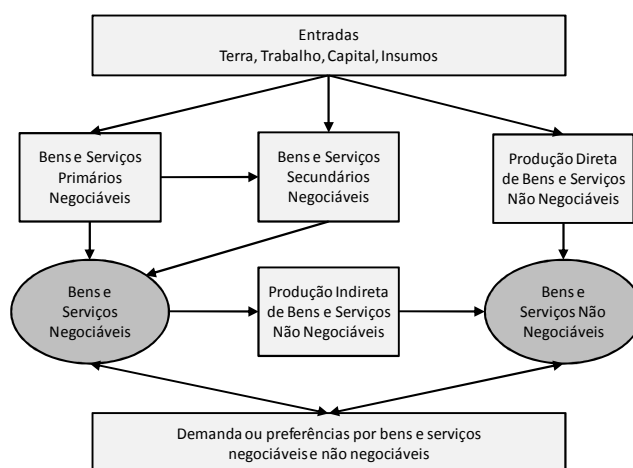


Figura 3. Representação esquemática da multifuncionalidade da agricultura em uma propriedade rural.
(Adaptado de: Van Huylenbroeck, 2007)

Para a OECD (2005), características de bens públicos, como a não-excludibilidade e a não-rivalidade, não permitem que as não-*commodities* agrícolas sejam negociáveis nos

mercados, embora nem todas as não-commodities geradas tenham essas características. Mecanismos de excludibilidade têm custos proibitivos para bens públicos em geral, explicando porque tais transações não ocorrem. Contudo, a partir de arranjos institucionais ou inovações tecnológicas os custos de excludibilidade podem ser reduzidos, tornando esses bens sujeitos a serem transacionados nos mercados (OECD, 2005).

A não-rivalidade pode ser caracterizada como o custo marginal extremamente baixo ou nulo de prover um bem para um indivíduo adicional (Stiglitz, 1998). Ao contrário da não-excludibilidade, não é um fator que possa impedir as transações de ocorrerem. Contudo, está relacionada à eficiência, no sentido de como a alocação eficiente de recursos ocorre quando os bens são comercializados a custos marginais, criando equilíbrio entre demanda e oferta.

Além das características de bem públicos mencionadas anteriormente, as não-commodities têm características específicas, que podem tornar o seu entendimento mais complexo, de acordo com a OECD (2005). A produção de *commodities* pode resultar na produção simultânea de várias não-commodities, como serviços ambientais. Cada não-commodity tem suas próprias características de bem público. Algumas mais semelhantes a bens públicos puros e outras tendo mais proximidade com bens de clube ou bens públicos impuros, dependendo de seus graus de não-excludibilidade e não-rivalidade. Além disso, o número de beneficiários pode ser diferente, afetando ainda mais a natureza de bem público e a possibilidade de fornecimento privado (OECD, 2005).

Em última instância, a relevância da multifuncionalidade da agricultura depende da extensão e da natureza da vinculação entre os produtos de base e os outros produtos (serviços), resultado da produção conjunta da agricultura. Se a produção não é conjunta, os outros produtos podem ser supridos independentemente da produção agrícola.

A produção conjunta tem duas implicações fundamentais, conforme a OECD (2005): a primeira, é que qualquer mudança no volume de produção leva a uma modificação no suprimento dos outros produtos da agricultura; a segunda é a possibilidade de “economias de escopo”, ou seja, redução de custos decorrentes da produção simultânea de diversos produtos.

As economias de escopo geram a presunção de que a produção conjunta é mais barata do que a produção em separado. Quando os produtos conjuntos são privados e existem mercados para eles, esta premissa pode ser facilmente verificada. O problema surge, no entanto, quando um dos produtos é uma externalidade. Se um agricultor produz

simultaneamente madeira e “paisagens” (uma externalidade), pode haver sub-oferta da externalidade na ausência de pagamentos. Inversamente, se o Estado financia o suprimento da externalidade com subsídios, pode haver sobre-oferta do produto agrícola, que terá parte de seus custos de produção financiados pelo produto conjunto. O mesmo raciocínio aplica-se, *mutatis mutandis*, a uma externalidade negativa e a um imposto. A solução para o excesso ou insuficiência da oferta da externalidade positiva ou negativa depende da determinação precisa do valor da externalidade, condição necessária para estabelecer um subsídio ou imposto ótimos (OECD, 2005).

É importante destacar que, independentemente da fonte de produção conjunta, a proporção entre os produtos de base e os outros produtos gerados conjuntamente raramente é fixa. Mesmo em casos como a produção de madeira e seqüestro de carbono, é possível variar a relação entre os dois produtos com a escolha de espécies florestais diferentes. Externalidades ambientais, positivas e negativas, dependem da tecnologia e das práticas empregadas (OECD, 2005).

Embora o conceito de multifuncionalidade da agricultura esteja sendo bastante discutido, sua importância reside no fato de estar se tornando um paradigma fundamental para a criação e discussão de políticas públicas voltadas à agricultura (VAN HUYLENBROECK, 2007) que, no caso específico da Amazônia brasileira, devem ser voltadas, fundamentalmente, ao aumento do excedente do produtor, como forma de desenvolvimento das atividades produtivas, incorporando os paradigmas ambientais vigente e, conseqüentemente, resultando em acréscimos ao excedente do consumidor, da mesma forma.

2.5 Bem-Estar Social e Sistemas Agroflorestais

A maioria das avaliações de mudanças econômicas é feita a partir do critério da eficiência. Dessa forma, ao analisar um estado da economia, avalia-se o que pode ser melhorado em termos de bem-estar. Pelo critério de Pareto (VARIAN, 2006), se o bem-estar de alguém pudesse ser melhorado sem, com isso, ser reduzido o bem-estar de ninguém, a

nova situação seria preferida e a alteração ocorrida na alocação de recursos seria, dessa forma, eficiente.

O significado prático do critério de Pareto está na definição de um “ótimo de Pareto”, caracterizado por uma situação na qual é impossível melhorar o bem-estar de algum indivíduo sem piorar a condição de outro. Como instrumental de avaliação do bem-estar econômico, o critério de Pareto não admite controvérsia, embora seja limitado por não se aplicar a todos os casos. Segundo esse critério, uma política que melhora a situação de pelo menos um indivíduo sem piorar a situação de qualquer outro é uma “melhoria de Pareto”. De acordo com tal critério, uma melhoria de Pareto é “Pareto superior”. O ótimo de Pareto é obtido após terem sido exauridas todas as possíveis melhorias de bem-estar econômico de Pareto.

Situações em que o critério de Pareto é relevante são prontamente identificáveis pela sua própria falta de controvérsia. No entanto, quando alguns indivíduos pioram em benefício de outros, o critério de Pareto perde a sua relevância, pois a situação está em desacordo com o próprio critério. As situações mais comuns e, portanto, de maior interesse prático são exatamente aquelas em que uma ação beneficia alguns indivíduos, mas prejudica outros. Nesses casos, é necessário ir além do critério de Pareto, estabelecendo-se um critério normativo de bem-estar, com uma maior aplicabilidade prática para aqueles casos em que uma política inevitavelmente melhora a situação de alguns, piorando a situação de outros.

A verificação da existência de um excedente social líquido pode se dar com base no Princípio da Compensação de Kaldor-Hicks (KALDOR, 1939; HICKS, 1939), pelo qual uma política B é preferida em relação a uma política A se, saindo-se de uma política A para uma política B, todos puderem potencialmente melhorar, mesmo se for através de compensações daqueles que se beneficiam para aqueles que foram prejudicados, mantendo, em todos os casos, o bem-estar ampliado para todos os envolvidos. Ou seja, uma política que altere a alocação de recursos melhora o bem-estar social se o critério de Pareto é satisfeito ou se as pessoas que se beneficiam puderem compensar aquelas prejudicadas e, ainda assim, ter o seu bem-estar ampliado.

Assim, o Princípio da Compensação de Kaldor-Hicks é satisfeito e alguma mudança deve ser implementada sempre que os beneficiários puderem compensar os perdedores, de modo que a variação compensatória (ou compensação máxima) que os beneficiários estariam dispostos a pagar para que a mudança seja realizada é maior ou igual à variação

compensatória (ou compensação mínima) que os perdedores estariam dispostos a receber para ter a mudança posta em prática.

Por outro lado, o Princípio da Compensação de Kaldor-Hicks é satisfeito e a alteração não deve ser implementada sempre que os perdedores potenciais puderem compensar os beneficiários em potencial para que nada seja alterado. Neste caso, a variação equivalente (ou compensação máxima) que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os beneficiários em potencial não empreendam a alteração é maior ou igual à variação equivalente (ou compensação mínima) que os ganhadores em potencial estariam dispostos a receber para não serem prejudicados pela manutenção do estado inicial.

Deve-se salientar que essas duas situações envolvem uma redistribuição de renda, a qual pode ser realmente efetivada ou meramente potencial, que é o caso mais comum. No primeiro caso, a transferência de renda é dos beneficiários para os prejudicados, enquanto que no segundo é dos prejudicados em potencial para os beneficiários potenciais.

Para efeito da análise de eficiência, considera-se que o bem-estar social é representado pelo excedente total (MANKIW, 2009). O excedente total é dado pela soma do excedente do consumidor, excedente do produtor e “excedente externo”, sendo o valor de uma unidade de um bem definido como a disposição máxima a pagar por essa unidade (RIERA, 2007).

Outro aspecto que pode ser importante para a definição de políticas públicas, contudo, é a equidade, que diz respeito à imparcialidade da distribuição do bem-estar entre os membros da sociedade (MANKIW, 2009). As questões relativas à equidade são muito mais complexas no caso da multifuncionalidade da agricultura pois, adicionalmente ao fato de vários bens serem relacionados, cada bem (externalidade) tem diferentes implicações com relação à equidade (OECD, 2001).

Como afirma a OECD (2001), a equidade pode ser considerada sob duas perspectivas: benefício e custo. A primeira diz respeito a como os benefícios de múltiplas não-*commodities* simultaneamente produzidas são distribuídos pelas populações e áreas com diferentes níveis de renda e disposição a pagar. A segunda refere-se a como o custo da provisão de não-*commodities* afeta, ou é afetado, pela distribuição individual de renda.

Entretanto, conforme apresentado por Börner (2009), a perspectiva de pagamento por serviços ambientais (não-*commodities*) tem dois tipos de impacto para os SAFs que merecem

uma especial atenção, pois influenciam a composição de espécies em SAFs existentes e a sua adoção em áreas de agricultura convencional ou degradadas.

O primeiro impacto advém do fato de existir a oportunidade de ingressos adicionais serem gerados através da comercialização de serviços ambientais, o que determina reconsiderar a composição de espécies em SAFs. O segundo advém de situações em que o valor das externalidades positivas (serviços ambientais) geradas, faz com que os benefícios da introdução de espécies arbóreas em sistemas de produção agropecuária sejam maiores do que os custos de oportunidade do sistema atualmente utilizado.

Os SAFs podem ser fornecedores, beneficiários e limitantes de serviços ambientais na Amazônia, tanto no sentido de fornecerem bens públicos (como o sequestro de carbono), privados (como a fertilidade dos solos das propriedades onde são cultivados), quanto no sentido de se beneficiarem de serviços ambientais produzidos, a exemplo da ciclagem de nutrientes (BÖRNER, 2009).

Ainda segundo Börner (2009), o efeito da implantação de um SAF no aumento ou diminuição da totalidade dos serviços ambientais prestados pela Amazônia, com atributos de bens públicos, dependerá do uso da terra que o SAF irá substituir. Implantar SAFs em áreas alteradas aumentará o sequestro de carbono e a biodiversidade por unidade de área, enquanto converter floresta primária em SAFs terá efeito contrário.

Serviços ambientais com atributos de bens privados são refletidos pelos preços de mercado, a exemplo do aumento da fertilidade de solo, que geraria maior produtividade e valor por unidade de área. O estoque de carbono e a provisão de habitat para inúmeras espécies, entretanto, não se refletem no valor de mercado dos produtos oriundos de SAFs (BÖRNER, 2009).

Börner (2009) afirma que é necessária uma intervenção política para corrigir as falhas de mercado com relação aos serviços ambientais com atributo de bem público, mas que nem sempre há sentido em intervenções em favor de serviços com atributos de bem privado.

Compreender como mudanças efetuadas a partir da implementação de políticas podem se desenvolver, sob uma ótica multidisciplinar, requer a utilização de uma metodologia que permita captar a dinâmica decorrente dessas mudanças a partir da integração dos diversos elementos que serão por elas afetados.

2.6 Modelagem e Simulação com Dinâmica de Sistemas

Os modelos de simulação desenvolvidos com base na dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1961; 1989), que se fundamenta no Princípio da Acumulação, são representados através de diagramas de estoque e fluxo (FORRESTER, 1961), expressos através de uma linguagem gráfica básica, com algumas características específicas pertinentes ao software escolhido para o desenvolvimento dos modelos, conforme ilustrado pela figura 4.

A dinâmica de sistemas é uma metodologia para estudar e gerenciar sistemas complexos que se alteram ao longo do tempo. O método utiliza-se de modelagem através de computador para focar a atenção nos laços de *feedback* que originam o comportamento dinâmico. A simulação com o uso de computadores é particularmente útil quando auxilia na compreensão dos atrasos (*delays*) e das não-linearidades no sistema (FORD, 2010).

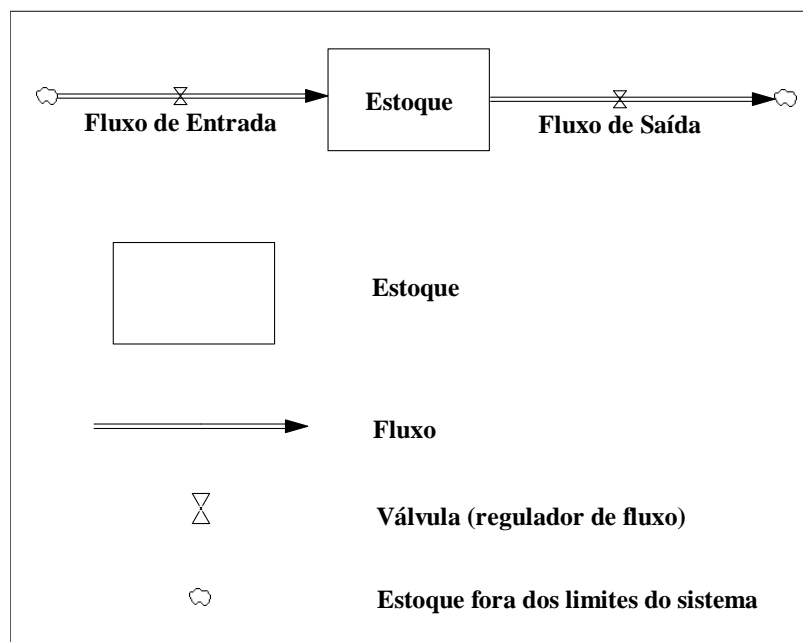


Figura 4. Estrutura geral dos diagramas de estoque e fluxo.
(Fonte: adaptado de Sterman, 2000)

As principais características que envolvem a metodologia de dinâmica de sistemas são: a) definição dos problemas dinamicamente; b) enfoque nas características intrínsecas dos sistemas; c) conceituação dos sistemas reais por intermédio da interconexão contínua de círculos de feedback e de casualidade; d) identificação de estoques e fluxos de entrada e saída; e) formulação de um modelo comportamental, capaz de reproduzir a dinâmica do problema; f)

entendimentos e esclarecimentos derivados de mudanças políticas efetuadas no modelo e seus conseqüentes resultados; e, g) implementação de mudanças e novas políticas com base nesses entendimentos (RICHARDSON, 1991).

Entre outras vantagens de uso da dinâmica de sistemas, destacam-se: a) a possibilidade de estudar relações entre macro e micro estruturas, bem como os efeitos correspondentes sobre o sistema; b) a modelagem e solução de problemas reais que incorporam elementos físicos, biológicos e econômicos; e c) a melhoria no desempenho do sistema por experimentação (STERMAN, 2000).

A quantidade de material em qualquer estoque é a acumulação de fluxos de entrada de material menos os fluxos de saída de material. Dessa forma, os estoques acumulam ou integram seus fluxos; o fluxo líquido, dentro do estoque, é a taxa de alteração do estoque (STERMAN, 2000). Assim, a estrutura representada através da figura 4, corresponde exatamente à seguinte equação integral:

$$Estoque(t) = \int_{t_0}^t [Fluxo\ de\ Entrada(s) - Fluxo\ de\ Saída(s)] ds + Estoque(t_0)$$

onde *Fluxo de Entrada(s)* e *Fluxo de Saída(s)* representam os respectivos fluxos em um tempo *s* qualquer, entre o tempo inicial t_0 e o tempo atual t . De forma equivalente, a taxa marginal de mudança em qualquer estoque é dada pelo fluxo de entrada menos o fluxo de saída, definindo a seguinte equação diferencial:

$$\frac{d(Estoque)}{dt} = Fluxo\ de\ Entrada(t) - Fluxo\ de\ Saída(t)$$

Assim definidos, os estoques são aqueles elementos que mostram, a cada instante, a situação do modelo, apresentam uma acumulação e variam somente em função dos fluxos. Os fluxos são funções temporais e refletem as ações resultantes da tomada de decisão em um sistema, determinando as variações dos estoques. Existem ainda as variáveis auxiliares e constantes, que são parâmetros que permitem uma visualização melhor dos aspectos que condicionam o comportamento dos fluxos (MARTÍN, 2010).

Os modelos de simulação dinâmica são descrições abstratas do mundo real que permitem representar problemas complexos caracterizados por sua dinâmica, não-linearidade, relações de *feedback* e *delays* no tempo e espaço (WIAZOWSKI et alli, 1999 apud

SÁNCHEZ-ROMÁN et alli, 2007). Um modelo de simulação dinâmica deve capturar somente os fatores essenciais de um sistema real e deve abstrair-se dos demais fatores. O uso principal dos modelos é o de comunicar um ponto de vista do mundo, não procuram ser a realidade, mas procuram se aproximar dela. Esta característica dos modelos permite compreender um problema específico, e visa prever o comportamento do sistema (MAQUEO et alli, 2006 apud SÁNCHEZ-ROMÁN et alli, 2007).

Ao executar-se uma simulação a partir de modelo de dinâmica de sistemas, não se está interessado em uma resposta quantitativa precisa, o que não seria consistente, nem com a realidade dos sistemas, nem com a filosofia pertinente à própria construção do modelo. O que se busca é observar as tendências de crescimento ou decréscimo, equilíbrio ou oscilação ou, especialmente, se cabe esperar e de que podem depender modificações radicais nestas tendências (MILLÁN, 1996).

O pressuposto fundamental da dinâmica de sistemas é o de que o comportamento simulado por um modelo emerge da estrutura causal subjacente. Assim, se for construída uma estrutura capaz de reproduzir os padrões de comportamento conhecidos do problema em análise, essa mesma estrutura pode ser utilizada para testar e avaliar, no ambiente virtual do software de modelagem, as soluções alternativas de resolução do problema no sistema real.

3 Material e Métodos

Esta pesquisa seguiu o enfoque misto (SAMPIERI et alli, 2006), ou seja, tanto qualitativo quanto quantitativo, uma vez que se valeu dos métodos de pensamento indutivo e dedutivo. Dessa forma, considerando o desenvolvimento de modelos a partir de dados pré-existentes e a posterior utilização desses modelos para simulações de situações específicas, o método de abordagem deste trabalho foi o hipotético-dedutivo que apresenta uma tentativa de equilíbrio entre os métodos indutivo e dedutivo (GONÇALVES, 2005).

A partir da revisão bibliográfica para o aporte de informações necessárias, com a utilização do método indutivo, foram desenvolvidos os modelos de simulação através da utilização da dinâmica de sistemas. Posteriormente, recorrendo-se ao método dedutivo, os modelos foram utilizados para realizar simulações, estudos de cenários alternativos e análise de sensibilidade.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Na Amazônia brasileira, 43 municípios foram identificados como prioritários, no âmbito da Operação Arco Verde – componente de fomento a atividades produtivas do Plano de Ação de Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm) – instituídos pela Portaria MMA n°. 28/2008 (36 municípios) e pela Portaria MMA n° 102/2009 (7 municípios), conforme apresentado na figura 4.

Dos 43 municípios, foram selecionados, a partir de uma amostragem aleatória simples, os municípios de Altamira (Pará), Lábrea (Amazonas), Machadinho d'Oeste (Rondônia), Marabá (Pará), Mucajaí (Roraima), Paragominas (Pará) e São Félix do Xingu (Pará),

destacados na cor laranja, na figura 5. Embora pertencentes a apenas quatro dos nove estados da Amazônia Legal, os estados selecionados representam cerca de 63% da área total da região, além de estarem situados tanto na Amazônia Ocidental quanto na Amazônia Oriental.

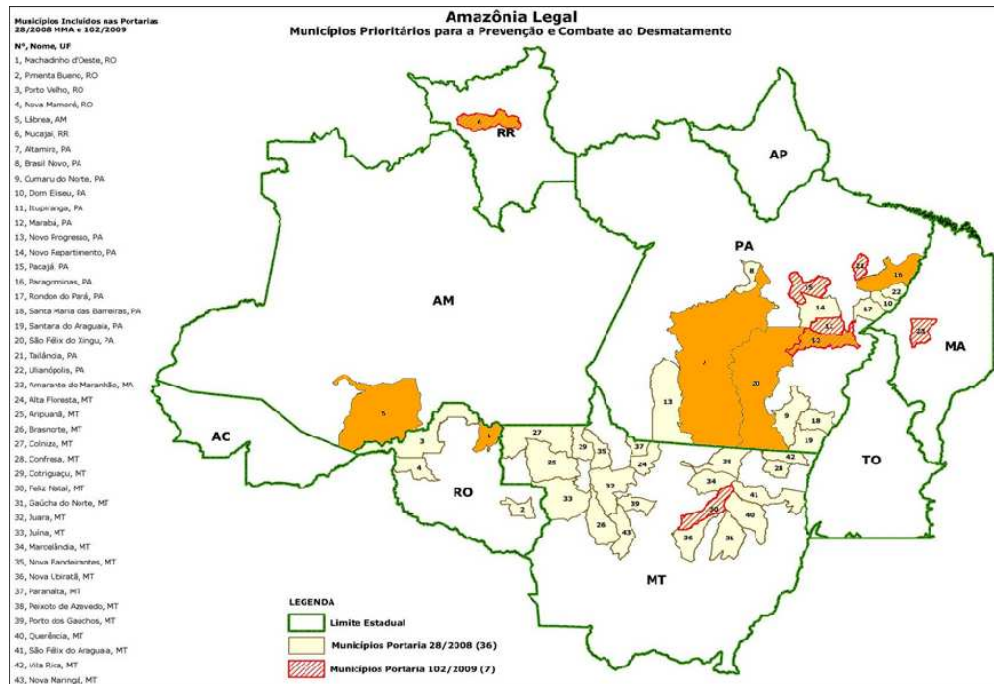


Figura 5. Amazônia Legal e municípios prioritários da Operação Arco Verde. (Fonte: adaptado de Brasil, 2009)

A caracterização dos efeitos do avanço do Arco do Povoamento Adensado sobre esses municípios pode ser identificada pelos seguintes fatos:

- Altamira e São Félix do Xingú ocuparam a 1ª. e a 7ª. posição, respectivamente, na lista dos 10 municípios que mais desmataram a Amazônia em julho/2010 (HAYASHI et alli, 2010);
- em julho/2010, a maioria do desmatamento (51%) ocorreu no estado do Pará (HAYASHI et alli, 2010);
- No período de agosto/2009 a julho/2010, Pará, Rondônia e Amazonas somaram 68% do desmatamento total (HAYASHI et alli, 2010);
- dos 1.150,08 Km² de alertas de desmatamento emitidos pelo DETER no período compreendido entre 01/01/2010 e 31/07/2010, 684,53 Km² (59,52%) compreendem os estados do Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima (INPE, 2010).

Altamira (PA) tem 159.696 Km², com 98.750 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 508.218 mil, em 2007, com PIB *per capita* de R\$ 5.518,00, com incidência de pobreza de 40,66% e índice de Gini de 0,40, em 2003 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,737 (PNUD, 2003).

Várias classes de solos predominam no município: Podzólico Vermelho-Amarelo de textura argilosa, Latossolo Amarelo de textura média, com grandes manchas de solos Litólicos de textura indiscriminada (IBGE, 2010a).

O clima do município é do tipo equatorial Am e Aw, na classificação de Köppen. O primeiro, predominante na parte norte, apresenta temperaturas médias de 26°C, e precipitação anual em torno de 1.680 mm, sendo que os meses mais chuvosos vão de dezembro a maio e, os menos chuvosos, de junho a novembro. O segundo, ao sul, é o Aw, que, em virtude da extensão do município, passa por uma transição até alcançar o tipo savano. O excedente de água ocorre entre fevereiro e abril, e a maior deficiência, em setembro. Na figura 6 é apresentado o gráfico termopluiométrico, elaborado a partir de dados Agritempo (MAPA, 2010).

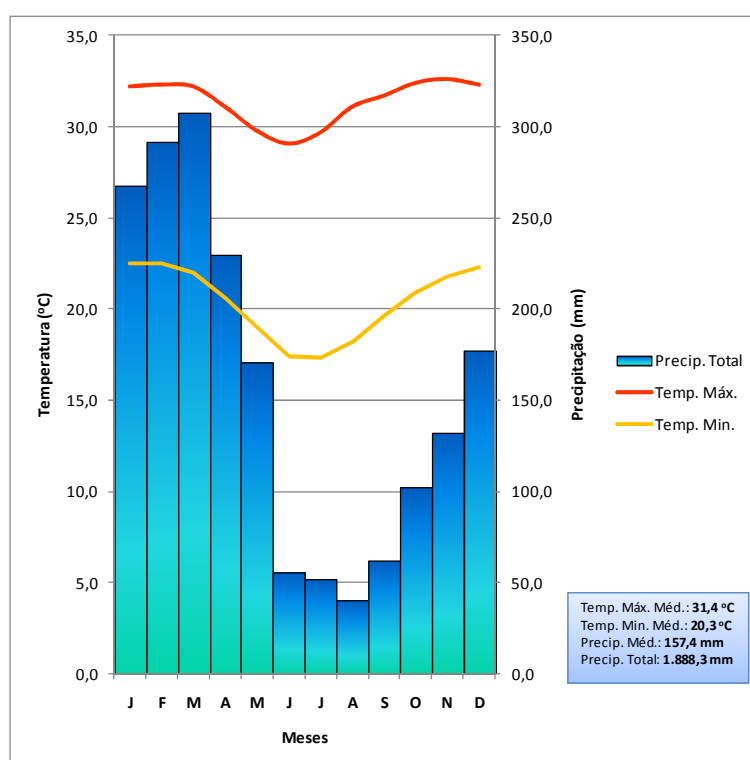


Figura 6. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Altamira (PA).
(Fonte: o autor)

Lábrea (AM) tem 68.229 Km², com 39.393 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 176.284 mil, em 2007, com PIB *per capita* de R\$ 4.776,00, com incidência de pobreza, em 2003, de 61,04% e índice de Gini de 0,42 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,598 (PNUD, 2003).

As grandes classes de solos que predominam no município são Podzólico Vermelho-Amarelo de textura argilosa, Latossolo Vermelho-Amarelo com textura muito argilosa, com manchar de Gleissolos de textura argilosa, Plintossolos, também com textura argilosa, e Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média (IBGE, 2010a).

O clima é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, caracterizando-se por apresentar temperatura média, no mês mais frio, sempre acima de 18 °C, e umidade suficiente para sustentar a floresta tropical, embora a estação de seca não seja longa, durando no mínimo 3 meses. A precipitação anual média varia entre 1.877 mm e 1.982 mm (OLIVEIRA et alli, 2009). Na figura 7 é apresentado o gráfico termopluiométrico, elaborado a partir de dados Agritempo (MAPA, 2010), a partir de dados da estação de Maués (AM).

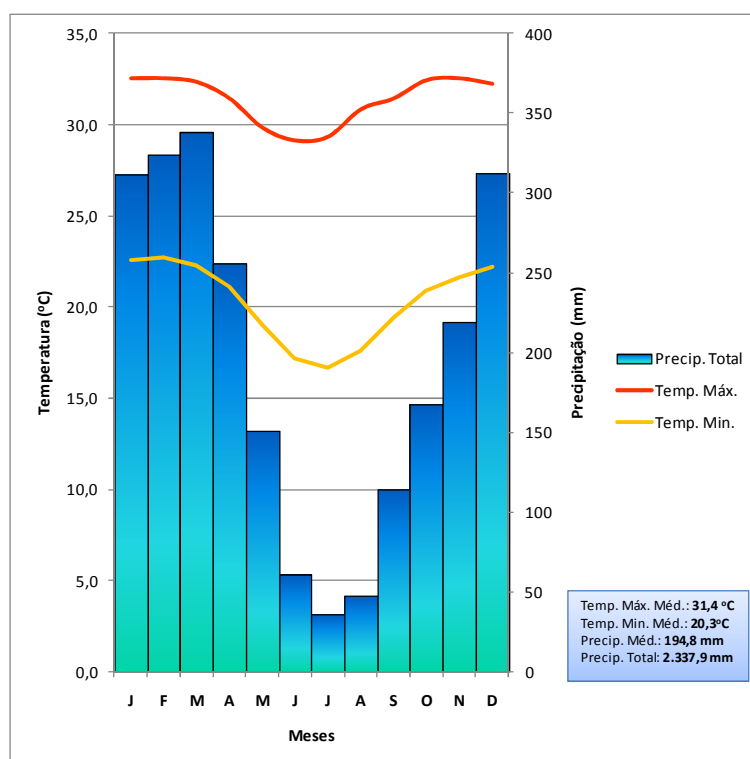


Figura 7. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Lábrea (AM).
(Fonte: o autor)

Machadinho d'Oeste (RO) tem 8.509 Km², com 33.159 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 223.493 mil, em 2007, com PIB *per capita* de R\$ 7.101,00, com incidência de pobreza de 28,49% e índice de Gini de 0,35, em 2003 (IBGE, 2010a) e IDH de 0,691 (PNUD, 2003).

Os solos predominantes no município são os Latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo com textura muito argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo de textura argilosa (IBGE, 2010a).

Segundo a classificação de Köppen para Porto Velho (altitude 95 m), o tipo climático da região é Am (clima tropical monçônico), caracterizando-se como megatérmico. A estação chuvosa vai de dezembro a março (1.300 mm), com total anual de precipitação de 2.390 mm, e uma estação seca bem definida nos meses de junho e julho. A temperatura média anual é em torno de 26,2 °C. A média da umidade relativa do ar é de 85%, apresentando pouca variação durante o ano (MIRANDA, 2005). Na figura 8 apresenta-se o gráfico termopluiométrico, elaborado a partir de dados do Agritempo (MAPA, 2010).

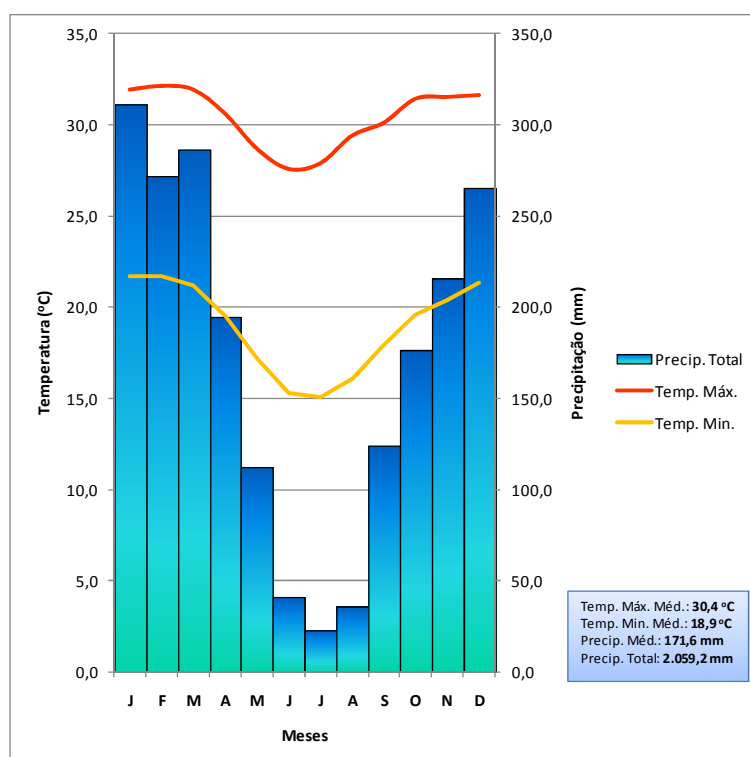


Figura 8. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Machadinho d'Oeste (RO). (Fonte: o autor)

Marabá (PA) tem 15.092 Km², com 203.049 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 3.115.485 mil, em 2007 e um PIB *per capita* de R\$ 15.857,00, com incidência de pobreza de 42,73% e índice de Gini de 0,41, em 2003 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,714 (PNUD, 2003).

Os solos predominantes são Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, Latossolo Amarelo, com textura média, Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa, Podzólico Vermelho-Escuro, de textura média/argilosa e Cambissolo de textura média (IBGE, 2010a).

Na classificação de Köppen, este Município se encontra na faixa de transição de AW para Am. A temperatura média anual é de 26,5° C, apresentando a média máxima em torno de 31,0°C e uma mínima de 22,0°C. O período chuvoso é de dezembro a maio e o mais seco, de junho a novembro, estando o índice pluviométrico em torno de 2.000 mm/ano (PORTAL AMAZÔNIA, 2010). Na figura 9 é apresentado o gráfico termopluiométrico, elaborado a partir de dados do Agridempo (MAPA, 2010).

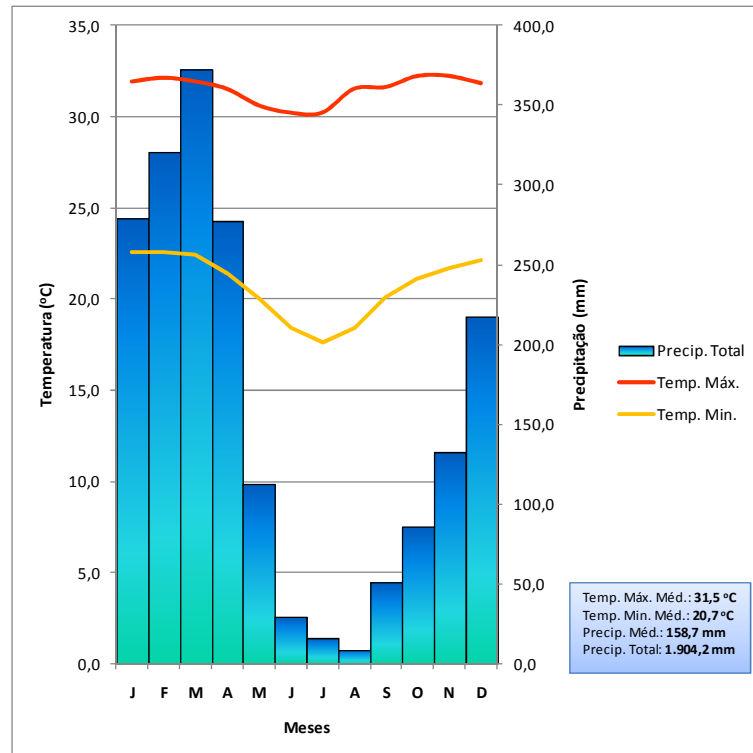


Figura 9. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Marabá (PA).
(Fonte: o autor)

Mucajaí (RR) tem 12.751 Km², com 13.188 habitantes. O PIB do município foi R\$ 109.327 mil, em 2007 e um PIB *per capita* de R\$ 8.714,00, com incidência de pobreza de 47,64% e índice de Gini de 0,41, em 2003 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,726 (PNUD, 2003).

As classes de solos predominantes no município são Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa e o Podzólico Vermelho-Amarelo de textura argilosa, com grandes manchas de solos Litolíticos de textura indiscriminada (IBGE, 2010a).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, domínio de clima tropical chuvoso com nítida estação seca, com a amplitude térmica, entre as médias do mês mais quente e do mês mais frio, inferior a 5°C. A precipitação pluviométrica apresenta valores médios de 1.795 a 2.385 mm.ano⁻¹, em que os meses de maio, junho e julho assinalam mais de 55 % do total de precipitação, sendo que maio é o mês de maior precipitação (COSTA; XAUD; MOURÃO JÚNIOR, 2005). A figura 10 apresenta o gráfico termopluviométrico elaborado a partir de dados do Agritempo, considerando os valores de estações meteorológicas de Boa Vista (MAPA, 2010).

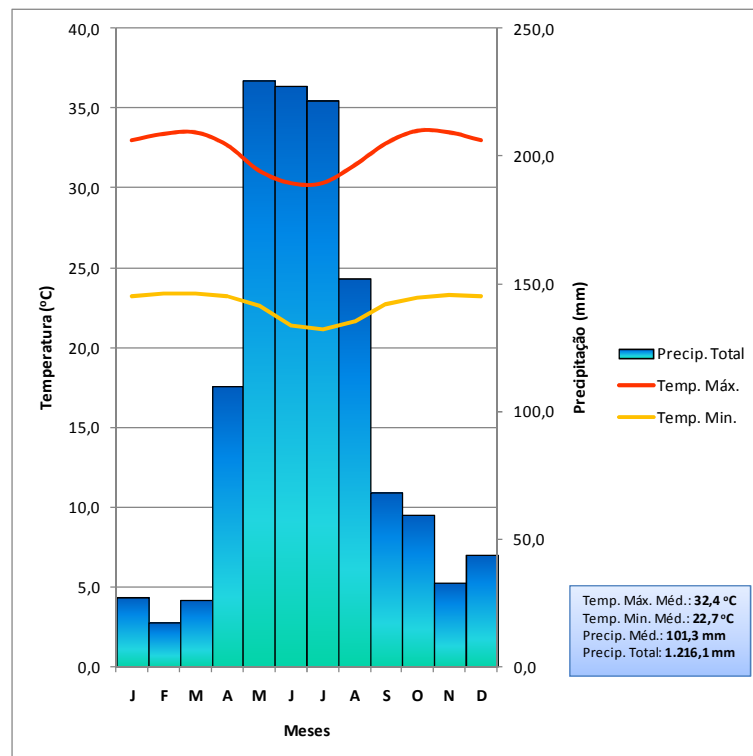


Figura 10. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Mucajaí (RR).
(Fonte: o autor)

Paragominas (PA) tem 19.331 Km², com 97.350 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 680.521 mil, em 2007 e um PIB *per capita* de R\$ 7.493,00, com incidência de pobreza de 39,10% e índice de Gini de 0,41, em 2003 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,690 (PNUD, 2003).

O solos predominantes são Latossolo Amarelo, de textura muito argilosa, Podzólico Vermelho-Amarelo, com textura média/argilosa e Plintossolo de textura média (IBGE, 2010a).

O clima, do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com média anual de chuvas abaixo de 2.000 mm, sendo abundante de janeiro a maio. A umidade relativa apresenta média anual de 81%, sendo elevada para o ano inteiro, com temperatura máxima média de 33 °C (BASTOS et alli, 2006). Na figura 11 é apresentado o gráfico termopluiométrico, elaborado a partir de dados do Agritempo (MAPA, 2010).

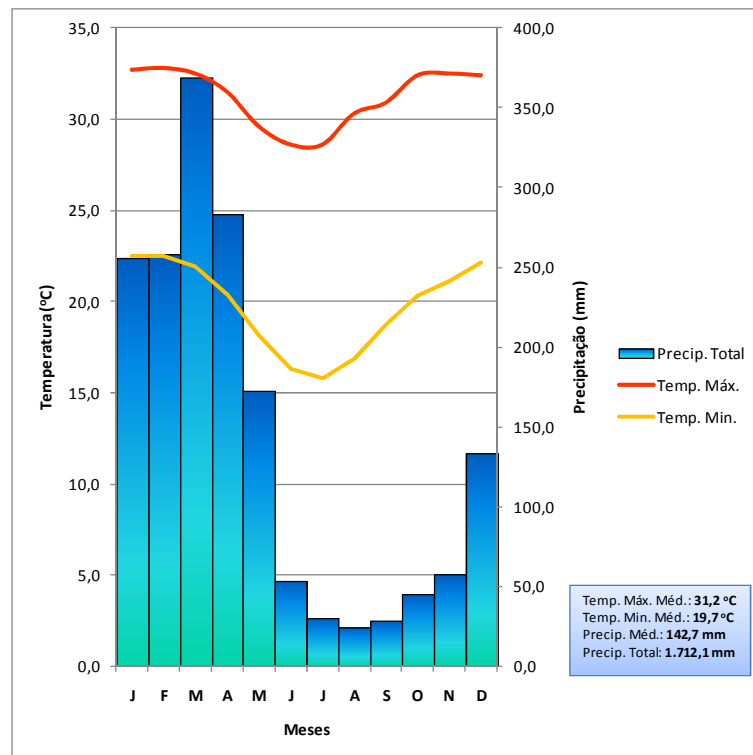


Figura 11. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de Paragominas (PA).
(Fonte: o autor)

São Félix do Xingu (PA) tem 84.212 Km², com 67.208 habitantes. O PIB do município foi de R\$ 345.733 mil, em 2007 e um PIB *per capita* de R\$ 5.836,00, com incidência de pobreza de 36,45% e índice de Gini de 0,42, em 2003 (IBGE, 2010b) e IDH de 0,709 (PNUD, 2003).

Os solos de maior frequência são o Podzólico Vermelho-Amarelo, textura média/argilosa, solos Litolíticos de textura indiscriminada e Terra Roxa Estrutura de textura argilosa (IBGE, 2010a).

O clima da região pertence à categoria Ami, de acordo com a classificação de Köppen, sendo equatorial úmido, com uma estação relativamente seca, bem definida, e outra com elevados índices pluviométricos (ARAÚJO; ROCHA; ROLIN, 2006). Apresenta-se na figura 12 o gráfico termopluiométrico, elaborado com dados do Agritempo (MAPA, 2010).

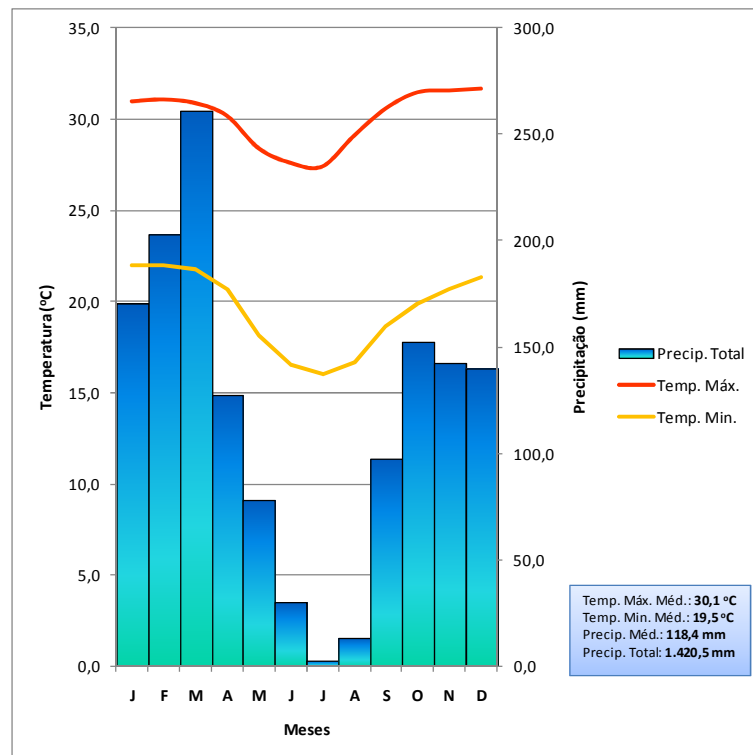


Figura 12. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais no período de 1983 a 2010, no município de São Félix do Xingu (PA). (Fonte: o autor)

A partir das características edafoclimáticas da área de estudo, é possível a elaboração de um sistema agroflorestal com a utilização de espécies adaptadas à região e que permitam, ao longo do ano, um fluxo de caixa adequado às necessidades das famílias produtoras.

3.2 Formulação e Descrição do Sistema Agroflorestal de Referência

O modelo agrossilvicultural apresentado neste trabalho refere-se a um modelo teórico, elaborado a partir de informações reais de experimentos de longa duração disponibilizados através de diversas publicações (tabela 1). Na tabela 5 são apresentadas informações referentes à produção agrícola, ao extrativismo vegetal e silvicultura nos municípios selecionados, com a finalidade de identificar padrões existentes nos mercados locais.

Tabela 5. Produção agrícola e extrativismo vegetal e silvicultura nos municípios da Amazônia brasileira selecionados.

Produtos	Altamira (PA)	Lábrea (AM)	Machadinho d'Oeste (RO)	Marabá (PA)	Mucajá (RR)	Paragominas (PA)	São Félix do Xingu (PA)
Lavoura Permanente (toneladas)							
Banana (cacho)	17.270	1.915	933	10.375	2.000	1.800	12.000
Cacau (amêndoa)	2.444	-	563	110	-	-	1.410
Café (em grão)	894	450	6.143	112	-	192	-
Cupuaçu	5	12	3	188	-	8	67
Mamão	584	90	48	-	348	-	-
Maracujá	100	15	-	30	-	95	-
Pupunha Palmito	-	-	5	-	-	-	-
Pimenta-do-reino	1.170	-	6	-	-	2.190	-
Lavoura Temporária (toneladas)							
Abacaxi (mil)	90	560	165	-	6	750	200
Arroz (em casca)	2.751	152	4.405	7.470	8.851	30.750	3.274
Feijão (em grão)	624	960	785	518	83	260	157
Mandioca	34.200	29.722	43.640	48.000	8.130	10.1200	33.125
Melancia	1.000	4.000	144	-	900	-	1.520
Milho (em grão)	5.630	1.537	5.775	6.864	1.361	100.245	20.054
Soja (em grão)	162	-	-	-	-	35.160	-
Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (toneladas)							
Açaí (fruto)	323	56	1	-	-	-	-
Castanha-do-pará	439	1.277	23	34	-	-	110
Palmito	-	-	1	-	-	-	-
Seringueira (látex)	10	444	52	-	-	-	2
Carvão vegetal	277	33	-	21.160	81	-	2
Lenha (m ³)	16.122	33.437	3.400	30.000	9.200	-	1.028
Madeira tora (m ³)	240.699	110.343	285.000	30.000	11.000	546.620	42.209
Copaíba (óleo)	5	5	1	-	-	-	-

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal e Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE, 2010c).

Com base nas características edafoclimáticas, socioeconômicas e na produção dos municípios, as espécies selecionados para compor um SAF de referência para região foram: castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), banana (*Musa spp.*), mandioca (*Manihot sculenta*), milho (*Zea maiz*) e ingá (*Inga edulis*), cujas peculiaridades inerentes à sua utilização na Amazônia podem ser identificadas na tabela 6.

Tabela 6. Características de utilização e produção das espécies selecionadas, de acordo com pesquisas realizadas na Amazônia brasileira.

Espécies	Espaçamento (m)	Plantas (ha ⁻¹)	Produção Anual		Fonte
			kg.ha ⁻¹	kg.planta ⁻¹	
Castanha (frutos)	10 x 10	100	396 (12°)	4,0 (12°)	Santos, 2000
			341 (13°)	3,4 (13°)	
			307 (21°)	3,0 (21°)	
	8 x 8	39	156 (8°)	4 (8°)	Brienza et alli, 2008
195 (10°)			5 (10°)		
390 (12°)			10 (12°)		
975 (14°)			25 (14°)		
24 x 8	52	452 (10°)	8,7 (10°)	Arco-Verde, 2008	
		723 (12°)	12,9 (12°)		
		904 (14°)	17,4 (14°)		
		994 (15°)	19,1 (15°)		
20 x 20	25	375 (12°)	15 (12°)	Sanguino, 2004	
		875 (13°)	35 (13°)		
		1.125 (14°)	45 (14°)		
		1.375 (15°)	55 (15°)		
Castanha (madeira)	8 x 8	39	65 m ³ (30°)	1,7 (30°)	Brienza et alli, 2008
	24 x 8	52	95 m ³ (20°)	1,8 (20°)	Arco-Verde, 2008
Cupuaçu	6 x 6	278	142 (5°)	0,5 (5°)	Santos, 2000
			420 (6°)	1,5 (6°)	
			2.477 (9°)	8,9 (9°)	
	6 x 6	556	493 (3°)	0,9 (3°)	Gama, 2003 ^a
3.288 (5°)			5,9 (5°)		
6.170 (7°)			11,1 (7°)		
5.695 (10°)			10,2 (10°)		
5 x 5	400	6.060 (4°)	15 (4°)	Sanguino, 2004	
		9.090 (5°)	23 (5°)		
		12.120 (6°)	30 (6°)		
		15.149 (7°)	38 (7°)		
5 x 5	400	4.000 (4°)	10 (4°)	Sanguino et alli, 2007	
		7.200 (5°)	18 (5°)		
		11.200 (6°)	28 (6°)		
			30 (7°)		

Espécies	Espaçamento	Plantas (ha ⁻¹)	Produção Anual		Fonte
			12.000 (7°)		
	6 x 4	416	23 (5°) 376 (6°) 412 (7°)	0,05 (5°) 0,9 (6°) 1,0 (7°)	Arco-Verde, 2008 ^a
Banana	6 x 6	278	1.247	4,5	Gama, 2003 ^a
	6 x 4	416	615	1,5	Arco-Verde, 2008 ^a
	5 x 4	312	-	-	Sá et alli, 2008 ^c
Mandioca	1 x 1	10.000	7.743	0,8	Arco-Verde, 2008 ^a
	1 x 1	10.000	5.215 (1°) 2.300 (2°) 2.250 (3°)	0,5 (1°) 0,2 (2°) 0,2 (3°)	Santos, 2000
Milho	0,5 x 0,4	15.000	3.000	0,2	Santos, 2000
	1,0 x 0,6	16.666	3.319	0,2	Arco-Verde, 2008
Ingá	6 x 6	278	-	-	Santos, 2000 ^b

^a Médias dos valores apresentados para três SAFs.

^b Componente utilizado para adubação verde, sem dados de produção.

^c Dados de produção não disponíveis.

Fonte: o autor.

A castanha-do-brasil foi considerada principalmente pela produção de frutos e, em segundo lugar, pelo elevado preço de sua madeira. A escolha do cupuaçu baseia-se na sua característica de produção contínua de frutos e no alto valor agregado da polpa (ARCO-VERDE, 2008). A banana, voltada fundamentalmente para o mercado, além de oferecer as condições de sombreamento necessárias ao estabelecimento do cupuaçu, otimiza o uso do solo e apresenta rápidos retornos financeiros (menos de um ano). As culturas anuais (mandioca e milho) foram selecionadas tanto para segurança alimentar (consumo próprio) quanto para o mercado, uma vez que permitem retornos durante o período de implantação do sistema (até três anos). O ingá foi escolhido para aumentar a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de matéria orgânica no solo. Na tabela 7 são apresentados o espaçamento, densidade e função de cada espécie.

Tabela 7. Características de utilização e produção das espécies selecionadas, de acordo com pesquisas realizadas na Amazônia brasileira.

Espécie	Espaçamento (metros)	Densidade (plantas.ha ⁻¹)	Função
Castanha-do-brasil	12 x 12	62	Comercialização de frutos e madeira
Cupuaçu	6 x 4	313	Comercialização de polpa
Banana	3 x 3 x 4 (fileiras duplas)	750	Comercialização de frutos
Mandioca	3 x 2 (FaCA: 0,60 x 0,60)	1.500 (FaCA: 1.333)	Segurança alimentar e comercialização
Milho	1 x 0,25 (FaCA: 0,90 x 0,25)	21.504 (FaCA: 2.400)	Segurança alimentar
Ingá	6 x 4	375 (bordas: 38)	Adubação verde

Fonte: o autor.

O modelo formulado considerou a inclusão de uma faixa permanente para o plantio continuado de culturas anuais (FaCA), conforme proposto por Arco-Verde (2008), correspondendo a 10% de um hectare (1.000 m²), com 10 m de largura e 100 m de comprimento, onde serão mantidos os cultivos de mandioca e milho em uma densidade superior àquela utilizada na combinação com as outras espécies.

A distribuição espacial das espécies pode ser observada através das figuras 13, 14 e 15 (sem escala para o milho), onde foi representado um módulo do sistema, que pode ser replicado até que a área desejada seja alcançada. A disposição das culturas anuais na faixa dedicada é apresentada na figura 16 (sem escala), de forma a permitir a visualização do consórcio proposto entre a mandioca e o milho.

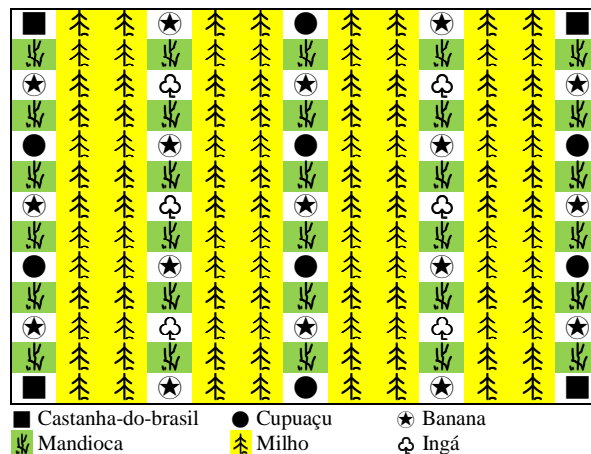


Figura 13. Composição de um módulo do SAF proposto, no 2º. ano após implantação.
(Fonte: o autor)

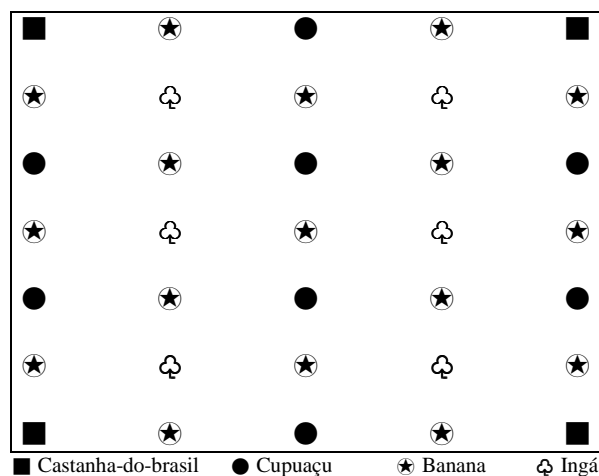


Figura 14. Composição de um módulo do SAF proposto, no 5º. ano após implantação.
(Fonte: o autor)

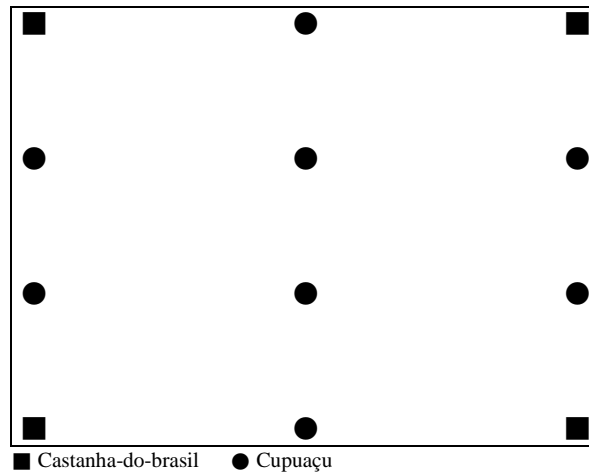


Figura 15. Composição de um módulo do SAF proposto, a partir do 7º. ano após implantação.
(Fonte: o autor)

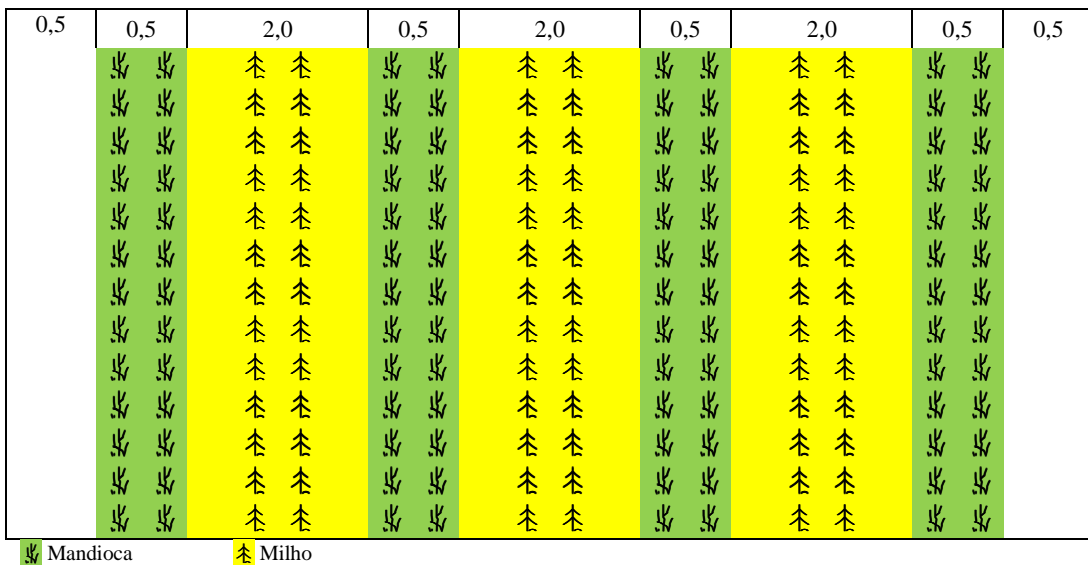


Figura 16. Composição da faixa permanente para culturas anuais, no sistema proposto.
(Fonte: o autor)

O sistema silvicultural proposto parte de algumas premissas básicas que levaram em consideração, principalmente, o fato de que a produção objetiva o mercado e de que se deve desenvolver o potencial produtivo das espécies selecionadas, com as tecnologias produtivas disponíveis, sem uso do fogo.

O tempo de permanência de cada cultura no sistema, considerando um período de planejamento de 20 anos, é apresentado na tabela 8, ressaltando-se que as culturas anuais, contudo, posteriormente à sua retirada do consórcio com as outras espécies, se mantém no sistema, em um consórcio somente entre elas, através da utilização da FaCA.

Tabela 8. Tempo de permanências das espécies selecionadas no SAF proposto.

Espécie	Anos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Castanha-do-brasil	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cupuaçu	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Banana	n	■	■	■	■	■	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Mandioca ¹	n	■	■	■	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Milho ¹	n	■	■	■	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Ingá ²	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

¹A partir do 5º. ano, cultivado apenas na FaCa.

²Do 7º. ao 10º. ano, mantido apenas na bordadura.

■ = presença da cultura em toda a área.

▣ = presença da cultura apenas na FaCa.

□ = presença da cultura apenas na bordadura.

n = ausência da cultura no sistema.

Fonte: o autor.

A produtividade estimada de cada espécie no sistema é apresentada na tabela 9. Os valores foram obtidos a partir da aplicação de modelos de regressão, considerando os dados obtidos da literatura (tabela 6) e refinados com consultas a pesquisadores da Embrapa Roraima, com base na composição do sistema, no tempo de permanência de cada cultura e no nível de tecnologia adotado (tratos culturais e fertilização). Os valores estimados de produtividade são apresentados na tabela 9.

Os custos para avaliação financeira do sistema foram estimados a partir das necessidades de mão-de-obra e insumos à realização de cada atividade, conforme detalhamento apresentado no Apêndice A, tendo como base os valores para preparação da área e implantação do SAF e àqueles pertinentes aos componentes utilizados durante todo o período de permanência.

Segundo Arco-Verde (2008), a mão-de-obra é o mais importante de todos os custos usados nas atividades agrícolas nos países em desenvolvimento, principalmente em pequenas propriedades, onde a terra e o capital são limitados. Na análise financeira, a mão-de-obra familiar representa um custo de oportunidade, que varia de acordo com a época do ano (alta ou baixa temporada), tipo de trabalho (especializado ou não), e sexo (MACDICKEN; VERGARA, 1990 apud ARCO-VERDE, 2008).

Tabela 9. Produtividade estimada dos diferentes componentes do SAF proposto.

Anos	Banana kg/ha	Castanha (frutos) kg/ha	Castanha (madeira) m ³ /ha	Cupuaçu (polpa) kg/ha	Mandioca kg/ha	Milho kg/ha
1	-	-	-	-	3.541	2.500
2	3.139	-	-	-	3.541	2.500
3	5.063	-	-	-	3.541	2.500
4	5.063	-	-	704	2.000 ¹	250 ¹
5	3.038	-	-	986	2.000	250
6	3.038	-	-	1.409	2.000	250
7	-	434	-	1.690	2.000	250
8	-	558	-	1.690	2.000	250
9	-	558	-	1.690	2.000	250
10	-	558	-	1.690	2.000	250
11	-	682	-	1.690	2.000	250
12	-	1.178	-	1.409	2.000	250
13	-	1.736	-	1.409	2.000	250
14	-	1.736	-	1.409	2.000	250
15	-	2.294	-	1.409	2.000	250
16	-	2.294	-	1.409	2.000	250
17	-	2.294	-	1.409	2.000	250
18	-	2.294	-	1.409	2.000	250
19	-	2.294	-	1.409	2.000	250
20	-	2.294	109	1.409	2.000	250

¹ A partir do quarto ano, a produtividade foi estimada considerando somente a área da FaCA.

Fonte: o autor.

Os custos de mão-de-obra foram avaliados a partir de atividades de amostragem de solo, limpeza da área, roçagem manual, aração, gradagem, aplicação de corretivos e agroquímicos, marcação da área, marcação das linhas de plantio, plantio, replantio, capina, colheita, adubação, preparo de mudas, transporte das mudas, podas, desbastes, desfolha, retirada do coração das bananeiras, controle de pragas, assim como as demais atividades de manejo do solo e das culturas presentes no SAF (ARCO-VERDE, 2008).

Os custos de insumos considerados são referentes a fertilizantes, adubos, sementes, maniva-semente, agroquímicos, sacos ou recipientes para mudas, ferramentas (pás, enxadas, foices, facões, cavadores, tesouras, podões) e combustíveis, conforme indicado por Arco-Verde (2008).

As receitas do sistema baseiam-se na comercialização de grãos, provenientes da produção de milho, das raízes de mandioca, dos frutos de cupuaçu e castanha-do-brasil, e de madeira, cuja disponibilidade se dá apenas no final do período de 20 anos.

Os preços utilizados como referência são baseados na média de preços para os estados da Amazônia Legal, obtidos através de consulta aos preços da PGPM – Política de Garantia de Preços Mínimos², disponibilizados pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, considerando o mês de agosto de 2010.

Para o planejamento de SAFs foi elaborada uma planilha eletrônica, com utilização do software MS-Excel³ (Apêndice B), que permite a entrada de dados referente às espécies utilizadas, à produtividade e a especificação dos coeficientes técnicos. Como resultado, é apresentada uma análise financeira para o SAF planejado. São apresentados os custos de mão-de-obra e insumos e as receitas para cada cultura, permitindo avaliar a contribuição individual para o sistema. O fluxo de caixa completo é calculado, demonstrando todas as entradas e saídas, ajustadas e acumuladas ao longo do tempo do projeto. Finalmente, são calculados os valores da TIR, VPL, *payback* simples e descontado, VAE e relação B/C, além de serem apresentados gráficos para visualização do fluxo de caixa acumulado em comparação com entradas e saídas, comparação entre entradas e saídas acumuladas e a curva de sensibilidade do VPL à TMA utilizada.

Tanto o SAF de referência proposto quanto a planilha para planejamento e avaliação financeira de SAFs foram apresentados e validados na “Oficina sobre Sistemas Agroflorestais – Operação Arco Verde”, realizada na Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus (AM), de 5 a 7 de outubro de 2010, com a participação das seguintes entidades: Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Roraima, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Rondônia, Embrapa Mato Grosso, Embrapa Caprinos, CEPLAC, INCRA e Embrapa Sede.

A planilha desenvolvida foi distribuída e passou a ser utilizada para o planejamento e a avaliação financeira de sete modelos de sistemas agroflorestais que foram desenvolvidos durante o período da reunião, como proposta para utilização nos quarenta e três municípios da Operação Arco Verde.

² <http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaPgpm.do?method=acaoCarregarConsulta>

³ <http://office.microsoft.com/pt-br/>

3.3 Avaliação Financeira

Para análise de rentabilidade foram considerados os fluxos de entrada de caixa (receitas ou benefícios) e os fluxos de saída de caixa (custos), que ocorrem no horizonte definido de tempo, conforme Santos e Campos (2000). Dessa forma, a partir da definição do fluxo de caixa anual do sistema, inicia-se a análise financeira do projeto do SAF.

A avaliação financeira é *ex ante*, uma vez que se baseia nos resultados esperados do projeto do sistema. Na análise do SAF completo são considerados os custos e benefícios de todas as culturas. Como indicadores de rentabilidade podem ser utilizados o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), a relação benefício-custo (RB/C), o tempo de recuperação do capital (*payback* simples ou descontado), o valor anual equivalente (VAE), dentre outros, para análises de horizonte plurianual (SANTOS; CAMPOS, 2000; ARCO-VERDE, 2008; BÖRNER, 2009; GAMA, 2003).

O VPL apresenta os valores líquidos atualizados ao instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e custos (HIRSCHFELD, 1998 apud ARCO-VERDE, 2008), descontando-se o investimento inicial do projeto. Quando o resultado é um valor superior zero, diz-se que o projeto apresenta viabilidade econômica (BÖRNER, 2009). O cálculo do VPL pode ser efetuado através da seguinte equação (BUARQUE, 1984):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{R_j - C_j}{(1 + i)^j} - I$$

onde:

R_j = receitas no período j

C_j = custos no período j

i = taxa de desconto (juros)

j = período de ocorrência de R_j e C_j

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo

I = investimento inicial.

Conforme Rezende e Oliveira (2001), o VAE é a parcela periódica e constante, necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL, da opção de investimento em análise ao longo de sua vida útil. Ou seja, o VAE transforma o VPL em fluxo de receitas ou despesas

contínuo e periódico, durante toda a vida útil do projeto. Quanto maior for o VAE calculado, maior a viabilidade do projeto. O VAE pode obtido através da seguinte equação:

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

onde:

VPL = valor presente líquido

i = taxa de desconto (juros)

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo

A RB/C indica o quanto os benefícios superam ou não os custos totais (ARCO-VERDE, 2008). O critério para a condição de viabilidade do projeto, segundo Börner (2009), é que o valor obtido seja maior ou igual à unidade. A equação para cálculo da RB/C é:

$$RB/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}}$$

onde:

R_j = receitas no período j

C_j = custos no período j

i = taxa de desconto (juros)

j = período de ocorrência de R_j e C_j

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

A TIR é a taxa de juros que iguala o valor presente dos benefícios ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL a zero, podendo ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido (ARCO-VERDE, 2008). Se a TIR for maior do que a taxa de desconto exigida pelo investimento, conclui-se pela viabilidade do projeto (BÖRNER, 2009). O cálculo da TIR, conforme Buarque (1984), é dado pela equação:

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{R_j - C_j}{(1 + TIR)^j} - I$$

onde:

R_j = receitas no período j

C_j = custos no período j

i = taxa de desconto (juros)

j = período de ocorrência de R_j e C_j

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo
 I = investimento inicial.

O período de *payback* é o tempo necessário para retornar o capital investido, ou seja, é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala a esse valor. Algebricamente o período de *payback*, ou período de recuperação (PR), pode ser descrito como:

$$PR = T, \text{ quando } \sum_{j=0}^T R_j - C_j = I$$

onde:

R_j = receitas no período j
 C_j = custos no período j
 j = período de ocorrência de R_j e C_j
 T = tempo para o fluxo de caixa igualar os investimentos
 I = investimento inicial.

Foram considerados tanto o *payback* simples, no qual os valores não são atualizados, quanto o *payback* descontado, onde todos os valores são atualizados pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a taxa de juros que representa o custo de oportunidade do capital investido.

Na análise de investimentos, com o objetivo de incorporar condições de risco ou incerteza, recorre-se à análise de probabilidades, com base em modelos de simulação que, conforme Noronha (1987) apud Santos e Campos (2000), incorporam tais condições na análise de forma mais adequada, do ponto de vista teórico, e exequível sem maiores dificuldades na prática.

3.4 Modelagem e Simulação

Para o desenvolvimento dos modelos de simulação seguiu-se o processo interativo definido por Sterman (2000), onde o resultado de qualquer etapa pode gerar *insights* que levam à revisão de etapas anteriores, que consiste nas seguintes etapas:

- a) articulação do problema;
- b) formulação da hipótese dinâmica;
- c) formulação de um modelo de simulação;
- d) teste;
- e) desenho e avaliação de políticas.

A hipótese dinâmica foi estabelecida através do desenho de modelos heurísticos que permitissem captar a lógica econômica subjacente a substituição de sistemas de produção não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Posteriormente, foram elaborados dois modelos de simulação, com a utilização do software Vensim DSS⁴, com propósitos diferentes. O primeiro, voltado a simulações e análise do VPL e do VAE, a partir dos dados do sistema de referência proposto, considerando um horizonte de tempo de 20 anos. O segundo, destinado ao entendimento das relações básicas que podem afetar a substituição dos sistemas de produção não sustentáveis em uso na Amazônia por sistemas agroflorestais, em um horizonte de 50 anos, considerando seu efeito na melhoria do ambiente, na disponibilidade de serviços ambientais e na disposição a pagar, permitindo avaliar dinamicamente as alterações em termos de bem-estar social decorrentes.

Análises de sensibilidade foram executadas a partir de ambos os modelos. Esse método consiste na alteração das premissas sobre o valor de variáveis exógenas do modelo, avaliando seu efeito. O Método de Monte Carlo, também conhecido como simulação multivariada de sensibilidade, que consiste em um método estatístico para simulações estocásticas, é utilizado pelo Vensim DSS para repetir várias simulações alterando os valores de parâmetros dos modelos de acordo com distribuições de probabilidade estabelecidas (VENTANA SYSTEM, 2007).

A distribuição de probabilidade escolhida, por uma questão de simplicidade e por ser a mais adequada para a maioria dos testes de sensibilidade, de acordo com Ventana Systems

⁴ <http://www.vensim.com>

(2007), foi a distribuição uniforme aleatória (*random uniform*), na qual qualquer valor entre o mínimo e o máximo estabelecidos tem a mesma probabilidade de ocorrer.

Os cenários definidos para as simulações encontram-se apresentados na tabela 10. Dividem-se em possibilidades relativas ao desempenho dos SAFs, buscando identificar efeitos possíveis no excedente do produtor, o que é determinante para a mudança nos sistemas produtivos e aquelas relativas à substituição de sistemas produtivos não sustentáveis por sistemas agroflorestais. Para cada cenário foram executadas 1.000 simulações, envolvendo todas as possibilidades de combinações das variáveis selecionadas.

Tabela 10. Cenários definidos para avaliação do SAF proposto.

Cenário	Descrição
Avaliações Financeiras do SAF de Referência	
TJ134	Variação na taxa de juros de 1% a 34%.
MOF1	Atividades gerais realizadas com mão-de-obra 100% familiar, exceto amostra de solos e limpeza da área. Banana, mandioca e milho com 50% de mão-de-obra familiar.
MOF2	Todas as atividades do sistema realizadas com até 50% de mão-de-obra familiar.
TJ1, TJ8 e TJ12	Taxa de juros de financiamentos a 1%, 8% e 12% ao ano, respectivamente.
PP25	Variação de -25% a +25% nos preços dos produtos gerados pelo SAF, individualmente.
PP25T	Variação de -25% a +25% nos preços dos produtos gerados pelo SAF, considerando todos os produtos, simultaneamente.
TO1	Todas as atividades do sistema realizadas com até 50% de mão-de-obra familiar; taxa de juros variando de 1% a 32% ao ano; variação de -25% a +25% nos preços de todos os produtos, simultaneamente; consumo próprio de banana, cupuaçu e mandioca entre 0 e 20%; consumo próprio de milho entre 0 e 100%; até 25% de perdas na produção de todas as culturas.
TO2	Todas as atividades do sistema realizadas com até 100% de mão-de-obra familiar; taxa de juros variando de 1% a 32% ao ano; variação de -25% a +25% nos preços de todos os produtos, simultaneamente; consumo próprio de banana, cupuaçu e mandioca entre 0 e 20%; consumo próprio de milho entre 0 e 100%; até 25% de perdas na produção de todas as culturas.
Simulações da Adoção de SAFs	
SAF0	Cenário base: todos os parâmetros para SAFs e para SPs não sustentáveis são iguais, exceto o <i>conhecimento sobre SAFs</i> que é nulo e o <i>tempo necessário para mudar para SAFs</i> , que foi fixado, por falta de conhecimento dos produtores para 4 anos – o dobro do necessário para mudar para SPs não sustentáveis; a efetividade de uma campanha de informação sobre os benefícios ambientais decorrentes do consumo de produtos de SAFs é nula; não há <i>limite de renda à ética de consumo</i> .
SAF1	Cenário da mudança: taxa de juros para SAFs em 4% a.a.; taxa de juros para financiamento de SPs não sustentáveis a 8% a.a.; <i>efetividade da campanha de informação</i> de 70%; <i>fração de SAs¹ a ser recuperada através de penalidades</i> em 90%; <i>limite da renda à ética de consumo</i> de 20%.

¹Serviços Ambientais.

Fonte: o autor.

4 Resultados e Discussão

4.1 Modelos Heurísticos do Bem-Estar Social a partir da Adoção de SAFs

Para um *insight* a respeito da repercussão em termos de bem-estar social da adoção de SAFs como o principal sistema de produção agrícola na Amazônia brasileira e para que seja estabelecida uma hipótese dinâmica desse processo, faz-se necessário o desenvolvimento de alguns modelos heurísticos com a principal intenção de levantar questionamentos a respeito das possíveis alternativas em termos de políticas públicas.

Os modelos desenvolvidos partem dos seguintes pressupostos básicos para sua construção:

- a) o mercado agrícola é perfeitamente competitivo;
- b) o custo marginal social da agricultura (CMgSA), que representa as externalidades negativas da atividade agrícola, somado ao custo marginal privado da agricultura (CMgPA), aumenta à medida em que aumenta a quantidade produzida de *commodities* agrícolas;
- c) o benefício marginal das externalidades agrícolas (BMgEA), que busca capturar de uma forma simples os efeitos das externalidades positivas, considerando a natureza multifuncional da agricultura, representa os benefícios dessas externalidades somados às demandas por *commodities* e não-*commodities* agrícolas;
- d) o custo marginal social de SAFs (CMgSSAF) é menor do que o custo marginal social da agricultura tradicional (CMgSA) na Amazônia Brasileira, considerando-se o fato de, tradicionalmente, o sistema produtivo ser itinerante e baseado em derruba e queima;
- e) o benefício marginal das externalidades dos SAFs (BMgESAF) é maior do que nos sistemas tradicionais de cultivo, representando a maior produção de serviços ambientais;
- f) as funções de demanda e de oferta são funções lineares e seus deslocamentos são em paralelo por uma questão de simplificação.

Na figura 17, a disposição máxima a pagar por produtos agrícolas é representada pela altura da curva de demanda por *commodities* (DC). O preço pago pelos consumidores é dado pela linha horizontal de altura $p1$. Assim, a área C, abaixo da curva de demanda e acima do preço, mede o excedente do consumidor.

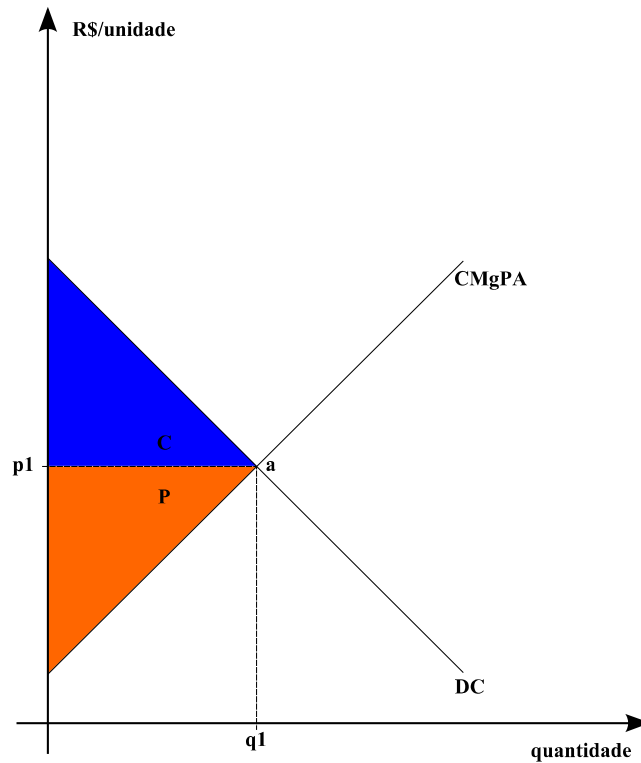


Figura 17. Excedente do Produtor (P) e do Consumidor (C).
(Adaptado de MANKIWI, 2009)

O custo marginal privado da agricultura (CMgPA), que, segundo Riera (2007), corresponde ao preço mínimo pelo qual os produtores estão dispostos a vender uma unidade de um bem, representa a curva de oferta de produtos agrícolas. A diferença entre o CMgPA e o preço corresponde ao excedente do produtor, dado pela área P na figura 17. O excedente total, dessa forma, é a área entre as curvas de oferta e demanda até a quantidade de equilíbrio ($q1$).

Contudo, ao ser considerada a existência de custos marginais sociais advindos das externalidades negativas decorrentes da atividade agrícola, há uma perda de bem-estar social (área vermelha na figura 18), uma vez que a quantidade de *commodities* agrícolas ofertada diminui (de $q1$ para $q2$), em razão de limites aos níveis aceitáveis dessas externalidades, provocando um aumento nos preços (de $p1$ para $p2$).

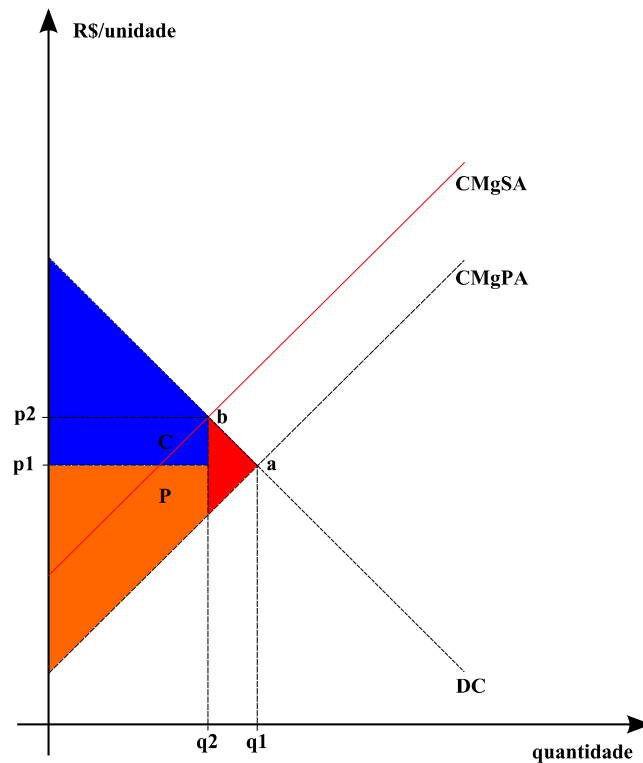


Figura 18. Perda de bem-estar social pela presença de externalidades negativas.
(Adaptado de MANKIOW, 2009)

A partir da multifuncionalidade da agricultura, considerando-se (apenas para simplificação) que as externalidades positivas são produzidas na mesma proporção das externalidades negativas, pode-se observar, através da figura 19, o efeito do benefício marginal das externalidades da agricultura (BMgEA) no deslocamento do ponto de equilíbrio *b*, restabelecendo-se a condição inicial (figura 17), em termos de bem-estar social e quantidade produzida de *commodities* agrícolas, contudo, a um preço mais alto ainda do aquele apresentado na figura 18, uma vez que, nesse preço, há sinalização da remuneração pela produção conjunta de não-*commodities*, embora o benefício marginal líquido das externalidades seja nulo, o que reforça a importância da correta valoração das externalidades, conforme abordado pela OECD (2005).

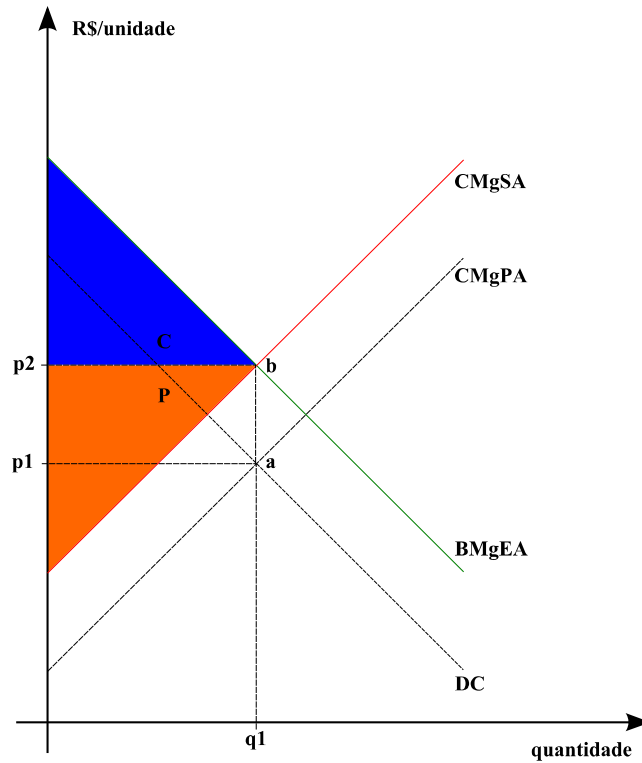


Figura 19. Bem-estar social na presença de externalidades positivas e negativas.
(Fonte: o autor)

Com a utilização de sistemas agroflorestais, tem-se uma situação onde a produção conjunta gera não-*commodities* em maior escala e externalidades negativas em menor, especialmente considerando os aspectos de serviços ambientais inerentes aos SAFs, o que pode ser observado na figura 19.

Percebe-se que, no ponto “c”, considerando-se (apenas para simplificação) deslocamentos proporcionais tanto no benefício marginal das externalidades de SAFs (BMgESAF) quanto no custo marginal social dos SAFs (CMgSSAF), que a quantidade de *commodities* ofertada volta a aumentar (de $q1$ para $q2$), mantendo-se o preço constante, uma vez que é necessário que haja uma compensação para os serviços ambientais produzidos conjuntamente, internalizando totalmente as externalidades geradas a partir de um aumento na disposição a pagar, resultando em aumento de bem-estar social tendo em vista as situações descritas nas figuras 17, 18 e 19.

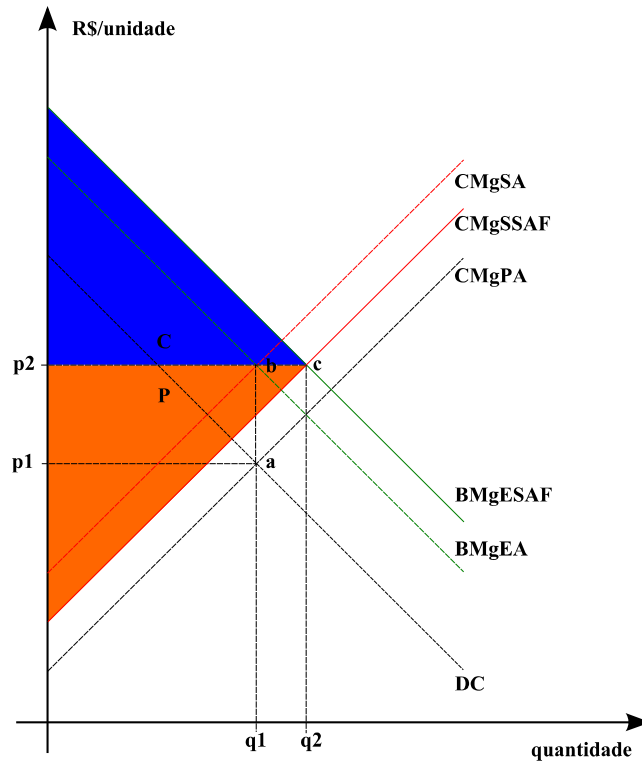


Figura 20. Bem-estar social a partir da adoção de SAFs.
(Fonte: o autor)

A proposição apresentada baseia-se no Teorema de Coase (MATTOS; CAU, 2009), onde os agentes envolvidos com externalidades podem negociar direitos de propriedade, chegando a acordos nos quais as externalidades passam a ser integralizadas nos custos de produção.

Admite-se, através dos modelos heurísticos apresentados, que a adoção de um sistema de produção que considere as demandas por serviços ambientais e em consonância com as demandas sociais pelo respeito ao meio ambiente possa superar as externalidades negativas comuns à atividade agrícola, a partir dos aspectos multifuncionais da agricultura e todo o conjunto de externalidades positivas geradas conjuntamente à produção de bens de base, o que levaria a uma maior rentabilidade para os produtores, partindo de pequenos incrementos na disposição a pagar dos consumidores, mesmo assim, contribuindo para um aumento total no bem-estar social.

4.2 Modelos de Dinâmica de Sistemas

O modelo destinado a avaliar a sensibilidade do VPL e do VAE a variações nos parâmetros do SAF de referência foi elaborado a partir da convergência dos resultados de vários modelos de simulação simples, um para cada componente (cultura) do sistema, conforme figura 21. Variáveis exógenas ao sistema estão representadas por letras maiúsculas. Os hexágonos representam fontes de dados externas (disponibilizados através da planilha de planejamento e análise financeira).

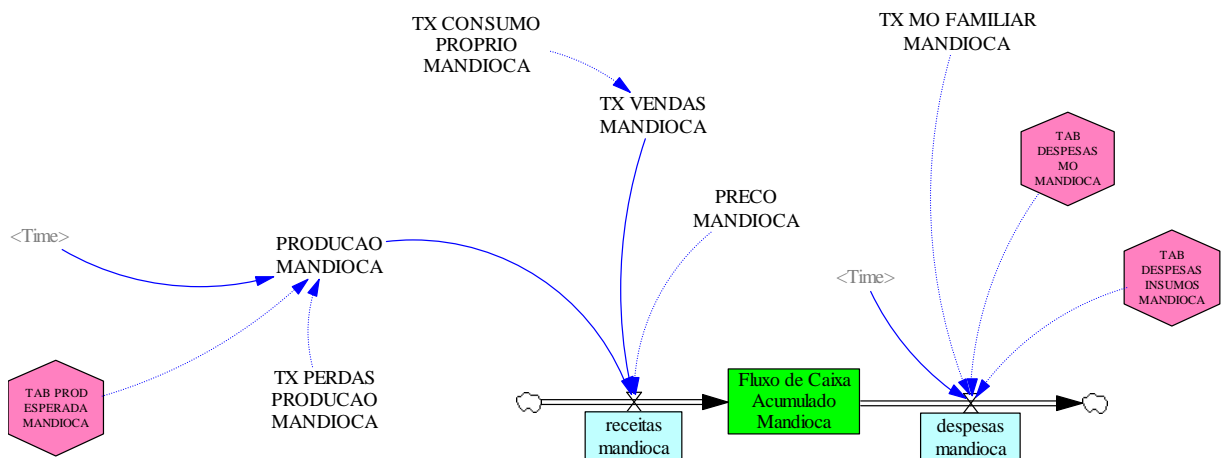


Figura 21. Modelo básico de um componente para simulação financeira de SAFs.
(Fonte: o autor)

Os modelos dos componentes foram desenhados para captar as receitas e despesas, representando os fluxos de caixa acumulados resultantes, acessando as informações diretamente da planilha Excel utilizada para o planejamento do SAF. Foram incluídas, para efeito das simulações, variáveis que representam perdas na produção e o consumo próprio.

Assim, a exemplo do que se apresenta da figura 22, a produção de uma determinada cultura é estabelecida com base na produção esperada (tabela 9) menos as taxas de perdas na produção. A taxa de consumo próprio implica diminuição da taxa de vendas, cuja interação com preço e produção determina a receita da cultura. As despesas referentes ao componente são obtidas a partir dos coeficientes técnicos (Apêndice A) e taxa de mão-de-obra familiar utilizada.

Para o componente ingá a para as atividades gerais, referentes à preparação inicial da área para implantação do sistema, os modelos foram simplificados (figura 22), uma vez que não há receitas relacionadas.

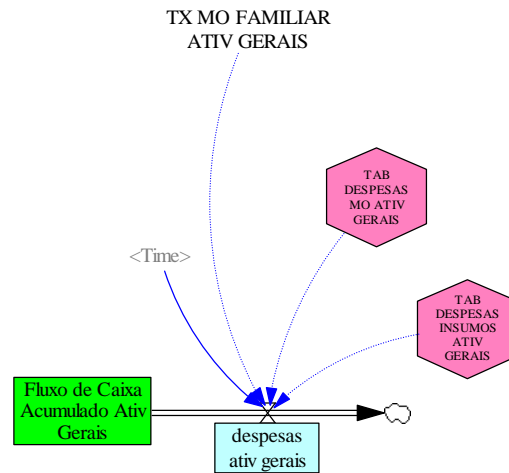


Figura 22. Modelo de componente sem receitas para simulação financeira de SAFs.
(Fonte: o autor)

O modelo para cálculo do VPL e do VAE (figura 23) foi estabelecido a partir da conexão de todas as receitas e despesas, estabelecendo o fluxo de caixa anual do sistema, utilizado juntamente com a TMA para os cálculos.

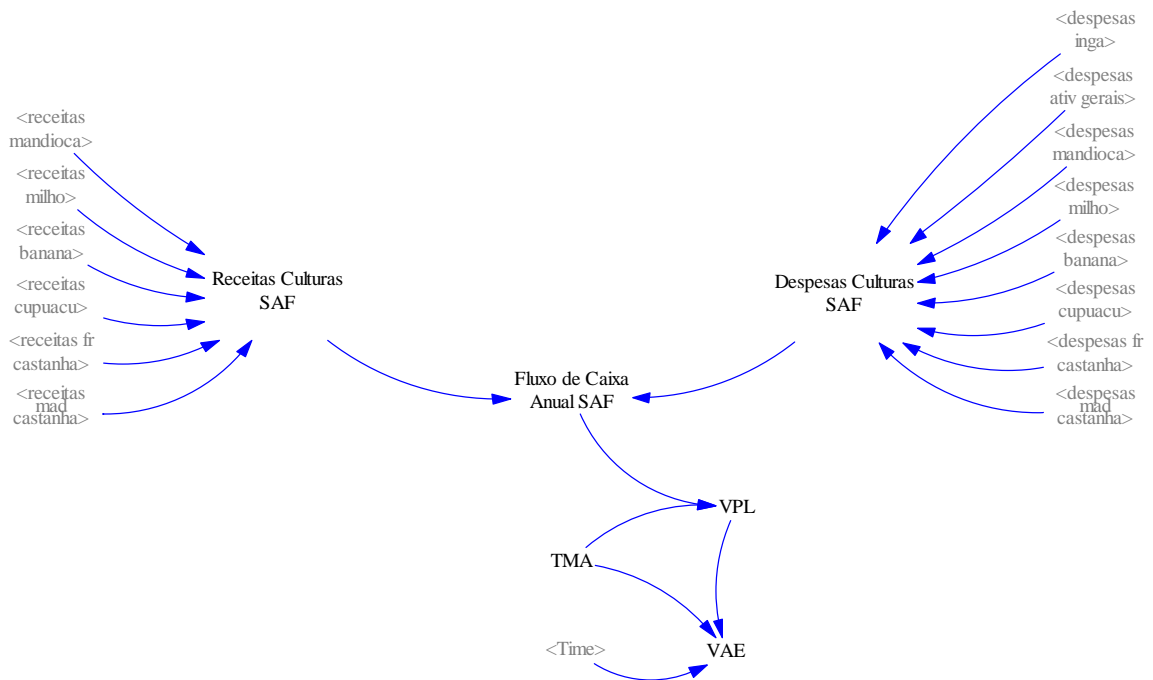


Figura 23. Modelo de para simulação do VPL e VAE de SAFs.
(Fonte: o autor)

O modelo para avaliar a dinâmica da substituição de sistemas produtivos não sustentáveis⁵ por SAFs na Amazônia foi elaborado a partir das bases do modelo de Dudley (2005) para pagamento por serviços ambientais, considerando-se a existência de quatro estoques básicos: *Nível de SAFs*, *Nível de SPs Não Sustentáveis*, *Status do Ambiente* e *Serviços Ambientais*, conforme pode ser observado no Apêndice C. Variáveis exógenas ao sistema estão representadas por letras maiúsculas e variáveis auxiliares por letras minúsculas. Funções especiais que expressam uma relação entre variáveis estão expressas em vermelho. Esse modelo busca capturar as alterações na lógica de produção, que passa a refletir a ética de consumo, dada a percepção decorrente de externalidades negativas no ambiente e no nível de serviços ambientais. Na tabela 11 são apresentados os principais parâmetros do modelo.

Tabela 11. Principais parâmetros do modelo de substituição de sistemas produtivos não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Parâmetro	Valores	Significado
<i>Limite de renda à ética de consumo</i>	[0-1]	Quantidade máxima que os consumidores seriam capazes de absorver, em termos relativos à sua renda, para pagamento por produtos de origem sustentável.
<i>Efetividade da campanha de informação</i>	[0-1]	Representa o quanto alguma campanha de informação sobre a qualidade do ambiente, da disponibilidade de serviços ambientais e dos benefícios ambientais por consumir produtos de SAFs seria influente na mudança dos hábitos de consumo.
<i>Conhecimento sobre SAFs</i>	[0-1]	Representa o nível de conhecimento que os produtores têm sobre SAFs.
<i>Conhecimento sobre SPs¹ não sustentáveis</i>	[0-1]	Representa o nível de conhecimento que os produtores têm sobre os sistemas de produção não sustentáveis.
<i>Fração de SAs² a ser recuperada através de penalidades</i>	[0-1]	Indica o quanto, em termos relativos, de serviços ambientais se busca recuperar a partir da aplicação de penalidades aos produtores que infringirem a legislação ambiental. Basicamente, informa o peso médio relativo da aplicação do princípio poluidor-pagador.
<i>TJLP³ para financiamento de SAFs</i>	[0-1]	Informa a taxa de juros praticada no mercado para os financiamentos de longo prazo de SAFs.
<i>TJLP para financiamento de SPs não sustentáveis</i>	[0-1]	Informa a taxa de juros praticada no mercado para os financiamentos de longo prazo para sistemas de produção não sustentáveis.
<i>Tempo necessário para mudar para SAFs</i>	[1-10]	O tempo, em anos, que um produtor que utiliza SPs não sustentáveis poderia levar para adotar SAFs.
<i>Tempo necessário para mudar para SPs não sustentáveis</i>	[1-10]	O tempo, em anos, que um produtor que utiliza SAFs poderia levar para adotar algum sistema de produção não sustentável.

¹Sistemas de Produção.

²Serviços Ambientais.

³Taxa de Juros de Longo Prazo.

Fonte: o autor.

⁵ No contexto deste trabalho, sistemas de produção não sustentáveis são todos aqueles baseados no padrão de derruba e queima ou agricultura migratória.

As premissas básicas assumidas para construção do modelo são as seguintes:

- a) a disponibilidade de *Serviços Ambientais* é afetada pelo *Status do Ambiente* que, por sua vez, resulta dos fluxos que estabelecem a quantidade de atividades que podem melhorar o ambiente, através do *Nível de SAFs*, ou degradar as condições ambientais, através do *Nível de SPs Não Sustentáveis*;
- b) a *lucratividade de SPs não sustentáveis ajustada* é reduzida pela aplicação de penalidades (multas decorrentes da legislação ambiental) e pela incidência de juros maiores para seu financiamento, explicitando clássicas políticas pigouvianas. Essa redução, ao longo do tempo, reflete-se na diminuição da *taxa de mudança para SPs não sustentáveis*;
- c) a atratividade dos SAFs é reforçada por taxas de juros mais baixas e por um aumento na disposição a pagar dos consumidores, com base na alteração de *ética de consumo* (maior consciência ambiental), dada a percepção da *necessidade de melhoria ambiental*, a qual resulta da diferença entre o *Status do Ambiente* (atual) e o *melhor status possível do ambiente*. Tal atratividade é incorporada pelo aumento da *taxa mudança para SAFs*;
- d) a ética (hábitos) de consumo, refletida na *disposição a pagar por produtos de SAFs*, pode ser alterada pela *efetividade da campanha de informação*, que amplia o nível de informação dos consumidores a respeito do estado atual do ambiente e dos eventuais benefícios da adoção de SAFs pelos produtores, sendo, contudo, contida em parte pelo *limite da renda à ética de consumo*.

A despeito de outras possibilidades de incentivo para a adoção de práticas produtivas em maior consonância com a manutenção do equilíbrio ambiental, o modelo foi definido com base na premissa de que o valor da necessidade de melhorias no ambiente pudesse ser transferido para o preço dos produtos, dada a natureza multifuncional da agricultura e a produção conjunta de serviços ambientais, característica inerente aos sistemas agroflorestais.

O modelo desenvolvido através deste trabalho objetiva simplesmente captar as reações possíveis, em termos gerais, de determinados componentes, para que possam ser observados os resultados de eventuais políticas que irão ajustar o sistema em direção aos objetivos definidos, naturalmente dentro de padrões conhecidos.

A argumentação subjacente reside no fato de que os produtores buscarão o sistema produtivo que lhes permitir maior rentabilidade e de que os consumidores irão buscar as alternativas de consumo que representam maior utilidade. Considerando-se a característica

multifuncional da agricultura, aqueles sistemas produtivos que promovem menos impactos ambientais serão preferidos, dadas as limitações impostas pela renda.

A estrutura representada reflete a seguinte lógica:

- a) o *Nível de SPs não sustentáveis* é determinado pelo fluxo de *mudança para SPs não sustentáveis*, estabelecido em função do *conhecimento sobre SPs não sustentáveis*, do *tempo necessário para mudar para SPs não sustentáveis*, do *excedente do produtor de SPs não sustentáveis* e do *Nível de SAFs*. Assim, os produtores migram para SPs não sustentáveis se tiverem conhecimento sobre esses sistemas, se o tempo para sua adoção for menor e se obtiverem lucros maiores;
- b) por outro lado, de forma análoga, os produtores passam a adotar SAFs se tiverem conhecimento sobre o sistema de produção, se o tempo para sua adoção for pequeno e se os lucros auferidos forem maiores;
- c) a aplicação de multas por infrações ou crimes ambientais, juntamente com taxas de juros mais elevadas, representam políticas que diminuem a lucratividade dos SPs não sustentáveis;
- d) taxas de juros menores, expressas pela *TJLP para financiamento de SAFs*, aumentam a atratividade dos SAFs para os produtores;
- e) o *Nível de SAFs* interage com *Nível de SPs não sustentáveis* para determinar o *Status do Ambiente*, a partir da influência que cada sistema de produção tem sobre o meio ambiente, expressa pelo *estado máximo por tipo de propriedade* que, por sua vez, é também determinante para o nível máximo possível de serviços ambientais;
- f) o *Status do Ambiente* reflete-se no nível de *Serviços Ambientais*, cuja percepção influencia a aplicação de restrições ambientais (maiores multas e taxas de juros mais altas para SPs não sustentáveis);
- g) o *Status do Ambiente* também resulta na percepção da *necessidade de melhoria ambiental* que implica em mudanças na ética de consumo, limitadas, contudo, pela renda dos consumidores, mas que se refletem na *disposição a pagar por produtos de SAFs*, cujo aumento implica em aumento do *excedente do produtor de SAFs*.

Dessa forma, o modelo permite observar o comportamento da lógica de produção a partir da lógica de consumo, ditada pelos efeitos da produção na qualidade ambiental percebida.

4.3 Avaliação Financeira do SAF de referência proposto

A figura 24 apresenta a evolução do fluxo de caixa, custos e receitas, com valores ajustados, considerando um período de 20 anos e juros de 4% ao ano. Os maiores custos, seguindo o padrão já observado por pesquisas e avaliações financeiras de SAFs na Amazônia (ARCO-VERDE, 2008; GAMA 2003; SANTOS, 2000; SANTOS, 2004; SILVA, 2008; MENDES, 2003; BRIENZA et alli, 2008; SÁ et alli, 2000; SÁ et alli, 2008; SANGUINO, 2004; SANGUINO et alli, 2007) ocorreram até o terceiro ano da implantação do sistema, considerando-se o ano zero como o ano de preparo da área. Conforme Arco-Verde (2008), a dispersão dos custos nos primeiros anos é importante, já que sua concentração em apenas um ano exigiria maior disponibilidade de recursos.

É importante observar que, em se tratando de valores ajustados, os acréscimos aos custos no ano 20, decorrentes do corte das castanheiras acabam tendo uma repercussão irrelevante para a alteração da estabilidade, observando dos custos do sistema a partir do sexto ano, cujos valores corrigidos ficaram entre R\$ 715,00 ha⁻¹ e R\$ 1.125,00 ha⁻¹.

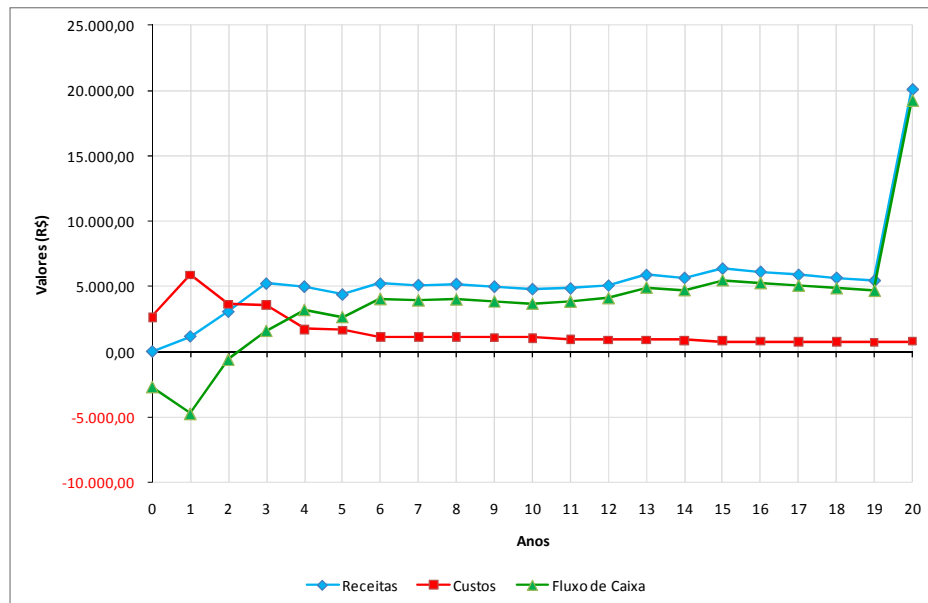


Figura 24. Dinâmica do fluxo de caixa, custos e receitas ajustados do SAF proposto. (Fonte: o autor)

Com relação às receitas, pode-se observar, na figura 25, sua estabilização a partir do terceiro ano, quando também passa a superar os custos, com valores oscilando entre R\$ 4.771,00 ha⁻¹ e R\$ 6.344,00 ha⁻¹, até o 19º. ano, sendo que o salto no último ano é decorrente da venda da madeira da castanheira, altamente valorizada pelo mercado. Embora a composição do SAF siga os padrões de utilizar culturas perenes, semi-perenes e anuais, a geração de receitas ao produtor é constante após sua implantação, o que está de acordo com os resultados já demonstrados por outros trabalhos (ARCO-VERDE, 2008; GAMA 2003; SANTOS, 2000; SANTOS, 2004; SILVA, 2008; MENDES, 2003; BRIENZA et alli, 2008; SÁ et alli, 2000; SÁ et alli, 2008; SANGUINO, 2004; SANGUINO et alli, 2007).

Ao serem avaliados os componentes de custos, identificou-se que a mão-de-obra é responsável por 74% dos custos totais, sendo que os restantes 26% são relativos aos insumos utilizados, conforme os resultados obtidos por Arco-Verde (2008), Gama (2003), Brienza et alli (2008) e Sanguino (2004). Na figura 26 é apresentado o uso de mão-de-obra ao longo dos 20 anos para cada componente do sistema, permitindo identificar a necessidade de cada cultura relativamente ao total demandado e em comparação às demais.

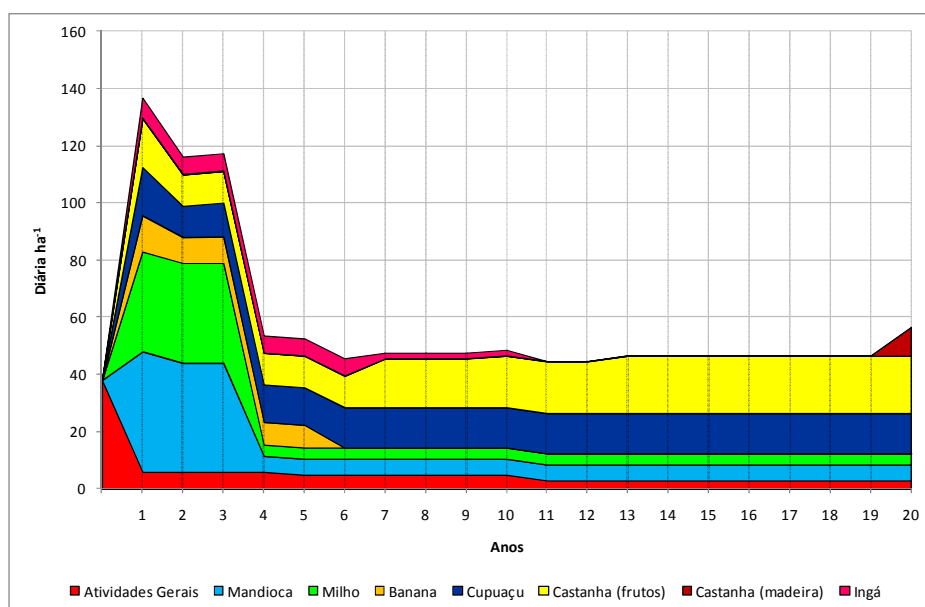


Figura 25. Utilização de mão-de-obra por cada componente do SAF de referência. (Fonte: o autor)

Observa-se a grande demanda de mão-de-obra na fase de implantação do sistema, com valores de 38 diárias ha^{-1} para o ano zero, variando de 116 a 137 diárias ha^{-1} entre o primeiro e terceiro ano, destacando-se as necessidades das culturas de mandioca e milho. A partir do sexto ano é clara a estabilização, predominando as demandas para os frutos de castanha e para o cupuaçu, com valores totais muito próximos, entre 44 e 49 diárias ha^{-1} . Na fase final, especificamente no 20º. ano, há um acréscimo para 57 diárias ha^{-1} , devido ao corte da castanheira.

Na figura 26 são apresentados os custos de mão-de-obra e insumos por cada componente, considerando-se o período total do sistema. Pode-se observar que, à exceção da banana, todas as demais culturas tiveram os custos de mão-de-obra superior aos custos de insumos. É importante ressaltar que os baixos custos pertinentes à madeira da castanheira devem-se ao fato de que, exceto pelos custos de mão-de-obra para corte das árvores, todos os demais custos foram alocados à produção de frutos, o que permitiria análises que não considerassem a derrubada das castanheiras ao final dos 20 anos. Os maiores custos absolutos estão relacionados aos principais componentes do sistema, os frutos de castanha e de cupuaçu. Contudo, em termos relativos, os maiores custos de mão-de-obra dizem respeito às culturas anuais (mandioca e milho), o que é reforçado por resultados semelhantes obtidos por Arco-Verde (2008), Gama (2003), Brienza et alli (2008) e Sanguino (2004).

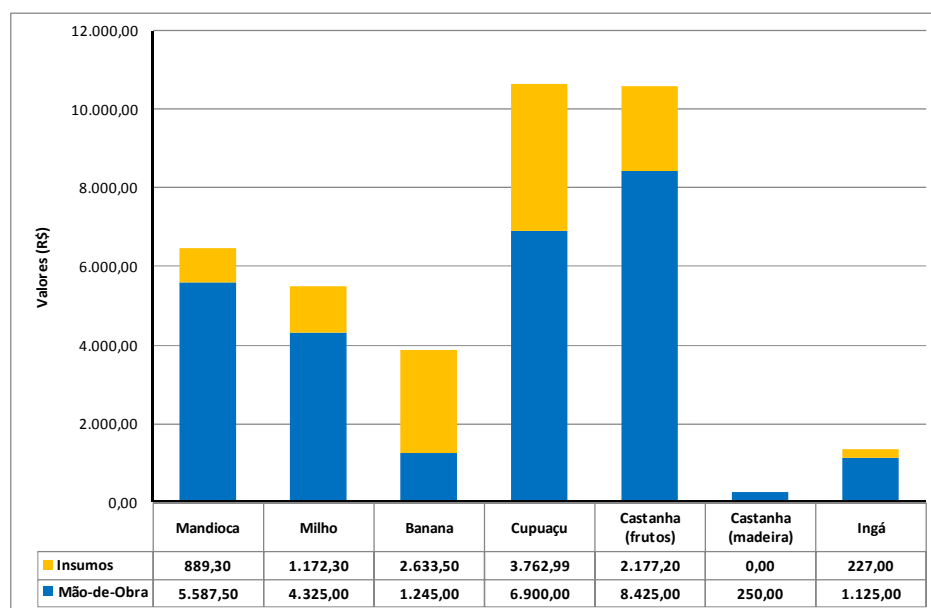


Figura 26. Custos de mão-de-obra e insumos por cada componente do SAF de referência. (Fonte: o autor)

Na figura 27 é apresentada a distribuição relativa dos custos de mão-de-obra e insumos ao longo do tempo, durante os 20 anos do sistema, permitindo-se identificar os períodos de maior demanda de ambos e a contribuição de cada um aos custos totais de cada ano. É possível observar a estabilização do sistema a partir do sexto ano, resultado semelhante ao demonstrado por Arco-Verde (2008).

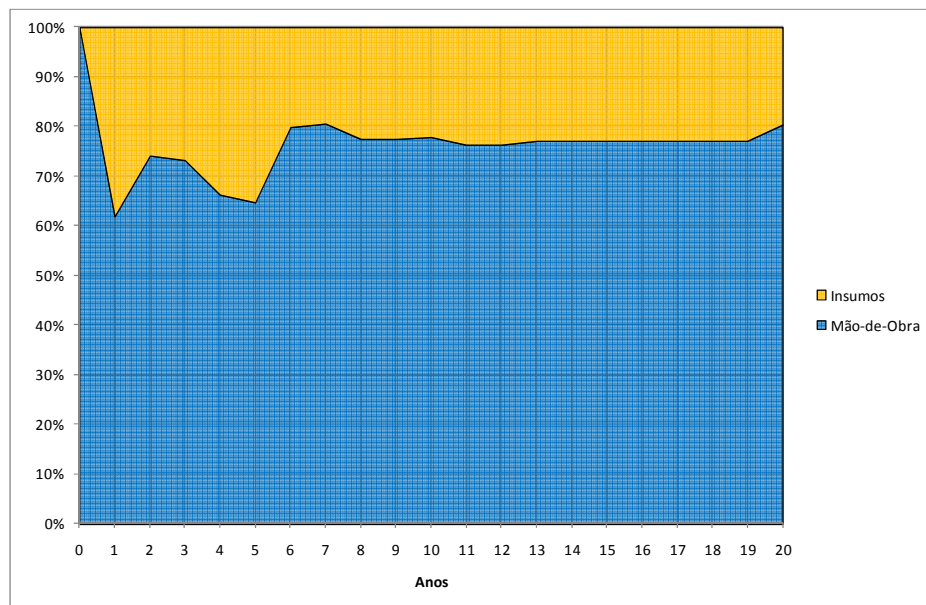


Figura 27. Dinâmica dos custos de mão-de-obra e insumos do SAF de referência.
(Fonte: o autor)

Na figura 28 são apresentados os custos e receitas totais (não ajustados) de cada componente do SAF. Pode-se observar que as culturas anuais (mandioca e milho) não cumpriram o objetivo de gerar renda para auxiliar a implantação e manutenção do sistema, mesmo considerando sua utilização ao longo dos 20 anos na FaCA, diferentemente do que foi observado por Gama (2003) e Arco-Verde (2008). Arco-Verde (2008), identificou resultados positivos, tanto para o milho, quanto para a mandioca. Elevações nos preços de insumos, mão-de-obra, que passou de R\$ 12,00/hora (ARCO-VERDE, 2008) para R\$ 25,00, comparativamente aos preços de mercado para a mandioca, de R\$ 0,15/kg (ARCO-VERDE, 2008) para R\$ 0,12 e do milho, de R\$ 0,30/kg (ARCO-VERDE, 2008) para R\$ 0,31/kg, respondem por essas diferenças de resultados.

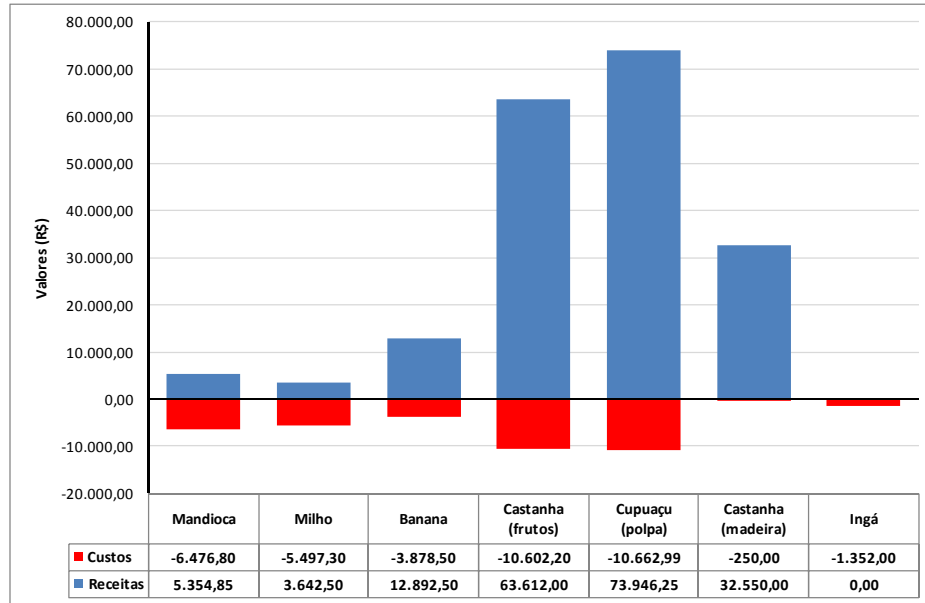


Figura 28. Custos e receitas totais de cada um dos componentes do SAF de referência.
(Fonte: o autor)

A evolução dos custos e receitas acumulados (valores ajustados) ao longo do período do sistema pode ser observada através da figura 29. Constatase que logo após o início do quinto ano as receitas passam a superar os custos, o que demonstra o tempo necessário para que os investimentos comecem a promover sua recuperação, mesmo sendo considerados os prejuízos das culturas anuais e os custos com o ingá, que, devido ao seu uso como adubação verde, não gera receitas diretas.

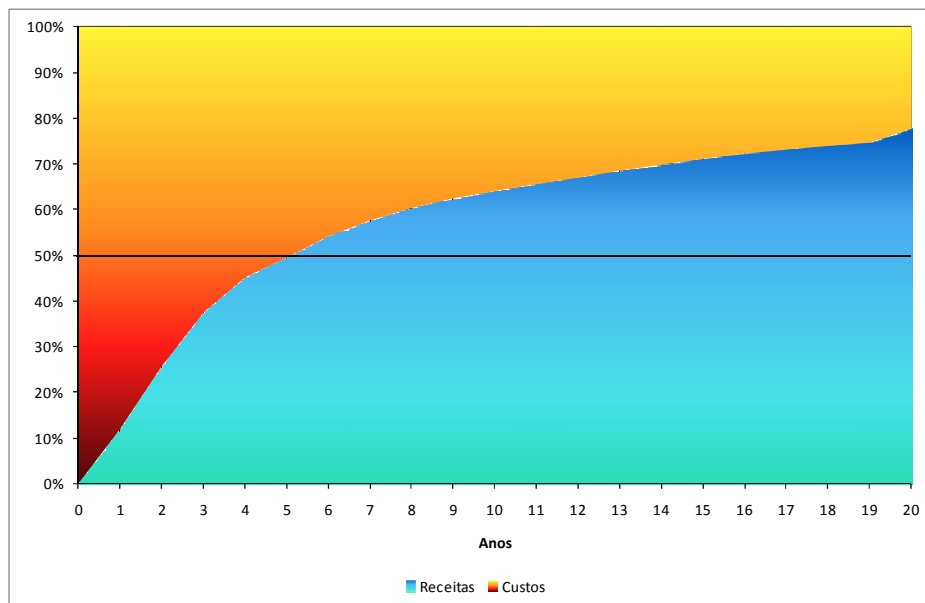


Figura 29. Custos e receitas totais de SAF de referência ao longo dos 20 anos do sistema.
(Fonte: o autor)

O fluxo de caixa acumulado do sistema, juntamente com a evolução dos custos e receitas acumulados (valores ajustados), é apresentado na figura 30, considerando a taxa de juros de 4% a.a.

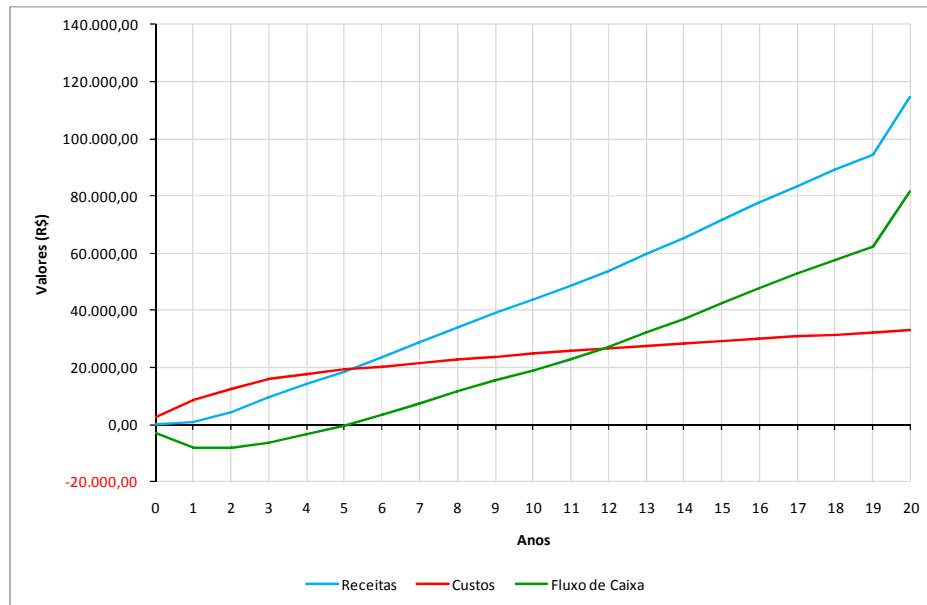


Figura 30. Custos e receitas totais de SAF de referência ao longo dos 20 anos do sistema. (Fonte: o autor)

Considerando-se o período de análise de 20 anos, o modelo de estudo apresentou receita total de R\$ 114.680,59 com custo total de R\$ 32.919,65 (valores ajustados). O valor presente líquido (VPL) foi calculado em R\$ 81.760,93, com valor anual equivalente (VAE) de R\$ 6.016,11. A taxa interna de retorno (TIR) estimada foi de 34%, com período de *payback* descontado de 5,1 anos. A relação benefício custo (B/C) foi de 3,5, representando um retorno de R\$ 3,50 para cada R\$ 1,00 investido.

Uma vez estabelecidos os valores de referência para o sistema, foram realizadas algumas simulações a partir dos cenários definidos, com a alteração dos valores iniciais de alguns parâmetros determinísticos, buscando identificar aqueles que apresentam maior influência.

Na figura 31 é apresentada a relação existente entre o VPL e variações na taxa de juros, *ceteris paribus*, demonstrando que o sistema proposto é capaz de apresentar um VPL positivo (R\$ 783,30, segundo a avaliação) mesmo sendo considerada uma taxa de juros de 32% ao ano. Estudos anteriores (ARCO-VERDE, 2008; GAMA 2003; SÁ et alli, 2000)

demonstraram que os SAFs apresentam resultados positivos mediante variações na taxa de juros, mesmo com a redução do VPL ao final do período de análise.

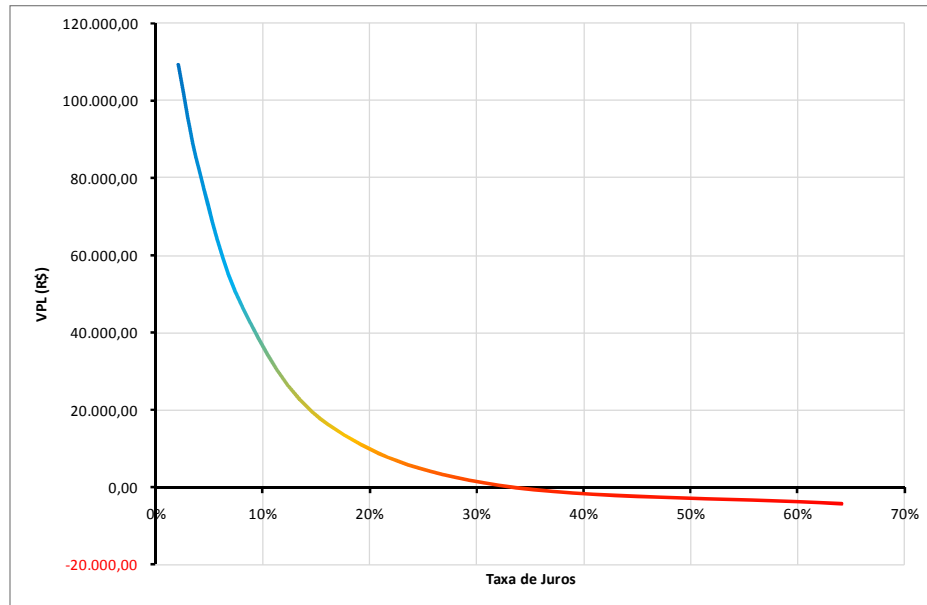


Figura 31. Reposta do valor presente líquido (VPL) à taxa de juros.
(Fonte: o autor)

A figura 32 apresenta as áreas dos intervalos de confiança definidos, relativas à sensibilidade⁶ do VPL (a) e as probabilidades para os valores do VPL (b) frente a variações na taxa de juros entre 1% e 34%. Observa-se que a probabilidade de o VPL estar entre R\$ 0,00 e R\$ 15.000,00 é de aproximadamente 50%.

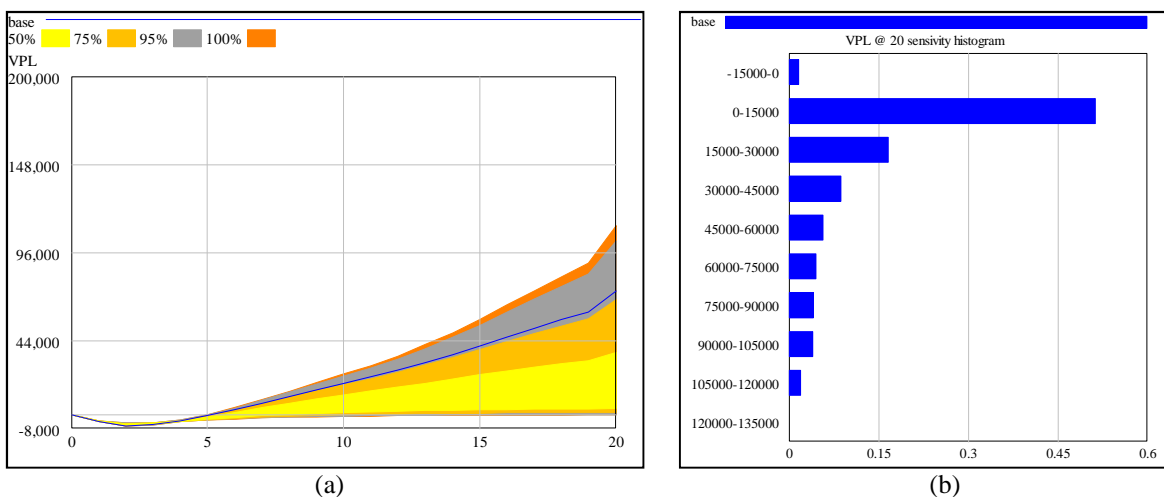


Figura 32. Sensibilidade (a) e probabilidade (b) do VPL (em R\$) a variações na taxa de juros de 1% a 34%.
(Fonte: o autor)

⁶ Os gráficos de sensibilidade apresentam uma “linha de base”, que representa a situação padrão resultante do modelo de simulação, a partir da utilização dos coeficientes técnicos apresentados no Apêndice A e dos parâmetros já definidos.

Na tabela 12 são apresentados alguns resultados das simulações realizadas, permitindo que sejam identificados os fatores de maior impacto no desempenho financeiro do SAF proposto.

Tabela 12. Resultados do desempenho simulado do SAF proposto nos cenários definidos considerando variações na mão-de-obra e na taxa de juros.

Cenário	Efeito Principal	Indicadores Financeiros
MOF1	O custo das atividades gerais (ano zero) deixa de ser R\$ 4.768,00 ha ⁻¹ e passa a ser R\$ 2.343,00 ha ⁻¹ . Mandioca e milho têm seus custos por hectare reduzidos de R\$ 6.476,80 e R\$ 5.497,30 para R\$ 3.883,09 e R\$ 3.334,80, respectivamente, passando a dar lucro. O custo da banana passa de R\$ 3.878,50 ha ⁻¹ para R\$ 3.306,00 ha ⁻¹ .	VPL: R\$ 87.931,42 VAE: R\$ 6.470,15 TIR: 44% Relação B/C: 4,3
MOF2	Além dos efeitos MOF1, há redução de custos em todas as atividades do sistema	VPL: 92.755,56 VAE: 6.825,12 TIR: 49% Relação B/C: 5,2
TJ1	Aumento do VPL em 56%, do VAE em 17% e da RB/C em 19%	VPL: 127.374,84 VAE: 7.058,52 TIR: 34% Relação B/C: 4,2
TJ8	Redução no VPL de 43%, no VAE de e na RB/C de 21%	VPL: 46.877,76 VAE: 4.774,62 TIR: 34% Relação B/C: 2,8
TJ12	Redução no VPL em 66%, no VAE de 38% e na RB/C de 36%	VPL: 27.672,12 VAE: 3.704,71 TIR: 34% Relação B/C: 2,2

Fonte: o autor.

No cenário onde as atividades gerais passam a ser desenvolvidas com mão-de-obra 100% familiar⁷, observou-se um aumento de 7,5% no VPL ao final do período. Considerando-se a utilização da mão-de-obra familiar em 50% das atividades do sistema, durante todo o período e para todas as culturas, obteve-se um aumento no VPL de cerca de 10%.

A figura 33 apresenta as áreas dos intervalos de confiança definidos, relativas à sensibilidade do VPL (a) e as probabilidades para os valores do VPL (b) frente a variações na utilização de mão-de-obra familiar entre 0% e 50% para todas as atividades do SAF (cenário MOF2).

⁷ Exceto para a coleta de amostras de solo e limpeza da área e 50% das atividades pertinentes às culturas da banana, mandioca e milho.

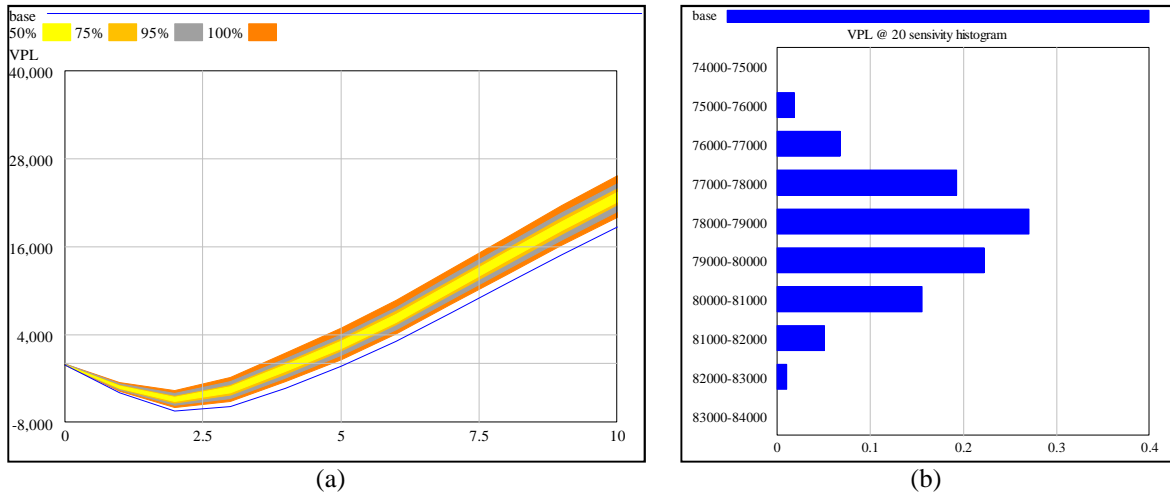


Figura 33. Sensibilidade (a) e probabilidade (b) do VPL (em R\$) com até 50% da mão-de-obra familiar em todas as atividades do sistema, durante o período de 10 (a) e 20 (b) anos.
(Fonte: o autor)

São apresentadas na figura 34 as distribuições de probabilidade do VPL, considerando variações de 25% nos preços das culturas utilizadas no SAF, para menos e para mais (cenário PP25). O menor valor obtido para o VPL foi de R\$ 60.000,00, demonstrando que variações de até 25% nos preços individuais dos produtos não são suficientes para comprometer o resultado do sistema. Pode-se observar maiores dispersões dos valores prováveis do VPL mediante variações nos preços dos frutos de castanha-do-brasil e na polpa do cupuaçu.

Os preços que mais afetam o VPL, por ordem de relevância são: polpa de cupuaçu, frutos de castanha, banana e madeira da castanha. Como já era esperado, com base em estudos anteriores (GAMA, 2003; ARCO-VERDE, 2008), o preço do cupuaçu apresentou grande influência no desempenho financeiro de sistemas agroflorestais com base nessa cultura.

Uma vez que o sistema agroflorestal elaborado permite a oferta diversificada de produtos e mediante os impactos observados de variações nos preços do cupuaçu, dos frutos da castanha e da banana no VPL, estratégias referentes à agregação de valor, conforme apontado por Arco-Verde (2008), tornam-se importantes para maximizar os retornos e estabelecer novos mercados.

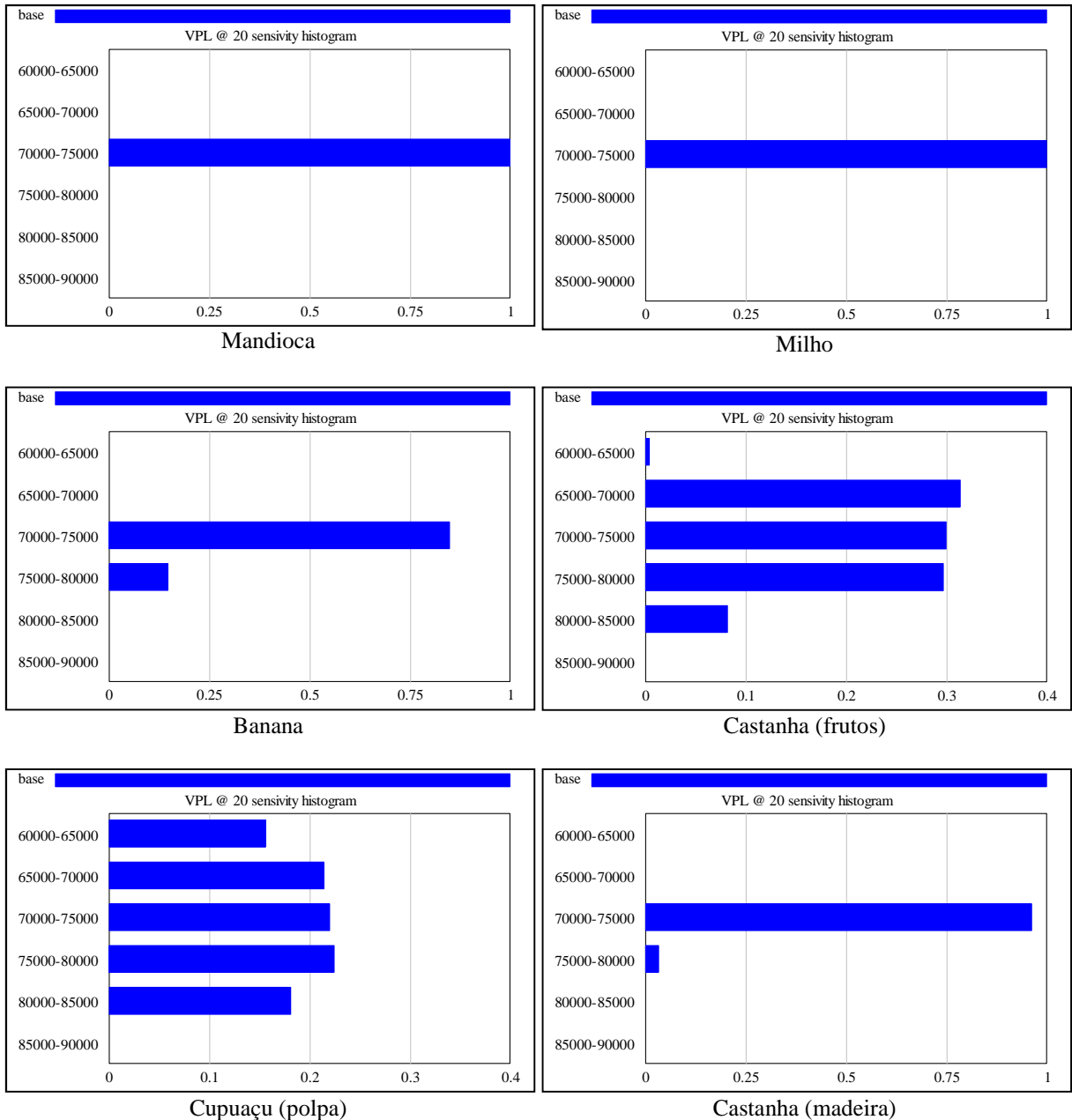


Figura 34. Probabilidade do VPL (em R\$) assumindo variações de 25% (para menos e para mais) nos preços de cada um dos componentes do SAF de referência.
(Fonte: o autor)

Na figura 35 apresenta-se a sensibilidade e distribuição da probabilidade do VPL, a partir de variações de 25% em todos os preços, para menos e para mais, simultaneamente, das culturas utilizadas no sistema (cenário PP25T). Observam-se resultados sempre positivos, mesmo nos intervalos cujos valores apresentam menor probabilidade, o que ilustra a inelasticidade da oferta da produção do sistema dada a diversidade dos produtos utilizados no sistema, característica inerente aos SAFs.

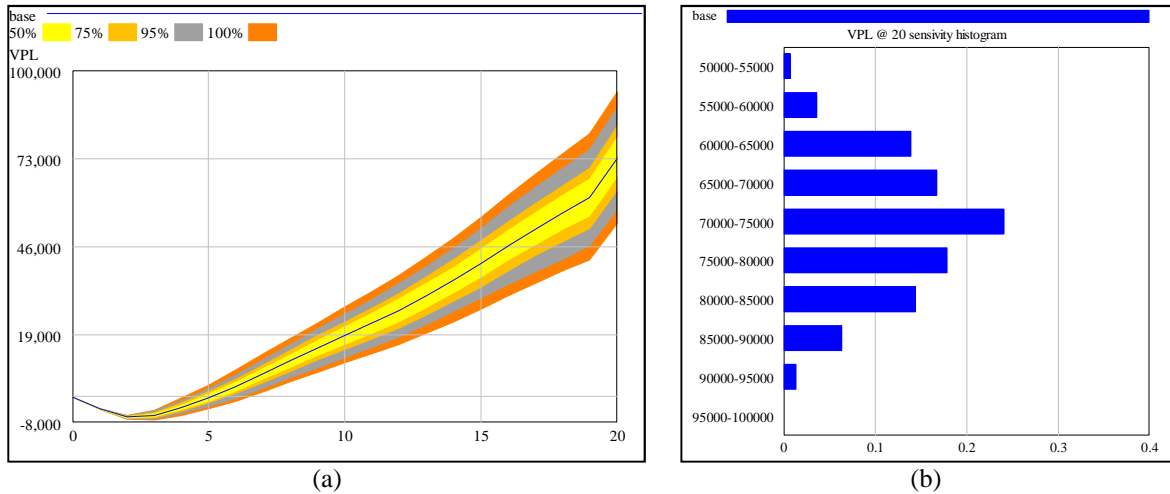


Figura 35. Sensibilidade (a) e probabilidade (b) do VPL (em R\$) mediante variações de até 25% nos preços de todos os produtos (para menos e para mais), simultaneamente.
(Fonte: o autor)

A figura 36 apresenta os resultados da análise de sensibilidade e da probabilidade de retorno do sistema, considerando-se o cenário TO1, onde foram incluídas perdas de até 25% em todas as culturas e o consumo próprio de parte da produção. No cenário TO1, onde a mão-de-obra pode ser no máximo 50% de origem familiar, foi identificada probabilidade de cerca de 10% para valores negativos para o VPL,. A maior probabilidade apresentada, de aproximadamente 60%, é para valores entre R\$ 12.500,00 e R\$ 25.000,00, sendo as demais probabilidades de retorno positivo abaixo de 15%.

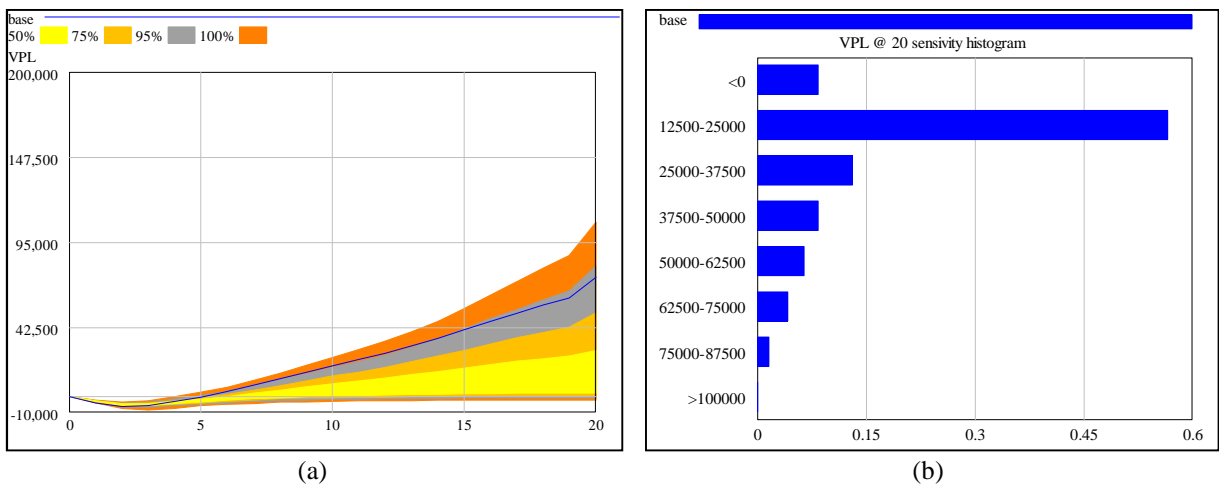


Figura 36. Sensibilidade (a) e probabilidade (b) do VPL (em R\$) no cenário TO1.
(Fonte: o autor)

Os resultados para o cenário TO2, que se diferencia do anterior pela utilização de mão-de-obra até 100% de origem familiar, apontaram para uma probabilidade extremamente baixa de retornos negativos (figura 37). A maior probabilidade, cerca de 60%, é para valores entre R\$ 12.500,00 e R\$ 25.000,00 para o VPL ao final do período de 20 anos, estando os demais valores abaixo de 15% de probabilidade.

As diferenças observadas, especialmente entre os cenários MOF1, MOF2, TO1 e TO2, permitem compreender a importância das estratégias de utilização de mão-de-obra familiar nesse tipo de sistema, onde a demanda por mão-de-obra é determinante para os resultados.

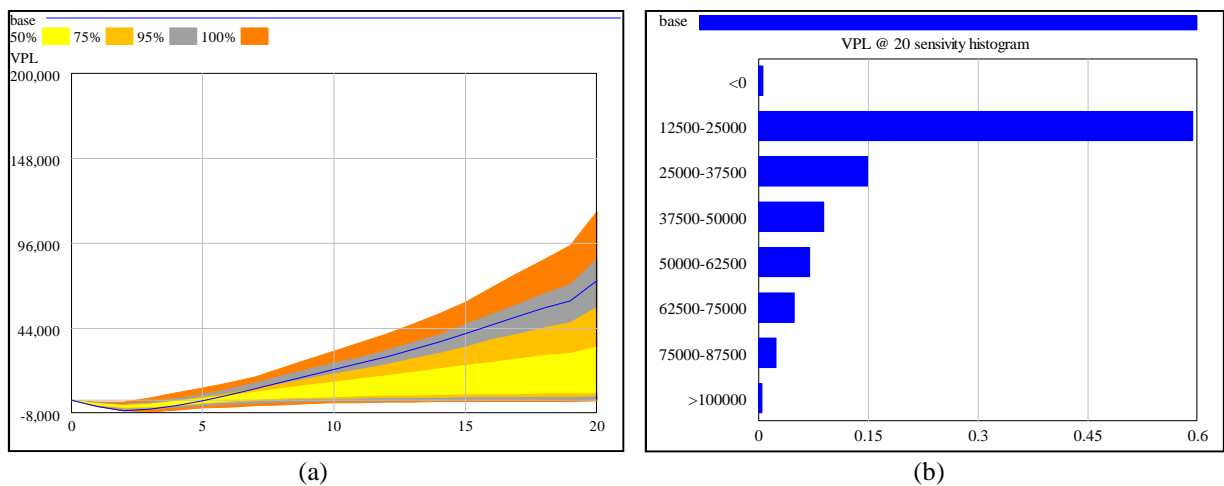


Figura 37. Sensibilidade (a) e probabilidade (b) do VPL (em R\$) no cenário TO2.
(Fonte: o autor)

4.4 Simulações da Adoção de SAFs na Amazônia Brasileira

A simulação de base, para validar o comportamento inicial do modelo, foi realizada com o cenário SAF0, considerando-se a existência de aproximadamente 365.300 famílias em assentamentos do INCRA nos 43 municípios da Operação Arco Verde (BRASIL, 2009). Apenas para estabelecer um padrão sobre o qual comparações pudessem ser feitas posteriormente, tomou-se o valor de *Nível de SAFs* sendo de 300 e de *Nível de SPs não Sustentáveis* como sendo 365.000 propriedades, como forma de refletir os sistemas de produção predominantemente em vigor.

Conforme demonstrado pela figura 38⁸, o modelo apresenta o comportamento esperado, pois o *Nível de SAFs* cai, à medida que os produtores passam a recorrer aos sistemas de produção não sustentáveis, pela falta de conhecimentos, dadas que as condições de mercado são iguais para os dois sistemas e seus produtos. Como resultado, o *Status do Ambiente* decai e com ele o nível de *Serviços Ambientais*.

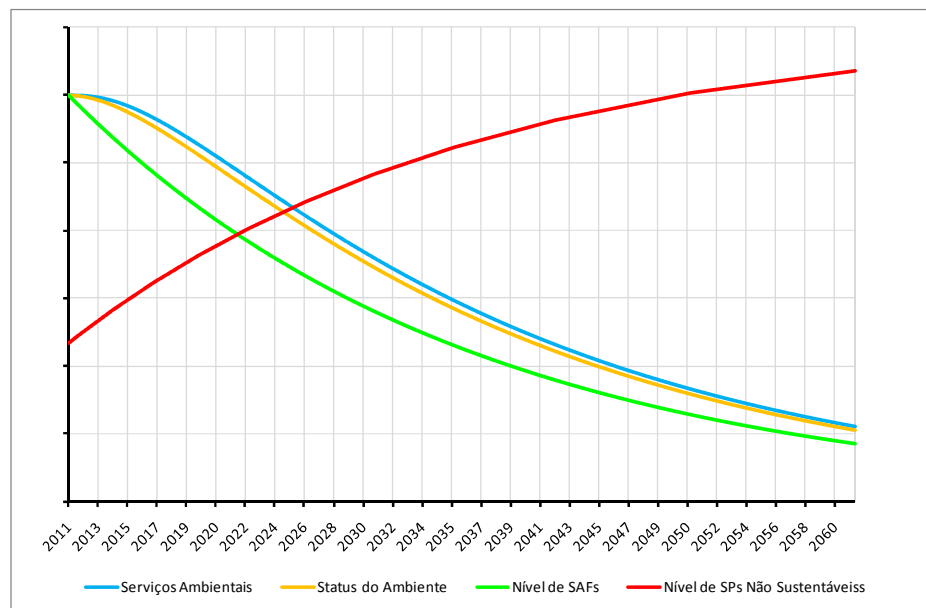


Figura 38. Simulação base com o cenário SAF0.
(Fonte: o autor)

A redução observada no nível de *Serviços Ambientais* representa uma redução de utilidade, manifestada pelo clássico *trade off* existente entre a produção de alimentos e a manutenção da qualidade ambiental. Essa redução de utilidade resulta em uma redução no bem-estar social, a qual será aceita até que a capacidade de suporte do ambiente esteja próxima de ser atingida, o que geraria uma pressão no sentido de recuperar a qualidade ambiental.

O resultado da simulação do cenário SAF1 pode ser observado na figura 39, quando penalidades passam a ser aplicadas, buscando recuperar até 90% dos serviços ambientais perdidos. As taxas de juros para SAFs são fixadas à metade do índice aplicado para SPs não

⁸ As unidades foram omitidas, pois o modelo foi elaborado para mostrar os padrões de comportamento e não as quantidades resultantes.

sustentáveis e os hábitos de consumo são alterados através de uma campanha de informação com efetividade de 70%, capaz de, mesmo com uma imposição de 20% de limite para pagamento por produtos sustentáveis, provocar mudanças na disposição a pagar.

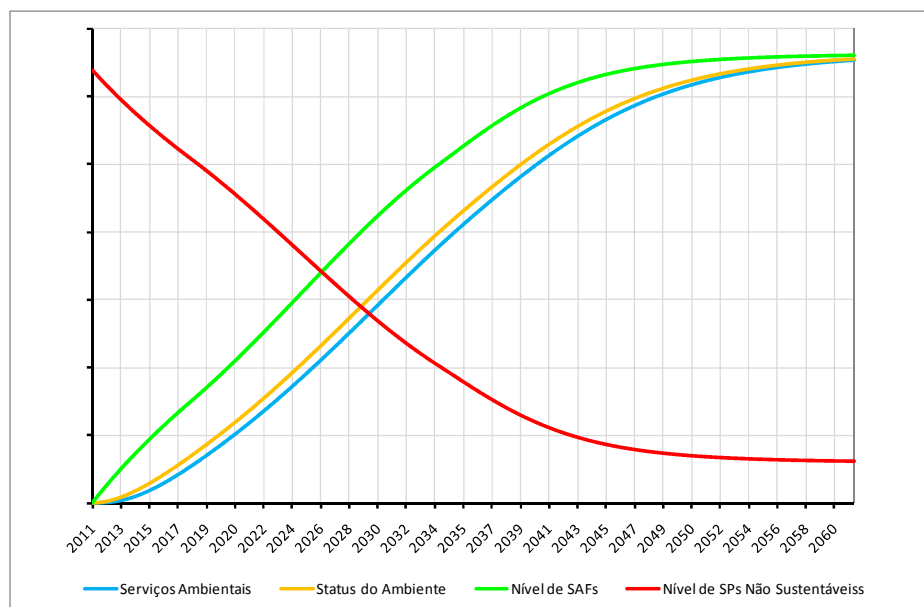


Figura 39. Simulação da substituição de SPs não sustentáveis por SAFs, com o cenário SAF1.
(Fonte: o autor)

No novo cenário, percebe-se claramente que a produção conjunta de alimentos e serviços ambientais representa um aumento na utilidade, resultando em acréscimo de bem-estar social, perante a percepção da multifuncionalidade da agricultura e da internalização das externalidades positivas geradas através do aumento na disposição a pagar.

Na figura 40 observa-se a sensibilidade do *Nível de SAFs*⁹ à variação no nível de *conhecimento sobre SAFs*, demonstrando a alta sensibilidade refletida pelo modelo com relação à preparação dos agricultores para utilização de SAFs e o seu efeito na substituição dos sistemas de produção não sustentáveis em uso atualmente. Torna-se aparente o efeito do menor nível de conhecimento que os produtores possuem sobre SAFs no aumento do tempo para sua adoção.

⁹ O *Nível de SAFs* é representado nos gráficos de sensibilidade pelo número de famílias que estão utilizando SAFs como principal sistema de produção em suas propriedades, considerando o período de 50 anos, entre 2011 e 2061.

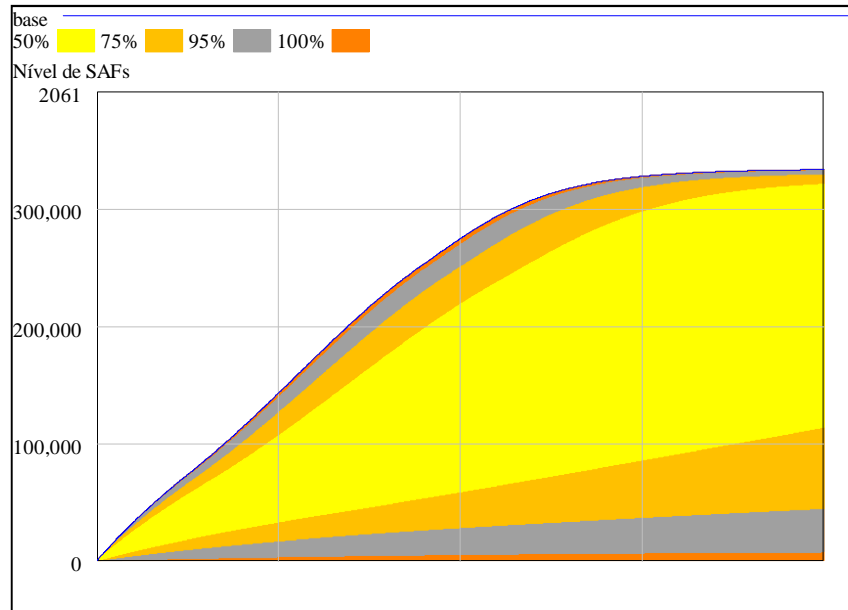


Figura 40. Sensibilidade do *Nível de SAFs* no cenário SAF1 à variação no *conhecimento sobre SAFs* de 0 a 0.85.
(Fonte: o autor)

Sendo mantida a variação no *conhecimento sobre SAFs* e variando-se a *efetividade da campanha de informação* entre 0 e 1, ainda no cenário SAF1, obtém-se o resultado apresentado pela figura 41(a) no *Nível de SAFs*. O efeito direto da campanha de informação é apresentado na figura 42(b), que ilustra a distribuição de probabilidade da *disposição a pagar por produtos de SAFs*.

Fica constatado que aumentos na *disposição a pagar por produtos de SAFs* teriam um efeito na diminuição do tempo para adoção de SAFs, sendo mais visíveis a curto e médio prazo do que em longo prazo, quando, pela diminuição da percepção das diferenças entre a qualidade ambiental existente e a desejada, diminuiria também a pressão social pela recompensa aos sistemas de produção sustentáveis provocando, inicialmente, a estabilização do *Nível de SAFs* em alguma quantidade.

Presume-se, pelo modelo desenvolvido, que, dado ao tempo necessário para estabilização do *Nível de SAFs* e à solidificação dos conhecimentos sobre esse e outros sistemas produtivos sustentáveis, esse nível seria mantido, uma vez que os custos de oportunidade para retorno aos sistemas não sustentáveis poderiam ser demasiadamente altos.

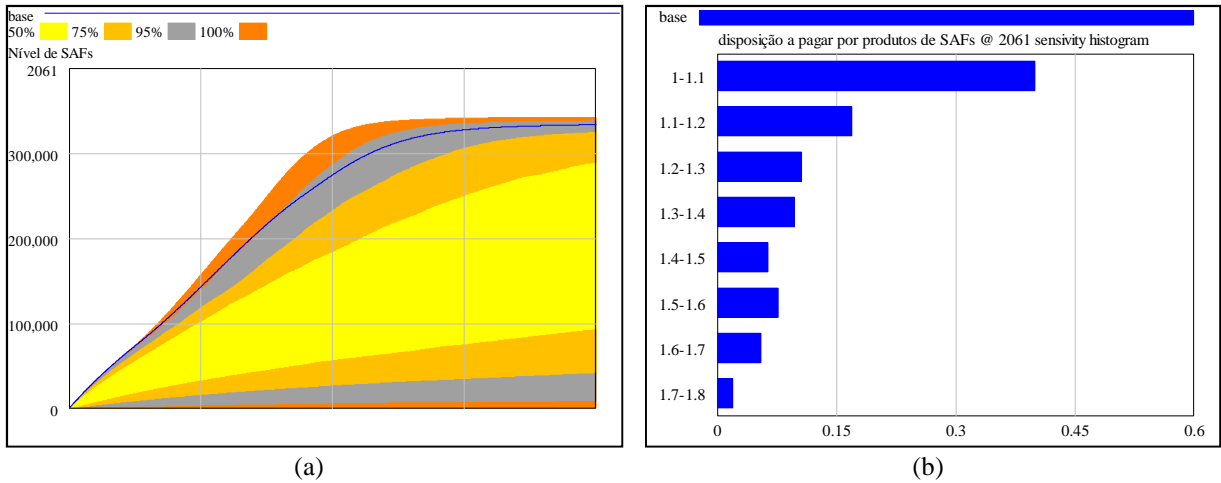


Figura 41. Sensibilidade do *Nível de SAFs* no cenário SAF1 com *conhecimento sobre SAFs* variando de 0 a 0.85 e *efetividade da campanha de informação* entre 0 a 1 (a); e probabilidade da *disposição a pagar por produtos de SAFs* (b).
(Fonte: o autor)

Considerando-se o cenário SAF1, com variações nas taxas de juros para SAFs e SPs não sustentáveis entre 1 e 12% ao ano, é obtido o resultado apresentado na figura 42, onde se pode perceber que o resultado da simulação baseada apenas nos parâmetros definidos para o cenário SAF1 situa-se próximo ao limite superior do intervalo de confiança ao nível de 50%.

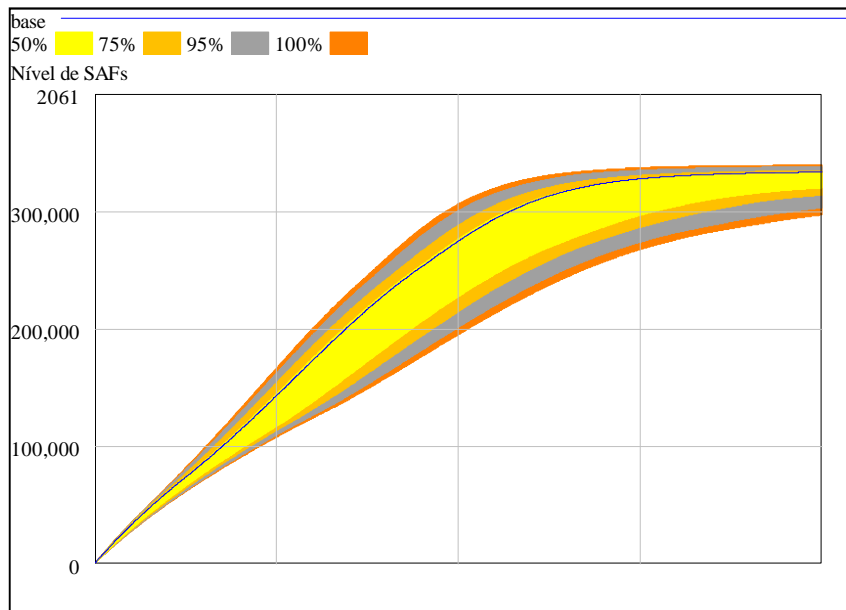


Figura 42. Sensibilidade do *Nível de SAFs* no cenário SAF1 à variação na taxa de juros para financiamentos de SAFs e SPs não sustentáveis entre 1 e 12%.
(Fonte: o autor)

A figura 43(a) apresenta a sensibilidade do *Nível de SAFs* em decorrência da alteração dos hábitos de consumo, frente à variação na *efetividade da campanha de informação* entre 0 e 1 e do *limite da renda à ética de consumo*, permitindo identificar a importância que as variações no preço de produtos de SAFs têm, de acordo com o modelo, para a adoção desse sistema produtivos pelos agricultores. A probabilidade da *disposição a pagar por produtos de SAFs*, nas mesmas condições, é apresentada na figura 43(b).

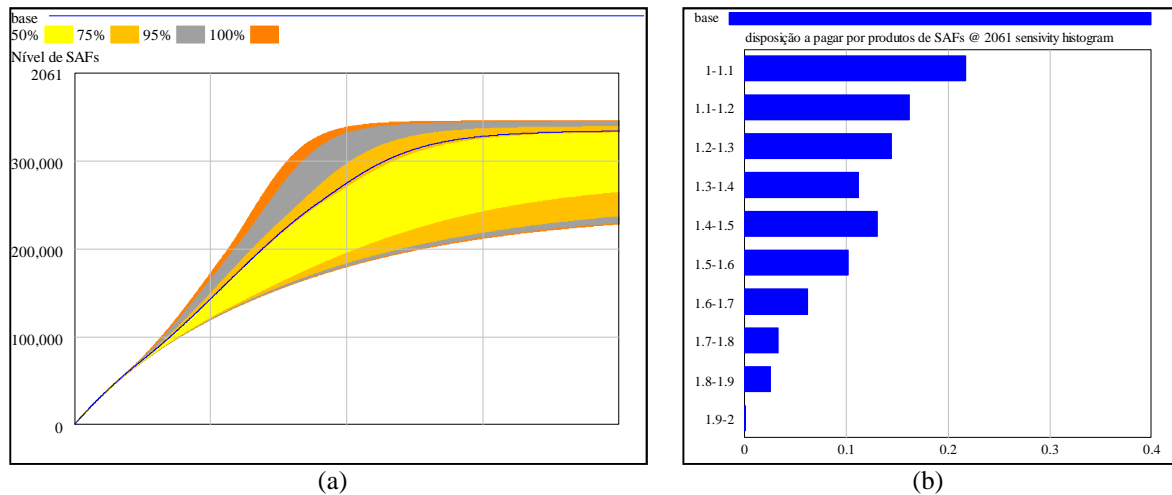


Figura 43. Sensibilidade do *Nível de SAFs* (a) e probabilidade da *disposição a pagar por produtos de SAFs* (b) no cenário SAF1, mediante variação na *efetividade da campanha de informação* entre 0 e 1 e no *limite da renda à ética de consumo* entre 0 e 0.5
(Fonte: o autor)

Através das simulações desenvolvidas nos cenários SAF0 e SAF1 e perante as análises de sensibilidade e probabilidades apresentadas identifica-se, conforme o modelo, aqueles fatores que podem ser impeditivos ou promotores da adoção de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira, bem como os resultados, em termos de comportamentos possíveis, provocados por alterações nesses fatores.

A formulação de políticas públicas voltadas à utilização de SAFs na Amazônia não pode ser dissociada da consideração daquilo que realmente está se buscando remunerar e dos custos de oportunidade decorrentes de manter a floresta nativa inalterada. Nesse sentido, apresenta-se na tabela 13 a relação entre funções, serviços ambientais, a escala de propagação do serviço, o tipo de bem relacionado e o tipo de externalidade. Assim, pode-se identificar para quais serviços ambientais seriam necessários mecanismos de intervenção direta do Estado e quais poderiam ser internalizados de outra forma.

Tabela 13. Externalidade de tipos de bens decorrentes de serviços ambientais promovidos por sistemas agroflorestais.

Funções	Serviços Ambientais providos pelos SAFs	Escala	Tipo de Bem	Tipo de Externalidade Positiva	
Funções de Regulação					
Regulação de gases	Sequestro e estoque de CO ₂	Global	BPP	CCO	
Regulação climática	Melhora das condições microclimáticas	Propriedade	BP	SCO/BMDesc	
Prevenção de distúrbios naturais	Proteção contra tempestades	Propriedade	BP	SCO/BMDesc	
Suprimento de água	Disponibilidade, filtragem e transporte	Micro bacia	RPC	SCO/BMDDecr	
Retenção de solo	Prevenção da erosão	Micro bacia	RPC	SCO/BMDDesc	
Formação de matéria orgânica no solo	Manutenção da produtividade	Propriedade	BP	SCO/BMDDesc	
Regulação de nutrientes	Ciclagem de nutrientes	Propriedade	BP	SCO/BMDDesc	
Controle biológico	Controle de pragas e doença	Propriedade	BP	SCO/BMDDesc	
Funções de Habitat					
Refúgio Ecológico	Manutenção da diversidade genética e biológica	Micro bacia	RPC	SCO/BMDDesc	
Funções de Produção					
Alimentação	Culturas anuais, perenes e semi-perenes	Propriedade	BP	SCO/BMDDecr	
		Comunidade ^A	BPL	SCO/BMDDesc	
Matéria prima	Matéria orgânica, nutrientes	Propriedade	BP	SCO/BMDDesc	
		Comunidade ^A	BPL	SCO/BMDDesc	
Funções de Informação					
Informação estética	Paisagens	Comunidade	BPL	SCO/BMDDesc	
			RLA	SCO/BMN	
Recreação e turismo	Esportes ao ar livre; turismo científico rural	Comunidade	Propriedade	BP	SCO/BMDDesc
			RLA	SCO/BMDDesc	
			RPC		
Global	BC	CCO			
Informação cultural e artística	Uso da natureza em livros, filmes, pinturas, símbolos nacionais, folclore etc.	Global	BPP	SCO/BMDDecr	
Informação espiritual e histórica	Uso da natureza para propósitos religiosos e históricos	Global	BPP	SCO/BMDDecr	
Ciência e educação	Pesquisas científicas; excursões escolares; transferência de tecnologia	Global	BPP	SCO/BMDDecr	

BP = bem privado

BPP = bem público puro

BPL = bem público local

BC = bem de clube

RPC = recurso de propriedade comum

RLA = recurso de livre acesso

Fonte: o autor.

CCO = com custos de oportunidade

SCO = sem custos de oportunidade

BMDesc = benefícios marginais descontínuos

BMDDecr = benefícios marginais decrescentes

BMN = benefícios marginais nulos

^ACadeias Produtivas

Com base na tabela 13, em termos relativos, pode-se perceber que cerca de 35% da produção de não-*commodities* é relativa a bens privados, cujo efeito é restrito à própria propriedade onde os sistemas são utilizados. Os demais, aproximadamente 65%, dizem respeito a serviços ambientais que são coletivos, em uma escala menor ou maior, e cujo valor não se encontra refletido nos preços da produção dos SAFs.

5 Conclusões

- a) Os indicadores financeiros do SAF de referência, especialmente o VPL e VAE, apresentaram alta sensibilidade às variações no percentual de mão-de-obra familiar empregada no sistema.
- b) O VPL e o VAE do SAF proposto apresentaram alta sensibilidade à taxa de juros utilizada.
- c) Os indicadores financeiros do SAF de referência apresentaram baixa sensibilidade a variações nos preços nos produtos, caracterizando inelasticidade na oferta.
- d) Aumentos na disposição a pagar, como forma de remuneração por serviços ambientais produzidos conjuntamente pelos SAFs, influenciam a dinâmica da adoção de sistemas agroflorestais.
- e) A utilização de SAFs na Amazônia brasileira promove acréscimos no bem-estar social, a partir da produção conjunta e do aumento de utilidade caracterizado por níveis mais altos de serviços ambientais.
- f) O SAF de referência é viável financeiramente, independentemente de acréscimos aos preços dos produtos pela produção conjunta de serviços ambientais.
- g) O SAF proposto tem capacidade de geração de receitas continuamente, durante todo o seu período de utilização.
- h) Os custos de mão-de-obra foram responsáveis pela maior parte dos custos totais do SAF de referência, sendo mais concentrados durante os três primeiros anos, referentes à implantação do sistema.
- i) Os maiores custos relativos de mão-de-obra estão relacionados às culturas anuais, que apresentaram prejuízos sem utilização de mão-de-obra familiar.

6 Considerações Finais

Como a característica econômica fundamental inerente aos SAFs é a produção conjunta, políticas de agregação de valor através da certificação dos produtos como “Origem em SAFs da Amazônia”, aliadas a campanhas de informação dos consumidores, treinamento e educação dos produtores e com a utilização de taxas de juros mais baixas, que possibilitem absorção dos riscos e custos de oportunidade envolvidos na adoção de sistemas sustentáveis de produção, se apresentam como opções ao pagamento por serviços ambientais.

Não devem ser descartadas outras opções que podem tornar os SAFs mais atrativos para os agentes produtivos, como um incentivo inicial à sua adoção, especialmente no que se refere ao pagamento por serviços ambientais. Contudo, no presente trabalho e no modelo desenvolvido, a opção foi por buscar alternativas de internalização dos benefícios marginais sociais decorrentes a partir de aumentos na disposição a pagar.

Se os mercados locais não comportam aumentos na disposição a pagar, pela pressão imposta pelo limite das rendas, podem ser adotadas políticas públicas voltadas à identificar e promover a conexão dos produtores com outros mercados, onde os produtos sejam mais valorizados, reforçando a importância do valor que seria agregado pela certificação.

Novas pesquisas podem ser desenvolvidas no sentido de ampliar o modelo de substituição de sistemas produtivos, considerando-se políticas de pagamento por serviços ambientais, efeito da adoção de produtos de SAFs em seu próprio preço, variações na produtividade de SAFs por diversas causas e o impacto das taxas de juros, períodos de carência e políticas garantia-safra, além da adoção de novas tecnologias produtivas, permitindo ampliar o entendimento das questões apresentadas neste trabalho.

Referências

- ALVIM, R.; VIRGENS, A. de C.; ARAÚJO, A. C. **Agrossilvicultura como ciência de ganhar dinheiro com a terra:** recuperação antecipada de capital no estabelecimento de culturas perenes arbóreas. Boletim Técnico. CEPLAC, Ilhéus, n. 161, 1989.
- ARAÚJO, C. K.; ROCHA, E. P.; ROLIN, P. Estudo hidrológico na área de exploração agrícola e mineral em São Félix do Xingú-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- ARCO-VERDE, M. F. **Sustentabilidade Biofísica e Socioeconômica de Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira.** 2008. 188 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- BANCO MUNDIAL. **Agriculture and the Environment, World Development Report.** Washington, DC: The World Bank, 2008.
- BASTOS, T. X.; SILVA, G. de F. G. da; PACHECO, N. A.; FIGUEIREDO, R. de O. Informações agroclimáticas do município de Paragominas para o planejamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- BJORKLUND, J.; LIMBURG, K. E.; RYDBERG, T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 269–291, 1999.
- BOHMANN, M.; COOPER, J.; MULLARKEY, D.; NORMILE, M. A.; SKULLY, D.; VOGEL, S.; YOUNG, E. **The Use and Abuse of Multifunctionality.** Economic Research Services. Washington: United States Department of Agriculture, 1999.
- BÖRNER, J. Serviços ambientais e adoção de sistemas agroflorestais na Amazônia: elementos metodológicos para análises econômicas integradas. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- BRASIL. Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável:** diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira. Presidência da República. Brasília: MMA, 2008.
- BRASIL. Presidência da República. **Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento na Amazônia Legal:** 2ª. Fase (2009-2011). Rumo ao Desmatamento Ilegal Zero. Brasília: Casa Civil, 2009.

BRIENZA JÚNIOR, S.; MANESCHY, R. Q.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GAZEL FILHO, A. B.; YARED, J. A. G.; GONÇALVES, D.; GAMA, M. B. Sistemas Florestais na Amazônia Brasileira: análise de 25 anos de pesquisa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 67-76, Edição Especial, 2009.

BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. Z.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R. R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custo, produtividade e renda. In: **Amazônia: Ci & Desenv.**, Belém, v. 4, n. 7, jul./dez., 2008.

BROONKIRD, S. A.; FERNANDES, E. C. M.; NAIR, P. K. K. Forest villages: an agroforestry approach to rehabilitating forest land degraded by shifting cultivations in Thailand. **Agroforestry Systems**, n. 2, p. 87-102, 1984.

BUARQUE, C. **Avaliação Econômica de Projetos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

BUDWOLSKI, G. Aplicabilidad de los Sistemas Agroflorestales. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANEJAMENTO DE PROJETOS AUTO-SUSTENTÁVEIS DE LENHA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE, Turrialba, 1991. **Anais...** Turrialba: FAO, 1991, v. 1, p. 161-167.

CALVI, M. F. **Fatores de Adoção de Sistemas Agroflorestais por Agricultores Familiares do Município de Medicilância, Pará**. 2009. 122 p. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – EMBRAPA/UFPA, Belém, 2009.

COLCHESTER, M.; LOHMANN, L. (Ed.). **The Struggle for Land and the Fate of the Forests**. London: Zed Books, 1993.

CONNOR, D. J. Plant stress factors and their influence on production of agroforestry plant associations. p. 401-426. In: HUXLEY, P. A. (Ed.) **Plant Research and Agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983.

COSTA, P.; XAUD, H.; MOURÃO JÚNIOR, M. Florística de uma capoeira em área de transição, no município de Mucajaí, estado de Roraima. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2005, Caxambu, 20 a 25 nov.

DASGUPTA, A. K.; PEARCE, D. W. **Analisi costi-benefici: Teoria e pratica**. Milano: ISEDI, 1975.

DE GROOT, R. S.; VAN DER PERK, J.; CHIESURA, A.; MARGULIEW, S. Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure for ecological integrity and environmental health. In: CRABBE, P.; HOLLAND, A.; RYSZKOWSKI, L.; WESTRA, L. (Ed.). **Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health**. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2000. Earth and Environmental Sciences, v. 1, p.191-214. (NATO. Science Series, IV).

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, n. 41, p. 393-408, 2002.

DUDLEY, R. G. A Generic Look at Payments for Environmental Services: Plan or Scam? In: INTERNATIONAL SYSTEM DYNAMICS CONFERENCE, 23., 2005, Bostom, 17-20 jul.

- ELGEL, V. L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 1999.
- FAO. **The Environmental Roles of Agriculture**. Summary Report for First Expert Meeting on the Documentation and Measurement of the Roles of Agriculture in Developing Countries. 2001.
- FASSBENDER, H. W. **Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestales**. 2. ed. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1993.
- FERREIRA, J. H. O.; KATO, O. R.; FREITAS, A.; GREVINELL, J. G.; PISSATTO, M. Sistemas agroflorestais na agricultura familiar como alternativa para diversificação da produção e redução de queimadas no Nordeste Paraense. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 7., 2009. **Anais...** EMBRAPA, 2009. (CD-ROM).
- FORD, F. A. **Modeling the Environment**. 2. Ed. Washington: Island Press, 2010.
- FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. Cambridge: Productivity Press, 1961.
- FORRESTER, J. W. **The beginning of system dynamics**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- FRANKE, I. L. A.; EUFRANF, L.; AURENYM, P. **Sistemas Florestais no Estado do Acre: problemática geral, perspectivas, estado atual de conhecimento e pesquisa**. Rio Branco: Embrapa CPAF-AC, 1998, 41 p. (Embrapa Acre. Documentos, 38).
- FREITAS, J. da L. **Sistemas Agroflorestais e sua Utilização como Instrumento de Uso da Terra: o caso dos pequenos agricultores da Ilha de Santana, Amapá, Brasil**. 2008. 247 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – UFRA/EMBRAPA, Belém, 2008.
- GAMA, M. M. B. **Análise Técnica e Econômica de Sistemas Agroflorestais em Machadinho D'Oeste, Rondônia**. 2003. 112 p. Tese (*Doctor Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- GARCÍA, J. M. **Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas**. Barcelona, 2010.
- GLOVER, N.; BEER, J. Nutrient cycling in two traditional American agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 4, n. 2, p. 77-87, 1986.
- GONDIM, T. M. de S.; THOMAZINI, M. J.; CAVALCANTE, M. de J. B.; SOUZA, J. M. L. de; **Aspectos da Produção de Cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. (Embrapa Acre. Documentos, 67).
- GOMES, S. C. **Análise econométrica da produtividade total dos fatores na amazônia legal, 1990 - 2004**. 2007. 206 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- GRAVELLE, H.; REES, R. **Microeconomics**. Longman: London, 1981.
- HARDIN, G. Tragedy of the Commons. **Science**, n. 162, p. 1243-1248, 1968.

HAYASHI, S.; SOUZA JÚNIOR, C.; SALES, M.; VERÍSSIMO, A. **Transparência Florestal**. Belém: Imazon, 2010.

HUXLEY, P. A. **Plant Research and Agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. 617 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Solos da Amazônia Legal (1:2.500.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/>>. Acesso em: 20 set. 2010a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 5 set. 2010b.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 3 set. 2010c.

ICRAF - INTERNATIONAL CENTRE FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY . **Agroforestry systems inventory (AFSI) project coordinator's report for the period September 1982-June**. 1983. Disponível em: <www.worldagroforestrycentre.org/>. Acesso em: 9 fev. 2009.

INPE – INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **DETER – Detecção de Desmatamento em Tempo Real**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acesso em: 10 set. 2010.

IPEA. Ipeadata. **Dados macroeconômicos e regionais: contas nacionais. PIB estadual e PIB per capita 2007**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

LEONTIEF, W. Letter to Science. **Science Magazine**, v. 217, n. 4555, p. 104-107, 1982.

MANKIW, N. G. **Introdução à Economia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agritempo – Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2010.

MAC DICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry: classification and management**. New York: Wiley & Sons, 1990.

MARSHALL, A. **Principles of Economics**. London: Macmillan, 1890.

MARSHALL, A. **Principles of Economics**. New York: Amherst, 1. ed., 1997

MATTOS, L. Capital social na concepção de políticas públicas: a importância socioeconômica e ecológica dos sistemas agroflorestais frente aos mecanismos desenvolvimento: In: GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. de A. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006.

MATTOS, L.; CAU, A. Efetividade do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no contexto das atividades agroflorestais no Brasil: uma análise crítica. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins lucrativos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa. Comunicação para Transferência de Tecnologia. Colombo, PR. Embrapa Florestas, 2000.

MENDES, F. A. T. Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades cacauceiras selecionadas no município de Tomé-Açú, no Estado do Pará. **Informe GEPEC**, Toledo, Paraná, v. 07, n. 1, p. 118-144, 2003.

MILL, J.S. **Principles of Political Economy with some of their Applications to Social Policy**. New York: Augustus M. Kelley, 1848.

MILLÁN, J. A. **Modelo Dehesa Sobre las Relaciones Pastizal-Encinar-Ganado**. 1996. 183 p. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, 1996.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment**. Washington, DC: Island Press, 2003.

MIRANDA, E. E. de. **Sustentabilidade Agrícola na Amazônia - Machadinho d'Oeste**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.machadinho.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 set. 2010.

MONTAGNINI, F. **Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos**. 2. ed. San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales, 1992.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; NASCIMENTO, W. M. O. do; GALVÃO, E. U. P.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. de B.; RODRIGUES, J. E. L. F.; CARVALHO, J. E. U. de; NUNES, A. M. L.; NAZARÉ, R. F. R. de; BARBOSA, W. C.; **A Cultura do Cupuaçu**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. 61 p. (Embrapa SPI. Coleção Plantar, 24; Série Vermelha. Fruteiras).

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems inventory. **Agroforestry Systems**, v. 5, p. 301-317, 1987.

NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, ICRAF. 1993.

OECD. **Declaration of Agricultural Ministers Committee**. 1998.

OECD. **Multifunctionality - Towards an Analytical Framework**. Paris: OECD Publications, 2001.

OECD. **Multifunctionality in Agriculture: What Role for Private Initiatives?** Paris: OECD Publications, 2005.

OLIVEIRA, L. C. de; SÁ, C. P.; RIBAS, L. A.; ARAUJO, H. J. B. de; FIGUEIREDO, E. O.; FURTADO, S. C. **Eficiência de Anelamento Aplicado como Tratamento Silvicultural em**

Florestas Manejadas na Amazônia Ocidental. Rio Branco: Embrapa Acre, 2009. (Comunicado Técnico 172, Embrapa Acre, 2009).

OLLIKAINEN, M.; LANKOSKI, J. Rural Viability, Multifunctionality and Policy Design. In: Organization for Economic Co-Operation and Development. **Multifunctionality in Agriculture: Evaluating the Degree of Jointness, Policy Implications.** 2008.

OLSSON, G. A.; RØNNINGEN, K. **Environmental values in Norwegian agricultural landscapes.** Department of Botany and Centre for Rural Research, Norwegian University of Science and Technology, 1999. (Department of Botany and Centre for Rural Research .Report No. 10/99).

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment.** London: Harvester Wheatsheaf, 1990.

PEREIRA, J.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010.** Belém: IMAZON, 2010.

PIGOU, A. C. **The Economics of Welfare.** London: Macmillan, 1920.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil.** Brasília: PNUD, 2003. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/>>. Acesso em: 15 set. 2010.

PORTAL AMAZÔNIA. Disponível em: <<http://www.portalamazonia.com>>. Acesso em: 10 set. 2010.

PRICE, C. Economic evaluation of financial and non-financial costs and benefits in agroforestry development and the value of sustainability. **Agroforestry Systems**, v. 30, n. 1-2, p. 75-86, 1995.

RANDALL, A. **Resource economics: an economic approach to natural resource and environmental policy.** 2. ed. New York : John Wiley & Sons, 1987. 434 p.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais.** Viçosa: UFV, 2001.

RICHARDSON, G. P. System dynamics: simulation for policy analysis from a feedback perspective. In: **Modeling for Management I: Qualitative Simulation Modeling and Analysis.** New York: Springer Verlag, 1991. p. 144-169.

RIERA, P.; ARANDA, L.; MAVSAR, R. Efficiency and equity of forest policies: A graphic analysis using the partial equilibrium framework. **Forest Policy and Economics**, n. 9, p. 852-861, 2007.

ROCHA NETO, O. G. da.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. de; CARVALHO, J. E. U. de; LAMEIRA, O. A.; SOUZA, A. R. de; MARADIAGA, J. B. G. Cupuaçu. In: **Principais produtos extrativos da Amazônia e seus coeficientes técnicos.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Centro Nacional de Desenvolvimento Sustentável das Populações Tradicionais, p. 24-40, 1999.

RODRIGUES, W. A. A cobertura vegetal da Amazônia brasileira. In: PAVAN, C. (Ed.). **Uma estratégia latino-americana para a Amazônia**. Brasília: Min. do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Amazônia Legal; São Paulo: Memorial, 1996, v. 2.

ROMEIRO, A. R. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** Campinas: IE-UNICAMP, 2001. (Textos para Discussão, 102).

ROSA, L. S.; VIEIRA, T. A.; SANTOS, A. P. A. dos; MENEZES, A. A. A.; RODRIGUÊS, A. F.; PEROTE, J. R. S.; LÓPEZ, A. C. C. Limites e oportunidades para a adoção de sistemas agroflorestais pelos agricultores familiares da microrregião Bragantina, PA. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

ROSEN, H. S. **Public Finance**. São Paulo: Irwin, 1999.

SÁ, C. P. de; OLIVEIRA, T. K. de; BAYMA, M. M. A.; OLIVEIRA, L. C. de. **Caracterização e Análise Financeira de um Modelo de Sistema Agroflorestal Desenvolvido em Parceria com Produtores do Reça**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2008. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 171).

SÁ, C. P. de; SANTOS, J. C. dos; LUNZ, A. M. P.; FRANKE, I. L. **Análise financeira e institucional de três principais sistemas agroflorestais adotados pelos produtores do Reça**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 33).

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. O. Modelo dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: uma perspectiva de dinâmica de sistemas. **Anais.... XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2007. p. 134-148.

SANGUINO, A. C. **Avaliação econômica da produção em sistemas agroflorestais na Amazônia: estudo de caso em Tomé-Açu**. 2004. 299 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – UFRA/EMBRAPA, Belém, 2004.

SANGUINO, A. C.; SANTANA, A. C. de; HOMMA, A. K. O.; BARROS, P. L. C. de; KATO, O. K.; AMIN, M. M. G. H. Análise Econômica de Investimentos em Sistemas de Produção Agroflorestal no Estado do Pará. In: **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 47., p. 23-47, jan./jun., 2007.

SANTANA, A. C.; TOURINHO, M. M. Notas sobre Avaliações Socioeconômicas Agroflorestais na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E ECOLOGIA RURAL, 36., 1998, Poços de Caldas. **Anais...**, Poços de Caldas: Sober, 1996, p. 165-177.

SANTOS, J. C. dos; CAMPOS, R. T. **Metodologia para Análise de Rentabilidade e Risco de Sistemas Agroflorestais**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. (Embrapa Acre. Documentos 47).

SANTOS, M. J. C. dos. **Avaliação Econômica de Quatro Modelos Agroflorestais em Áreas Degradadas por Pastagens na Amazônia Ocidental**. 2000. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SANTOS, M. J. C. dos. **Viabilidade Econômica em Sistemas Agroflorestais nos Ecossistemas de Terra Firme e Várzea no Estado do Amazonas: Um Estudo de Caso.** 2004. 75 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA, J. J. da. **Avaliação Mercadológica e de Produção, Visando a Proposição de SAF para a Mesorregião Sudeste do Mato Grosso do Sul.** 2008. 169p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2008.

SMITH, A. **An Inquiry into the Nature and the Causes of the Wealth of Nations.** Oxford: Clarendon Press, 1776.

SMITH, N. J. H.; FALESI, I. C.; ALVIM, P. DE T.; SERRAO, E. A. S. Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: innovation and resiliency in pioneer and older settled areas. **Ecological Economics**, v. 18, n. 1, p. 15-27, 1996.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World.** Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

STIGLITZ, J. **Towards a New Paradigm for Development: Strategies, Policies, and Processes.** Prebisch lecture 1998, Geneva, Switzerland, October 19, 1998. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/CDF/Resources/prebisch98.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2010.

TISDELL, C.; HARTLEY, K. **Microeconomic Policy: A New Perspective.** Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2008.

VAN HUYLENBROECK, G.; VANDERMEULEN, V.; METTEPENNINGEN, E.; VERSPECHT, A. Multifunctionality of Agriculture: A Review of Definitions, Evidence and Instruments. **Living Reviews in Landscape Research**, v. 1, n. 3, 2007.

VENTURIERI, G. A.; RONCHI-TELES, B.; FERRAS, I. D. K.; LOURDE, M.; HAMADA, N. **Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento.** Belém: Clube do Cupu, 1983, 108 p.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim User's Guide.** Belmont: Ventana Systems, Inc., 2007.

VERGARA, N. T. Sistemas agroflorestais: uma cartilla... **Unasylva**, v. 37, n. 147, 1985. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/r1340s/r1340s05.htm>>. Acesso em: 9 fev. 2009.

VILAS BOAS, O. Uma Breve Descrição dos Sistemas Agroflorestais na América Latina. **Série Registros**, São Paulo: IF, n. 8, p. 1-16, 1991.

WADT, L. H. de O.; KAINER, K. A. Domesticação e Melhoramento de Castanheira. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Ed.). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**, Viçosa, 2009, p. 297-317.

YOUNG, A. Agroforestry for soil conservation. **CAB International**, 1990.

APÊNDICE A – Coeficientes Técnicos do SAF de Referência

Tabela A1. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: atividades gerais.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																					
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Atividades Gerais			2.075,00	150,00	150,00	150,00	150,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	
Amostragem do solo	homem/dia	25,00	10,0																					
Limpeza da área	hora/trator	100,00	8,0																					
Roçagem Manual	homem/dia	25,00	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Aração	hora/trator	100,00	5,0																					
Gradeação	hora/trator	100,00	2,0																					
Aplicação de fertilizantes	homem/dia	25,00	2,0																					
Aplicação de corretivos	homem/dia	25,00	3,0																					
Marcação da área	homem/dia	25,00	2,0																					
Insumos Gerais			593,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Calcário	t	300,00	1,5																					
Super fosfato simples	kg	0,44	200,0																					
FTE BR 12	kg	1,10	50,0																					

Fonte: o autor

Tabela A2. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: mandioca.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Atividades			0,00	1.350,00	950,00	950,00	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50
Marcação	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Coveamento	homem/dia	25,00		8,0	8,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Transporte	hora/trator	100,00		4,0																			
Plantio e replantio	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Capina	homem/dia	25,00																					
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Adubação de cobertura	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Podas de manutenção	homem/dia	25,00																					
Colheita	homem/dia	25,00		16,0	16,0	16,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Seleção e preparo manivas	homem/dia	25,00		3,0	3,0	3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Insumos			0,00	412,00	129,00	129,00	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90
Manivas (20 cm)	Unidade	0,50		566,0																			
NPK 4-8-16 (ou 5-25-25)	kg	0,74		60,0	60,0	60,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Uréia	kg	0,46		20,0	20,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Cloreto de Potássio	kg	0,64		20,0	20,0	20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
FTE BR 12	kg	0,44		15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
herbicida	l	17,00		1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Inseticida	l	39,00		1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Fonte: o autor

Tabela A3. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: milho.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Atividades			0,00	875,00	875,00	875,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Marcação	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Coveamento	homem/dia	25,00		8,0	8,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Transporte	hora/trator	100,00																					
Plantio e replantio	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Capina	homem/dia	25,00																					
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0																	
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0																	
Adubação de cobertura	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Podas de manutenção	homem/dia	25,00																					
Colheita	homem/dia	25,00		16,0	16,0	16,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Insumos			0,00	324,00	255,00	255,00	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90
Sementes	kg	0,50		10,0	10,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
NPK 10-26-26	kg	0,74		200,0	200,0	200,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Ureia	kg	0,46		250,0	100,0	100,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Cloreto de Potássio	kg	0,64																					
Super fosfato simples	kg	0,44																					
herbicida	l	17,00		1,0	1,0	1,0																	
Inseticida	l	39,00		1,0	1,0	1,0																	

Fonte: o autor

Tabela A4. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: banana.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Atividades			0,00	390,00	225,00	230,00	200,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marcação	homem/dia	25,00		1,0																		
Coveamento	homem/dia	25,00		2,0																		
Transporte	hora/trator	100,00		1,0																		
Plantio e replantio	homem/dia	25,00		0,5																		
Capina	homem/dia	25,00																				
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0														
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00		0,1		0,2																
Adubação de cobertura	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0														
Podas de manutenção	homem/dia	25,00																				
Colheita	homem/dia	25,00		2,0	3,0	3,0	2,0	2,0														
Erradicação da cultura	homem/dia	25,00																				
Insumos			0,00	880,10	428,60	467,60	428,60	428,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mudas	Unidade	0,50		825,0																		
FTE BR 12	kg	0,74		30,0	30,0	30,0	30,0	30,0														
Sulfato de amônio	kg	0,46		240,0	240,0	240,0	240,0	240,0														
Sulfato de potássio	kg	0,64		150,0	150,0	150,0	150,0	150,0														
Super fosfato simples	kg	0,44		300,0	300,0	300,0	300,0	300,0														
herbicida	l	17,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0														
Inseticida	l	39,00		1,0		1,0																

Fonte: o autor

Tabela A5. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: castanha (frutos).

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Atividades			0,00	425,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00	275,00
Marcação	homem/dia	25,00		1,0																			
Coveamento	homem/dia	25,00		2,0																			
Transporte	hora/trator	100,00																					
Plantio e replantio	homem/dia	25,00		4,0																			
Capina	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Adubação de cobertura	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Podas de correção	homem/dia	25,00			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Colheita de frutos	homem/dia	25,00								6,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Insumos			0,00	144,20	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00	107,00
Mudas Enxertadas	Unidade	0,50		74,4																			
FTE BR 12	kg	0,74																					
Uréia	kg	0,46																					
Cloreto de Potássio	kg	0,64																					
Super fosfato simples	kg	0,44																					
herbicida	l	17,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Inseticida	l	39,00		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: o autor

Tabela A6. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: cupuaçu.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																					
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Atividades			0,00	425,00	275,00	300,00	325,00	325,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	
Marcação	homem/dia	25,00		1,0																				
Coveamento	homem/dia	25,00		2,0																				
Transporte	hora/trator	100,00																						
Plantio e replantio	homem/dia	25,00		6,0																				
Capina	homem/dia	25,00		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00		1,0																				
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00		1,0																				
Adução de cobertura	homem/dia	25,00		2,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Podas de manutenção	homem/dia	25,00			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Colheita	homem/dia	25,00				1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Insumos			0,00	340,91	92,21	112,87	112,87	146,42	146,42	146,42	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99	204,99
Mudas	Unidade	0,50		344,0																				
FTE BR 12	kg	0,74		3,1	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
Uréia	kg	0,46		50,1	75,1	93,9	93,9	112,7	112,7	112,7	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8	157,8
Cloreto de Potássio	kg	0,64		31,3	47,0	65,7	65,7	93,9	93,9	93,9	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5
Super fosfato simples	kg	0,44		37,6	47,0	47,0	47,0	62,6	62,6	62,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6
herbicida	l	17,00		4,0																				
Inseticida	l	39,00		1,0																				

Fonte: o autor

Tabela A7. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: castanha (madeira).

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																					
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Atividades			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	250,00	
Marcação	homem/dia	25,00																						
Coveamento	homem/dia	25,00																						
Transporte	hora/trator	100,00																						
Plantio e replantio	homem/dia	25,00																						
Capina	homem/dia	25,00																						
Aplicação de herbicidas	homem/dia	25,00																						
Aplicação de inseticidas	homem/dia	25,00																						
Adubação de cobertura	homem/dia	25,00																						
Podas de manutenção	homem/dia	25,00																						
Colheita	homem/dia	25,00																						10,0
Insumos			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mudas	Unidade	0,50																						
FTE BR 12	kg	0,74																						
Uréia	kg	0,46																						
Cloreto de Potássio	kg	0,64																						
Super fosfato simples	kg	0,44																						
herbicida	l	17,00																						
Inseticida	l	39,00																						

Fonte: o autor

Tabela A8. Coeficientes técnicos do sistema agroflorestal de referência proposto: ingá.

Variáveis	Unidade	Valor	Anos																				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Atividades			0,00	175,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	50,00	50,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marcação das covas	homem/dia	25,00		1,0																			
Coveamento	homem/dia	25,00		2,0																			
Transporte das mudas	hora/trator	100,00																					
Plantio e Replanteio de mudas	homem/dia	25,00		4,0																			
Capina	homem/dia	25,00		0,0																			
Poda	homem/dia	25,00		0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	2,0	2,0	2,0	2,0										
Insumos			0,00	227,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mudas	Unidade	0,50		454,0																			
NPK 10-26-26	kg	0,74																					
Sulfato de amônio	kg	0,46																					
Cloreto de Potássio	kg	0,64																					
Super fosfato simples	kg	0,44																					
herbicida	l	17,00																					
Inseticida	l	39,00																					

Fonte: o autor

APÊNDICE B – Planilha para Planejamento e Avaliação Financeira de SAFs

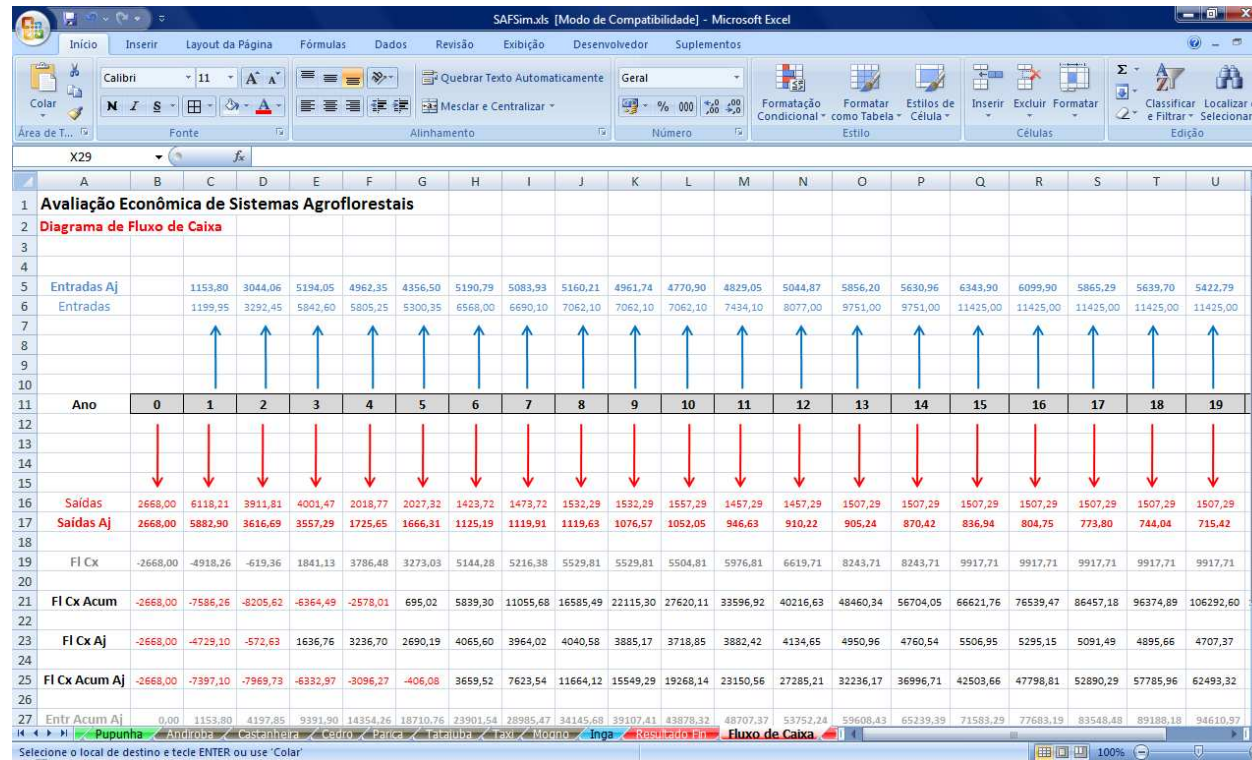


Figura B1. Tela da planilha Excel desenvolvida para planejamento e avaliação de sistemas agroflorestais: fluxo de caixa.
(Fonte: o autor)

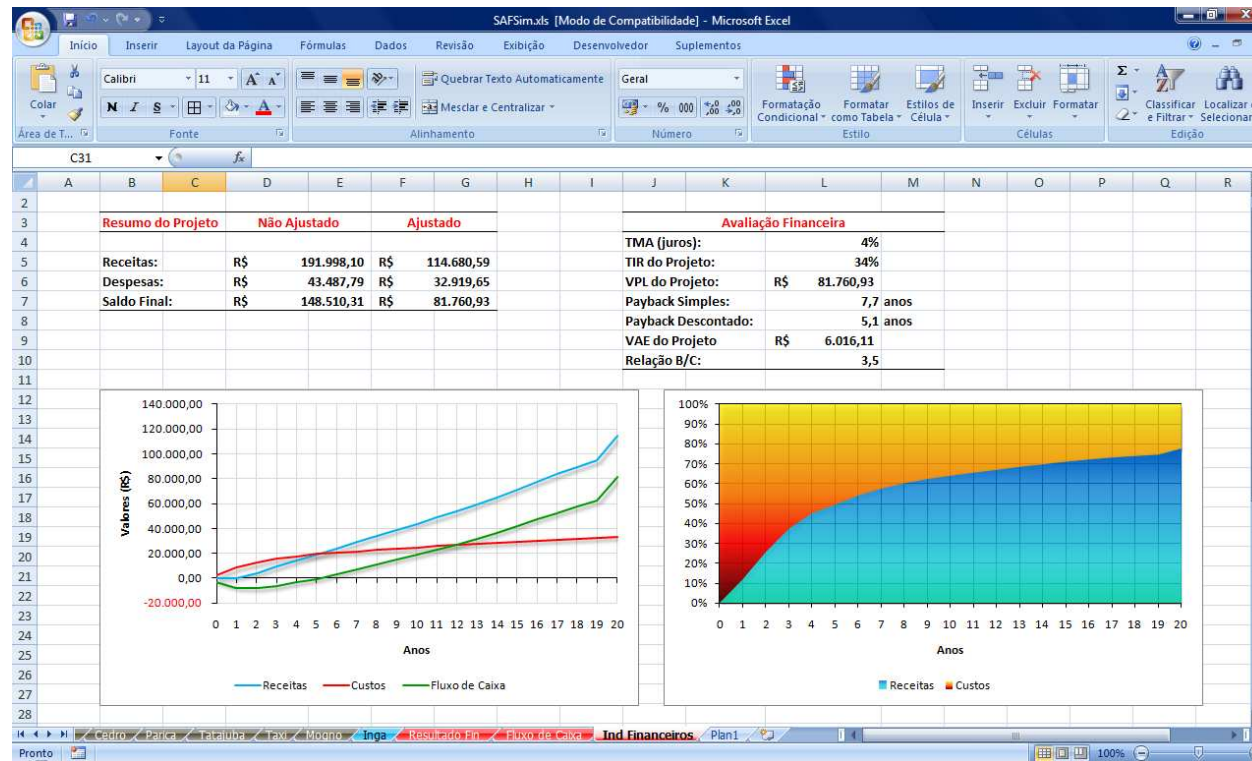


Figura B2. Tela da planilha Excel desenvolvida para planejamento e avaliação de sistemas agroflorestais: indicadores financeiros. (Fonte: o autor)

APÊNDICE C – Modelo de Simulação da Substituição de Sistemas Produtivos Não Sustentáveis por SAFs

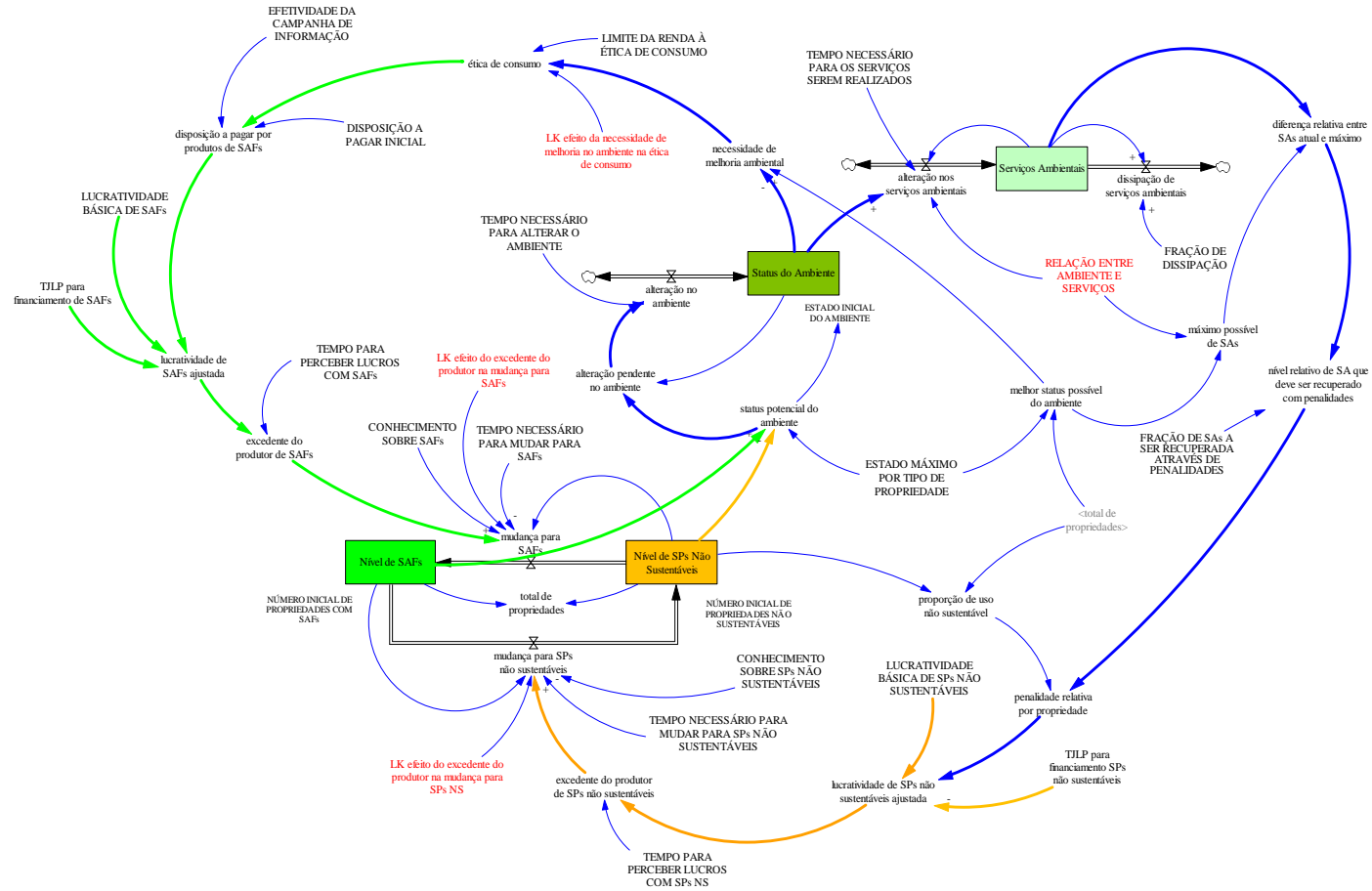


Figura C1. Detalhes do modelo de para simulação dos efeitos da substituição de sistemas de produção não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira. (Fonte: o autor)

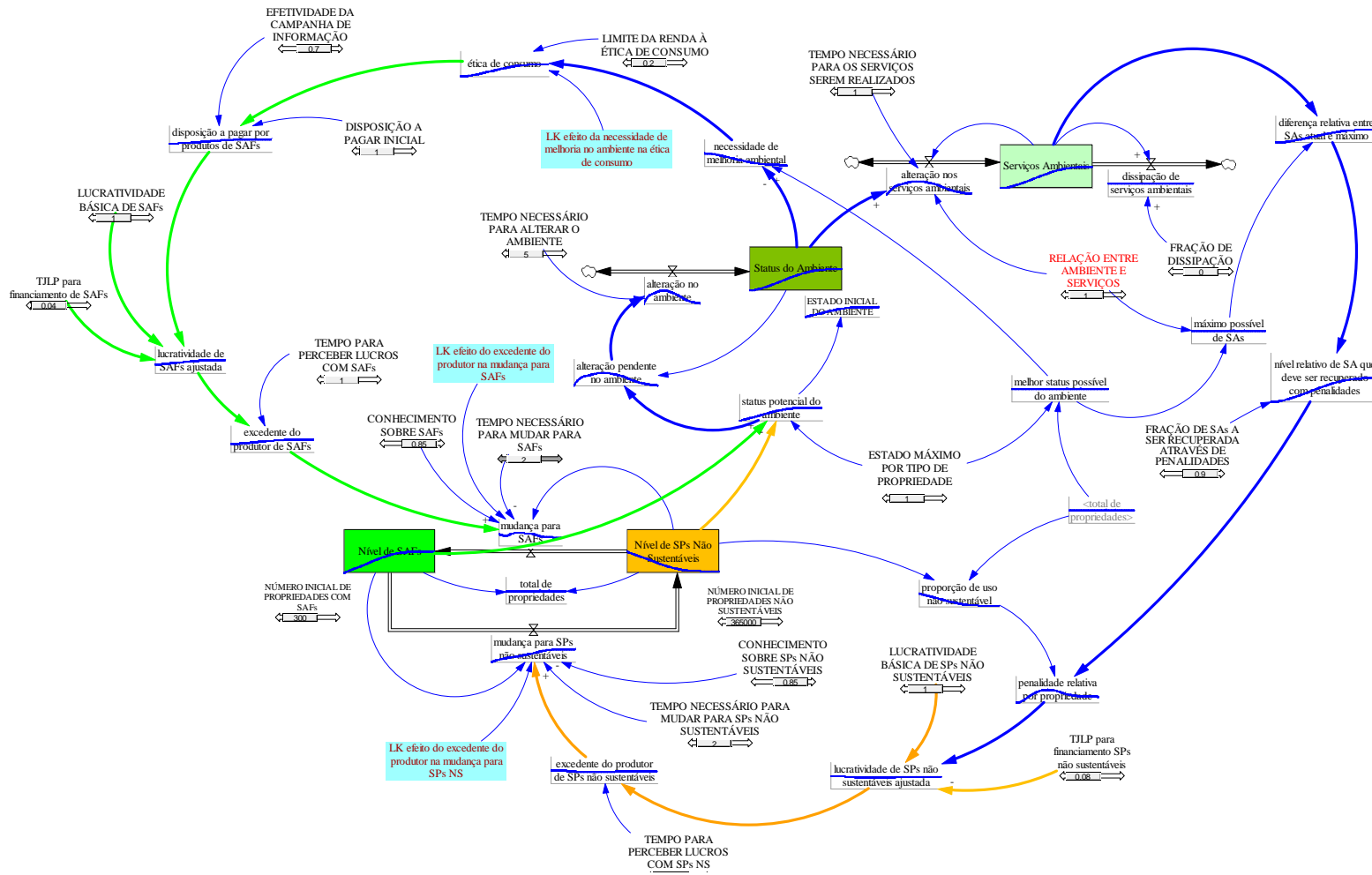


Figura C2. Detalhes da execução do modelo de para simulação dos efeitos da substituição de sistemas de produção não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira. (Fonte: o autor)