



RECUPERAÇÃO PRODUTIVA DE
FLORESTAS NA AMAZÔNIA

Acúmulo de carbono e mecanismos de mercado em sistemas agroflorestais de cacaueteiro: uma experiência na região da rodovia Transamazônica-PA

João Augusto Pereira Neto
Marcos Ximenes Ponte
Antônio Cordeiro de Santana

João Augusto Pereira Neto
Marcos Ximenes Ponte
Antônio Cordeiro de Santana

**Acúmulo de carbono e mecanismos
de mercado em sistemas agroflorestais
de cacaueteiro: uma experiência na
região da rodovia Transamazônica-PA**

1ª edição
Belém, Pará
2012



© Direitos de cópia/copyright 2010
por/by IPAM/NAEA/UFPA

REALIZAÇÃO



PARCERIA



PATROCÍNIO



Pereira Neto, João Augusto; Ponte, Marcos Ximenes;
Santana, Antônio Cordeiro.

“Acúmulo de carbono e mecanismos de mercado
em sistemas agroflorestais de cacaueteiro: uma experi-
ência na região da rodovia Transamazônica-PA”.
Belém-PA, IPAM, 2012.

144p. : il. color; 25 cm

ISBN 978-85-87827-27-2

1. Carbono. 2. Subsídio. 3. Serviço Ambiental. 4. Me-
canismo de Compensação.

Agradecimentos

Primeiramente desejamos enormemente agradecer ao Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), à Universidade Federal do Pará (UFPA), à Fundação Viver, Produzir e Preservar (FVPP), à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e às instituições parceiras no projeto *Recuperação Produtiva de Pequenas Propriedades na BR-230*, financiado pela Petrobras por meio do Programa Petrobras Ambiental, contrato: 6000.0053321.09.2. Agradecemos, também, à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pelo apoio institucional, ao Professor Pesquisador Alfredo Kingo Oyama Homma da Embrapa pela colaboração e sugestões como um todo, as quais aprimoraram o conteúdo e a apresentação do trabalho. Agradecemos, também, aos professores Tereza Ximenes, Josep Pont Vidal, Leonilde Rosa, Antônio Vinícius Barbosa e Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza. Estes, direta ou indiretamente, colaboraram com o resultado do trabalho.

Por fim, agradecemos a Ingrid Sinimbu e Lucimar Souza, do IPAM; Gesta Melo da CEPLAC – Belém; Roberto Cordovil da Estação da CEPLAC de Medicilândia; e toda a equipe e bolsistas que colaboraram nos trabalhos de campo.

Resumo

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) com cacaueteiro, além de serem uma alternativa para a recuperação de áreas desmatadas e degradadas da Amazônia, integram floresta e agricultura, ao mesmo tempo provendo serviços ambientais como a manutenção da biodiversidade, a manutenção do ciclo da água e do estoque de carbono, gerando uma externalidade positiva e passível de compensação. Mesmo colaborando com a manutenção destes serviços ecossistêmicos, ainda não é claro como os produtores destes sistemas podem ser recompensados. A compensação pelos serviços ambientais prestados poderia ser um estímulo para produtores optarem pela produção agroflorestal.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um modelo para este tipo de compensação, no âmbito de REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), a partir de cálculos considerando o estoque de carbono e sua relação com benefícios socioambientais em Sistemas Agroflorestais com cacaueteiro, na região de influência da rodovia Transamazônica (BR-230). O mecanismo de compensação deve apresentar uma interação entre as dimensões social, econômica e ambiental de forma atrativa ao produtor e alinhada à conservação da floresta.

Este modelo poderá ser consolidado como um novo mecanismo de financiamento e desenvolvimento da Amazônia no âmbito de uma política de REDD.

PALAVRAS-CHAVE:

Carbono. Subsídio. Serviço Ambiental. Mecanismo de Compensação.

Abstract

Cocoa Agroforestry Systems besides representing alternatives for the recovery of deforested and degraded areas in the Amazon, integrate forest and agriculture, providing environmental services such as the maintenance of biodiversity, water cycle and carbon stock, generating a positive outcome that could be compensated. Although producers of these systems collaborate with the maintenance of these ecosystem services, it is still unclear they can be compensated. Compensation for environmental services could encourage producers to adopt agroforestry production.

Thus, the current project aims to present a model for this type of compensation, in the scope of REDD (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) using calculus considering carbon stock and its relation with socioenvironmental benefits in Agroforestry Systems of cocoa, in the region of influence of Transamazonica Highway (BR-230). A compensation mechanism should integrate social, economic and environmental dimensions in order to become attractive to the producer and aligned with forest conservation.

This model can be consolidated as a new financing and development mechanism for Amazon under a REDD policy.

KEYWORDS:

Carbon. Subside. Environmental Service. Compensation Mechanism.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO	13
2.1 Criação dos Municípios da Região da Rodovia Transamazônica	14
2.2 Vegetação	16
2.3 Solos	18
2.4 Clima da Região	20
3. SISTEMAS AGROFLORESTAIS	23
3.1 Sistemas Agroflorestais com cacaueteiro na BR-230, estado do Pará	25
4. AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS	27
4.1 Biomassa Vegetal	27
4.2 Métodos para Determinar a Biomassa Florestal	28
4.3 Métodos para Determinação do Volume	29
4.3.1 Volume: Métodos Diretos	30
4.3.2 Volume: Métodos Indiretos	30
4.4 Métodos para Determinação e Estimativa de Biomassa	34
4.4.1 Métodos Diretos para Determinação de Biomassa	35
4.4.2 Métodos Indiretos para Estimativa de Biomassa	36
5. MECANISMOS INTERNACIONAIS PARA CONTENÇÃO DE EMISSÕES – (MDL E REDD)	55
5.1 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)	55
5.2 Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD	60
5.3 Linha de Base e Adicionalidade	62
5.3.1 Linha de Base	63
5.3.2 Adicionalidade	67

6. MERCADO	69
6.1 Conceitos sobre Mercado	69
6.1.1. O Modelo de Oferta	69
6.1.2. O Modelo de Demanda	70
6.1.3. O Equilíbrio de Mercado	70
6.1.4. Medidas de Bem Estar	70
6.1.5. As Falhas de Mercado	71
6.1.6. Falhas de Mercado e Problemas Ambientais	72
6.1.7. As Externalidades e os Problemas Ambientais	73
6.1.8. Soluções Convencionais para Problemas Ambientais	76
6.1.9. Problemas Ambientais e Soluções de Mercado	77
6.1.10. Externalidades Ambientais	78
7. CARBONO E MERCADO – VALORIZANDO SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CACAUEIRO	81
7.1 Biomassa e carbono dos SAFS da BR-230	86
7.2 Externalidade socioambiental dos SAFS da BR-230	95
7.3 Política de Compensação Socioambiental para os SAFs	99
7.4 A externalidade socioambiental positiva do REDD e o valor presente líquido	104
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXO	143

1. Introdução

O processo de retirada de gás carbônico da atmosfera acontece essencialmente nos oceanos e florestas. Muitos dos seus organismos absorvem o carbono encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO₂) através do processo de fotossíntese e o retém na sua biomassa. Por ocuparem um terço de toda a área do planeta, as florestas exercem um papel essencial no ciclo do carbono. Após a revolução industrial, este gás vem sendo intensivamente liberado para a atmosfera, através da queima do petróleo, carvão mineral, gás natural e madeira. Os três primeiros são usados largamente para geração de energia. Segundo o relatório de McKinsey & Company (2009), as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) no mundo são o setor industrial, edificações, tratamento de resíduos, energia, transporte, agricultura, pecuária e setor florestal. A concentração de CO₂ na atmosfera passou de 280 ppm (partes por milhão) no ano de 1750 (IPCC, 2007) para 392,8 ppm em 2012 (NASA, 2012). No Brasil, estima-se que, em 2005, foram emitidas aproximadamente 2,2 bilhões de toneladas de CO₂e, dos quais 61% resultaram de mudanças no uso do solo (MCT, 2010).

A Floresta Amazônica vem sofrendo com o avanço do desmatamento e da degradação florestal diminuindo assim seu potencial na estocagem de carbono. Destes 61% de emissões brasileiras que resultam de mudanças no uso do solo, 67% ocorre na Amazônia. Somente na Amazônia brasileira, entre 1996 e 2005, emitiu-se por ano uma média de 200 milhões de toneladas de carbono (Houghton *et al*, 2005).

No início da década de 70, a floresta amazônica brasileira ocupava uma área total de 4,18 milhões de km² (Soares Filho *et al*, 2009). Atualmente, o desmatamento acumulado já ultrapassa 650 mil km² (15% de sua extensão original), uma área maior que a França e quase o dobro da Alemanha.

1. Introdução

Segundo dados do INPE, as taxas anuais de desmatamento situaram-se em torno de 17 mil km² ao longo da década de 90, correspondendo a emissões médias anuais na ordem de 200 milhões de toneladas de carbono. No início da década de 2000, houve um aumento significativo do desmatamento que atingiu 27 mil km² em 2004. Desde então, o desmatamento tem diminuído. Segundo o INPE, a área total desmatada alcançou 6,2 mil quilômetros quadrados entre 2010 e 2011, uma queda de 11% em relação ao ano anterior. Este é o menor nível desde 1988, quando começou o monitoramento.

Embora a floresta amazônica seja desmatada por inúmeras razões, a criação de gado ainda é a causa predominante. As fazendas de médio e grande porte são responsáveis por cerca de 70% das atividades de desmatamento. Um grande desafio para o Brasil e, sobretudo para a Amazônia, é definir estratégias para reduzir o desmatamento e a degradação florestal e recuperar ou reflorestar áreas degradadas ou desmatadas. Ximenes (2010) coloca que existe um processo de “pecuarização” na região Amazônica em pequenas propriedades, tais como as que existem na região de influência da rodovia Transamazônica. É preciso sugerir atividades produtivas sustentáveis que substituam a agricultura de corte e queima e a pecuária extensiva. Essas atividades sustentáveis devem garantir retorno econômico aos produtores viabilizando assim a alternativa de não desmatar. Neste sentido, é preciso identificar as atividades produtivas que atendam à demanda econômica do produtor e à conservação da floresta.

Considerando que a floresta em pé gera benefícios para os ecossistemas, como regulação do ciclo da água, conservação da biodiversidade, etc., é possível criar um mecanismo financeiro capaz de valorar os serviços ambientais prestados pela floresta e, assim, se tornar atrativo ao produtor que optar por manter a floresta em pé.

O papel das florestas para o equilíbrio climático foi oficialmente inserido no debate internacional na COP-13 (em Bali, na Indonésia), em 2007. Foi reconhecido também a necessidade de envolvimento de povos indígenas e comunidades locais quando forem tomadas medidas de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento (Pinto *et. al.*, 2010). Assim, foi adotado pela UNFCCC o conceito de REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal) Pelo chamado *Mapa do Caminho de Bali* (Bali Roadmap), acordado na COP-13, ficou definido que REDD deveria envolver ações de (i) redução de emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal nos países em desenvolvimento, (ii) conservação florestal, (iii) manejo

sustentável das florestas e (iv) aumento dos estoques de carbono florestal nos países em desenvolvimento. A conjunção dessas quatro ações define hoje o que se conhece por REDD *plus* (REDD+).

Conforme Santana (2009), para regiões com cobertura florestal predominante e com taxas de desmatamento significativas, como é o caso do território da Transamazônica (estado do Pará), a previsão de formas de pagamento por serviços ambientais, especialmente a redução do desmatamento e a manutenção dos estoques de carbono florestal, e fontes de recursos para viabilizar o uso de um mecanismo econômico como esse é fundamental. Para isso é necessário o estabelecimento de um marco legal no país para regulamentar o pagamento por serviço ambiental, o que poderia promover mudanças nos padrões produtivos convencionais para um modelo produtivo de baixo impacto social e ambiental.

O Brasil poderá fazer uma contribuição substancial à mitigação da mudança climática global se reduzir suas emissões de GEE oriundas de desmatamento e, ao mesmo tempo, progredir no estabelecimento de um desenvolvimento econômico de baixa emissão de carbono. Se um mecanismo de REDD for implementado, os países em desenvolvimento que optarem por adotá-lo poderão obter incentivos positivos ou compensações financeiras. A expectativa é de que este regime estimule uma nova economia mundial de baixa emissão e integre os esforços para proteção florestal e redução de emissões por desmatamento (CGEE & IPAM, 2011).

Uma alternativa para o uso das áreas já abertas é o estabelecimento de sistemas agroflorestais, os quais segundo Fearnside (1996, 2009) devem ser encorajados para desempenhar o seu devido papel no desenvolvimento da região amazônica. Assim, os SAFs podem ser uma solução na manutenção de estoques florestais e na recuperação de áreas degradadas.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma abordagem para os Sistemas Agroflorestais (SAFs) com cacaueteiro, integrada a um potencial mecanismo de compensação por serviços ambientais e REDD para produtores da região da rodovia Transamazônica (BR-230), estado do Pará. Esta é uma iniciativa desenvolvida com o apoio do Programa Petrobrás Ambiental. Neste trabalho, foi desenvolvido um modelo para determinação de valores de compensação ambiental aos produtores. Este modelo é composto de uma análise de estoque de carbono no tempo associado a um modelo de mercado para explicitar os benefícios privados e sociais atrelados à produção e calcular os valores justos a serem compensados na forma de subsídio ao produtor.

Este trabalho responde aos seguintes questionamentos:

1. Introdução

1. Quanto carbono pode ser estocado por Sistemas Agroflorestais Rentáveis Economicamente na Amazônia?
2. Qual a remuneração justa dos estoques de carbono de um SAF?
3. Quanto de compensação financeira por estoque de carbono deve ter um SAF para ser economicamente viável?
4. Qual o valor de um subsídio por compensação de carbono para um SAF da Transamazônica como um importante fator no financiamento de um novo modelo de desenvolvimento da Amazônia com uma política de REDD?

Certos itens não serão abordados neste trabalho, como o mercado para produtos dos SAFs, pois não será levado em consideração se outra região longe do SAF possui público para comprar a produção. Os cultivares escolhidos devem ser aqueles que a região é mais capaz de produzir de forma sustentável. A implantação dos SAFs não deve sugerir a necessidade de corte da floresta, nem para deixar de reconhecer os limites da capacidade de suporte humano na região. Também, não será tratada a importância da extinção de incentivos fiscais para o desenvolvimento na região e nem mesmo sobre a cobrança de impostos sobre especulação de terras.

Neste estudo, foram feitas análises de carbono estocado em Sistemas Agroflorestais para sugerir o mecanismo de compensação, o subsídio para carbono estocado tendo em vista a reposição de estoque de carbono por SAFs em áreas já desmatadas e/ou degradadas e estudos preliminares para auxiliar a implementação da ferramenta do subsídio para SAFs na Amazônia.

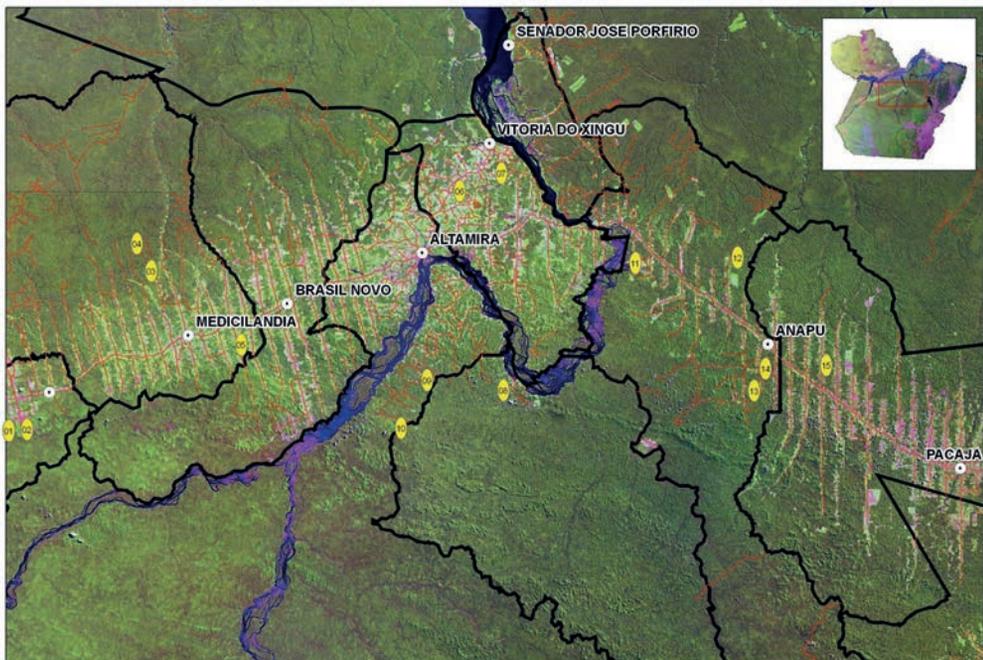
O foco central deste estudo é, portanto investigar o Carbono Estocado no Tempo e criar uma metodologia para o mecanismo de compensação de Sistemas Agroflorestais de cacaueteiro da BR-230. Definiu-se, a partir do Carbono Estocado, um referencial metodológico para REDD em atividades produtivas na Amazônia. Dimensionou-se um subsídio a partir do mercado de cacaueteiro para o Estado do Pará e do carbono estocado nos SAFs para os agricultores da BR-230 na busca da sustentabilidade da atividade.

2. Características da Região

A área de estudo está localizada no estado do Pará, na região de rodovia Transamazônica, conforme a Figura 1, abrangendo os municípios: Altamira, Medicilândia, Brasil Novo, Uruará e Anapu. Estes municípios encontram-se na região de influência do Rio Xingu, o qual nasce no estado do Mato Grosso e deságua no Rio Amazonas, ao norte do estado do Pará.

Figura 1. Municípios da BR-230.

Fonte: IPAM



2. Características da Região

Esta região é grande produtora de cacau oriundo de Sistemas Agroflorestais. O município de Medicilândia, inclusive, possui uma grande fábrica produtora de chocolate e é um dos principais municípios produtores de cacau do estado.

Conforme Calvi (2009), o cacauzeiro é uma cultura propícia à implantação em SAFs uma vez que a espécie necessita de sombra para se desenvolver. Os SAFs com cacauzeiros têm ganhado destaque no território da Transamazônica, principalmente a partir dos anos 2000.

Na Figura 1 observa-se a área de estudo que abrange os cinco municípios onde a atividade produtiva do cultivo de Sistemas Agroflorestais de cacauzeiro já se encontra estabelecida e apresenta grande potencialidade de expansão para toda Amazônia.

Todos os municípios apresentados pertencem à Mesorregião Sudoeste Paraense e à Microrregião de Altamira. Todas as sedes municipais estão localizadas na BR-230 (Rodovia Transamazônica) e estão na área de influência da bacia do Rio Xingu.

Assim, nessa região, o transporte da produção se torna possível tanto pelo Rio Xingu quanto pela rodovia BR-230, integrando a região à malha rodoviária Federal e Estadual e ao sistema fluvial da Bacia Amazônica.

2.1 Criação dos Municípios da Região da Rodovia Transamazônica

Medicilândia

Segundo o IBGE (2011) a origem do município de Medicilândia teve relação com o Programa de Integração Nacional (PIN), instituído no ano de 1970, implantado a partir de 1971, pelo governo Federal. Um dos objetivos do PIN era desenvolver um programa de colonização na Amazônia, trazendo trabalhadores sem terra de diversos pontos do Brasil, especialmente do Nordeste. A Rodovia Transamazônica se constituía no eixo ordenado de todo o programa e, no Pará, os trechos de Marabá – Altamira e Itaituba foram objetos de planejamento e investimentos especiais. Nos trechos de Marabá–Altamira e Altamira–Itaituba eram construídas agrovilas, com número igual de casas, instaladas em áreas de 100 hectares destinadas aos colonos assentados no local. Cada agrovila deveria contar com os serviços de escola, igreja, posto médico e, alguns casos, armazéns para produtos agrícolas. Medicilândia foi elevada à categoria de município pela lei estadual nº 5438, de 06/05/1988, após ser desmembrada de Prainha.

Altamira

A origem do município de Altamira está relacionada à presença pioneira dos missionários da Companhia de Jesus no rio Xingu, datada de antes de 1750. Na margem esquerda do rio Xingu, os jesuítas fundaram uma missão religiosa, mas foram expulsos se deslocando para outra região, onde instalaram os Capuchos da Piedade, um povoado que deu origem a Altamira. Quase cem anos depois, o povoado de Altamira foi incluído no município de Souzel. Devido à sua grande extensão territorial, Souzel foi desmembrado, dando origem ao município de Xingu, que incorporava Altamira, que passou a ser a sede do novo Município. **Somente em 1911, por decreto, o poder público decidiu-se criar o município de Altamira**, tornando-se Souzel, um de seus distritos. Em 1961, o município de Altamira foi desmembrado novamente de modo a reconstituir o município de Souzel, agora sob o nome de Senador José Porfírio e ainda permitir a criação do município de São Félix do Xingu. Na década de 90, seu território foi mais uma vez dividido e deu origem ao município de Brasil Novo e Vitória do Xingu. Atualmente, o município de Altamira é integrado somente pelo distrito-sede (SEPOF, 2009).

Brasil Novo

A origem do município de Brasil Novo também está relacionada com o Programa de Integração Nacional. A agrópolis (reunião de diversas Agrovilas, cuja polarização se dava em torno de um núcleo de serviços urbanos) de Brasil Novo foi implementada no Km 46 do trecho Altamira-Itaituba. O desenvolvimento da Agrovila e, finalmente, sua transformação em município, deveu-se ao crescimento demográfico acelerado do núcleo urbano de Brasil Novo e a instalação de estabelecimentos de comércio e de serviços, entre outros fatores. A falta de assistência municipal levou seus moradores a iniciarem a luta pela emancipação. Neste sentido, o município de Brasil Novo foi criado através da Lei nº 5.692, de 13 de dezembro de 1991, desmembrado de parte dos territórios dos municípios de Medicilândia, Altamira e Porto de Moz (SEPOF, 2009).

Uruará

Assim como os outros municípios da região sua origem está também relacionado ao PIN da década de 70. Na década de 80, ainda se encontrava na condição de Distrito do município de Prainha. Em 1988, Uruará foi elevado à categoria de município pela Lei estadual nº 5435. O nome Uruará foi dado em função do rio do mesmo nome que banha o Município. O Município é constituído somente do distrito-sede.

2. Características da Região

Anapu

Assim como Medicilândia, as origens do município de Anapu estão relacionadas à construção da Rodovia Transamazônica e com o Programa de Integração Nacional (PIN). A localidade foi elevada à categoria de município pela lei estadual nº 5929, de 28 de dezembro de 1995.

Estes cinco municípios juntos tem uma população de apenas 207.425 habitantes. São pequenos municípios em fase inicial de consolidação, mas muito promissores. Trata-se de uma região que na década de 70 atraiu um grande número de pessoas originárias do Nordeste e do Sul do Brasil. Houve múltiplas tentativas de dinamizar a economia regional através do incentivo para a pecuária e agricultura, além do cacau. Depois de algumas décadas de retrocesso e esquecimento, nota-se, hoje, um processo de revitalização regional, com novos investimentos e acordos políticos voltados para a região. O cacau retomou a sua importância, com nova dinâmica, com iniciativas produtivas mais organizadas e mais qualificadas.

Tabela 1. Dados de População e Área da Unidade Territorial

Município	População (mil hab.)	Área (Km ²)
Altamira	99.075	159.533,401
Anapu	20.543	11.859,467
Brasil Novo	15.690	6.362,555
Medicilândia	27.328	8.272,604
Uruará	44.789	10.791,341

2.2 Vegetação

A Figura 2 apresenta a vegetação do Estado do Pará e a região de estudo. A vegetação do município de Medicilândia é representada, em sua maior extensão, pela Floresta Densa de platôs e terraços (Xingu-Tapajós), pela Floresta Densa Submontana da sub-região da superfície arrasada da Serra dos Carajás e pela Floresta Densa dos baixos platôs. Às margens da rodovia Transamazônica, intensos desmatamentos propiciam o aparecimento da Floresta Secundária ou Capoeira (Pará, 2011).

Em Altamira há predominância da Floresta Aberta latifoliada (cipocal) e a Floresta Aberta Mista (cocal) na sub-região da superfície arrasada do Médio Xingu/

2. Características da Região

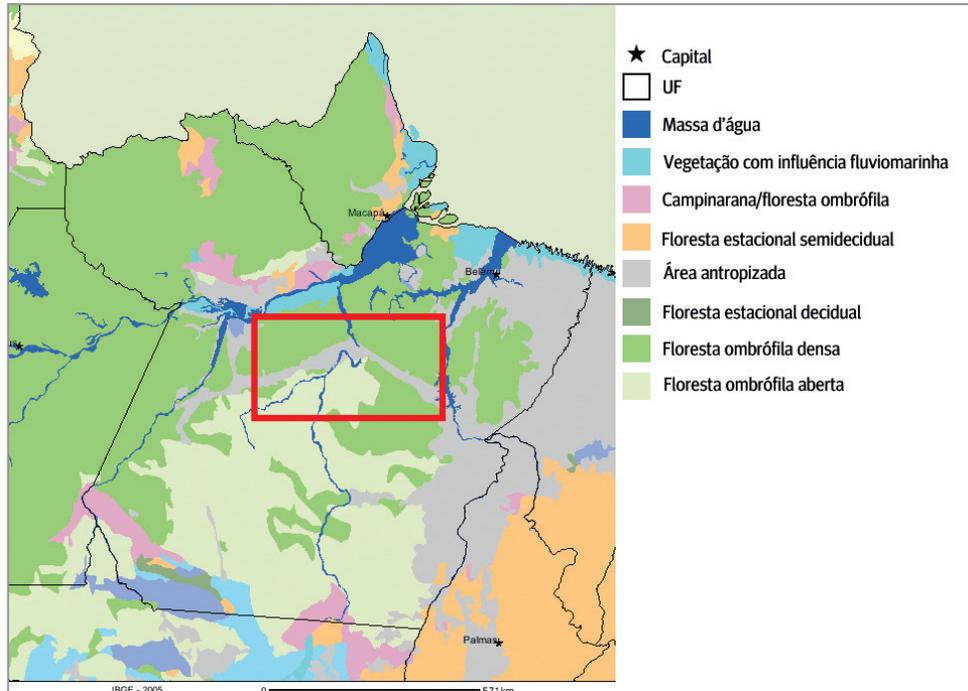
Iriri. No baixo Iriri, encontra-se a Floresta Densa Submontana em relevo dissecado e, ao norte, próximo à sede, encontra-se a Floresta Densa dos Terraços em mata ciliares da sub-região dos altos platôs paleozoicos do Pará/Amapá, já bastante alterada pelo desmatamento, o qual aumentou de proporção a partir do programa de colonização das margens da rodovia Transamazônica. Nessa área, o predomínio é de Floresta Secundária intercalada com tratos cultivados com pastagens, cana-de-açúcar, cacau e cultivos de subsistência (Pará, 2011).

No município de Brasil Novo, a vegetação é heterogênea, constituída de campos, capoeiras e mata secundária. Apresenta também características de floresta densa, com árvores de grande porte (IBGE, 2011).

A vegetação de Uruará é representada, em sua maior cobertura, pela Floresta Densa de platôs (sub-região dos altos platôs Xingu-Tapajós), pela Floresta Aberta Mista, constatando-se extensos desmatamentos em ambos os lados da rodovia Transamazônica, ensejando a formação de capoeiras (Pará, 2011).

A figura 3 mostra a vegetação da região estudada onde se observa a predominância de floresta ombrófila densa e aberta.

Figura 2. Vegetação do Estado do Pará.



2. Características da Região

Figura 3. Vegetação da região estudada.

Fonte IBGE (2010)



2.3 Solos

Os solos da região são predominantemente compostos por Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Vermelho (Figura 4 e 5).

Em Brasil Novo, há pequena incidência de solo arenoso/argiloso na sede municipal, com o predomínio do podzólico vermelho/amarelo em toda área do município, além da ocorrência de terra roxa estruturada (IBGE, 2011).

Em Altamira, há a presença de várias classes de solos: grandes manchas de Latossolo Amarelo com texturas médias e argilosas; Latossolo Vermelho-Amarelo texturas média e argilosa; Podzólico Vermelho-Amarelo com texturas média e argilosa e equivalente ao Eutrófico Terra Roxa Estruturada. Em menor ocorrência, aparecem os solos Litólicos distróficos Gleis e Aluvial eutróficos e distróficos (Pará, 2011).

Além do mais, em Uruará, os solos são representados pelo Latossolo Amarelo distrófico de textura média, argilosa e muito argilosa, Concrecionários Lateríticos Indiscriminados distróficos textura argilosa, Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa, Latossolo Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico textura argilosa e Solos Litólicos distróficos textura indiscriminada e afloramentos rochosos.

Figura 4. Solos do Estado do Pará.

Fonte: IBGE (2010)

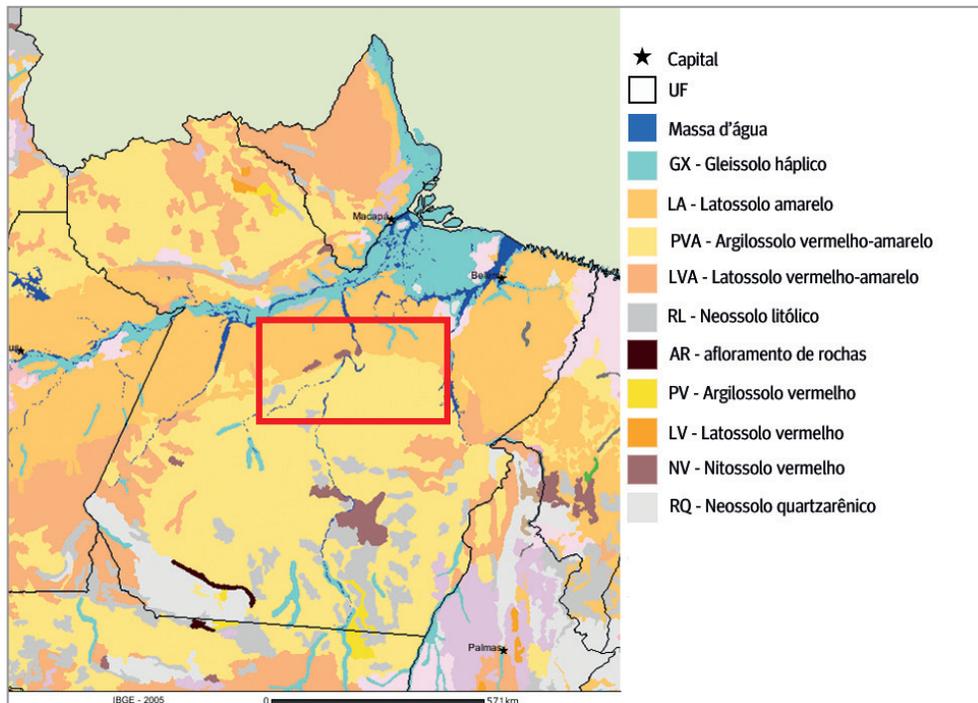
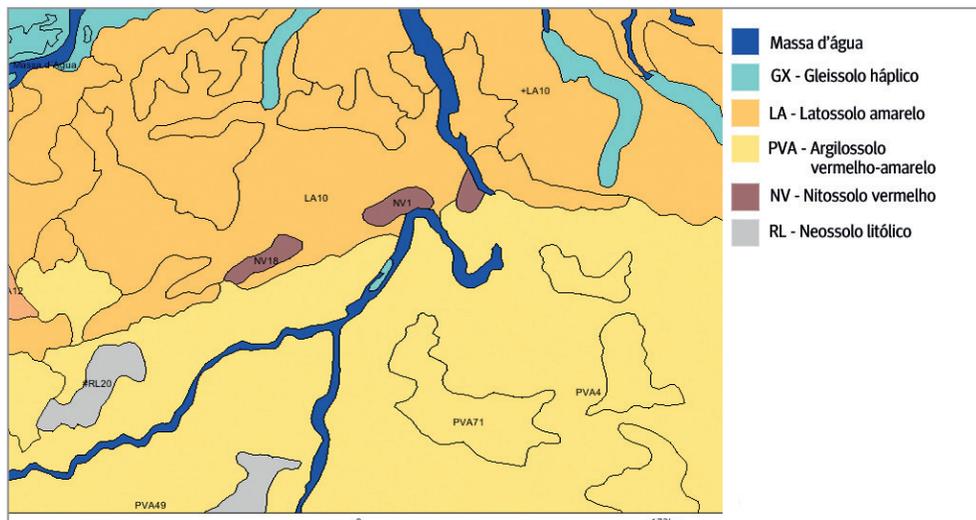


Figura 5. Mapa de solos da Região de estudo.

Fonte: IBGE 2010



2. Características da Região

Os solos do município de Medicilândia são representados, em maior porcentagem, pelo Latossolo Amarelo distrófico, com várias associações, desde a Areia Quartzosa distrófica, Concrecionário Laterítico, solos Hidromórficos Indiscriminados e Gleyzados, até Latossolo Vermelho. Em pequena ocorrência, ao sul do Município, está o Podzólico Vermelho-Amarelo, também com associações a solos Litólicos distróficos, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e Concrecionário Laterítico. Em eventuais manchas esparsas, está presente a Terra Roxa Estruturada eutrófica com associações a Latossolo Vermelho distrófico ou a Latossolo Roxo distrófico (PARÁ, 2011).

2.4 Clima da Região

A Agência Nacional de Águas (ANA) possui um Sistema de Informações Hidrológicas que indica 74 estações pluviométricas no Estado do Pará.

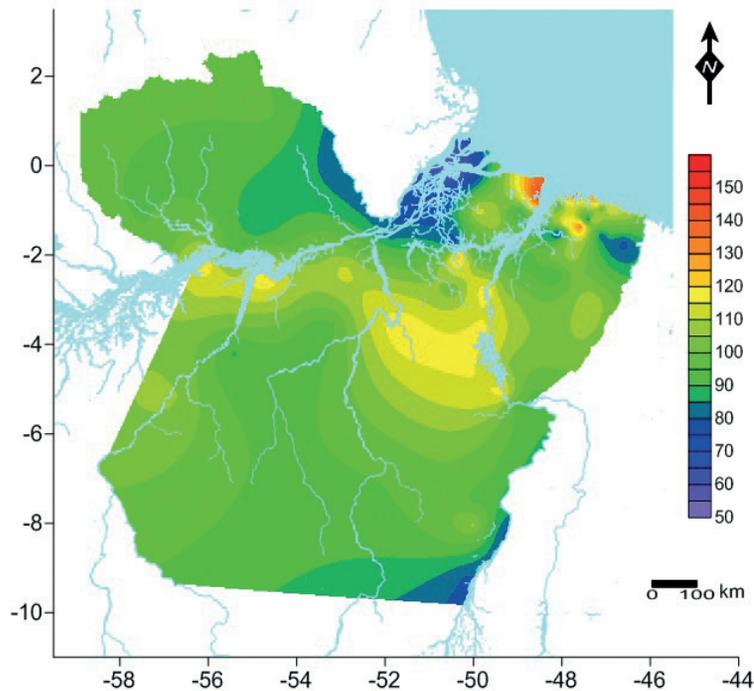
O clima do município de Altamira é do tipo equatorial Am e Aw, da classificação de Köppen. O clima predominante Am ocorre na parte norte do município, apresentando temperaturas médias de 26° C e precipitação anual aproximada de 1.680 mm, sendo os meses mais chuvosos compreendidos de dezembro a maio e, os menos chuvosos de junho a novembro. O clima Aw ocorre mais ao sul do município. Em virtude da extensão do município, o clima local passa por uma transição até alcançar o tipo savano, sendo setembro o mês com menor precipitação (Pará, 2011).

Em Medicilândia, a temperatura do ar é sempre elevada, com média térmica anual de 25,6°C e mínima de 22,5°C. A umidade relativa apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano. A pluviosidade se aproxima dos 2.000 mm anuais, entretanto, é um tanto irregular durante o ano. A estação chuvosa está presente entre os meses de dezembro a junho e a menos chuvosa de julho a novembro. O tipo climático da região é o Am, da classificação de Köppen, que se traduz como uma estação seca de pequena duração e uma amplitude térmica inferior a 5° C, entre as médias do mês mais quente e do mês menos quente (Pará, 2011).

No município de Uruará, a temperatura do ar é sempre elevada, com média térmica anual de 25,6°C e valores médios para a máxima de 31°C e para a mínima de 22,5°C. A umidade relativa apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano. A pluviosidade se aproxima de 2.000 mm anuais, entretanto, é um tanto irregular durante o ano. A estação das chuvas compreende os meses de dezem-

Figura 6. Intensidade de precipitação com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 15 anos para o Estado do Pará

Fonte: Souza, R.O.R.M et al (2012)



bro a junho e a menos chuvosa de julho a novembro. O tipo climático da região é o Ami que se traduz como um clima cuja média mensal de temperatura mínima é superior a 18°C. Apresenta uma estação seca de pequena duração e amplitude térmica inferior a 5°C entre as médias do mês mais quente e do mês menos quente. A presença de excedente de água do solo (mais de 750 mm), segundo o balanço hídrico, corresponde aos meses de fevereiro a julho, sendo março o mês de maior índice. A deficiência de água intensifica-se entre agosto e dezembro, sendo setembro o mês de maior carência, onde pode-se chegar a menos de 90mm (Pará, 2011).

No município de Altamira a intensidade de chuva é de 114,1 mm.h⁻¹ e para Medicilândia a intensidade de chuva é de 95,1 mm.h⁻¹.

Numa visão geral, a intensidade de chuva para a região de estudo varia de 90 a 120 mm.h⁻¹.

3. Sistemas Agroflorestais

Até a criação do Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF), em 1978, tanto em iniciativas de pesquisa como na prática de aproveitamento de recursos naturais, agricultura e floresta eram tratadas como dimensões independentes, sem considerar a possibilidades de trabalhar com ambas simultaneamente. Ao mesmo tempo, a forma como pequenos produtores agrícolas – e povos tradicionais dos trópicos – integravam bosques e plantios de árvores com cultivos agrícolas, já vinha demonstrando o enorme potencial de tais associações para beneficiar a sociedade e o ambiente. Faltava ainda acionar o elemento científico, para que de forma integrada com o conhecimento tradicional, esses produtores e associações viabilizassem estratégias produtivas para efetivamente explorar tal potencial (PORRO, 2009).

A agrossilvicultura como ciência desenvolveu-se a partir da década de 1970, quando as principais hipóteses do papel das árvores sobre os solos tropicais foram desenvolvidas, e principalmente com a criação de instituições internacionais voltadas à pesquisa agroflorestal, como o *International Council for Research in Agroforestry (ICRAF)*. Baseia-se na silvicultura, agricultura, zootecnia, no manejo de solos e em outras disciplinas ligadas ao uso da terra. Entretanto, adota uma abordagem interdisciplinar com relação ao estudo dos sistemas de uso da terra. Implica em ter-se uma consciência das interações e retroalimentação entre homem e o ambiente, demanda de recursos e sua existência em uma determinada área, o que significa, em determinadas circunstâncias, otimizar o uso sustentável dos recursos, além de simplesmente buscar o aumento permanente da produção (ENGEL, 1999).

A função ambiental teoricamente desempenhada pelos sistemas agroflorestais, se deve à capacidade do sistema em repor os estoques de carbono e manter outros serviços ambientais, e, ao mesmo tempo, possibilitar o aumento da renda das famílias produtoras. Fearnside (1995) cita que os sistemas agroflorestais representam uma forma de uso para áreas desmatadas tornando-se preferível agrônômica, social e

3. Sistemas Agroflorestais

Tabela 2. Abordagens principais na classificação dos sistemas agroflorestais.

Fonte: Adaptado de NAIR (1985)

Categorização dos sistemas (Baseada nas suas estruturas e funções)		Agrupamento dos sistemas (De acordo com sua distribuição e manejo)	
Estrutura (Natureza e arranjo dos componentes)		Função (Papel e/ou saída dos componentes, especialmente os florestais)	Adaptabilidade (agroecológica/ ambiental)
Natureza dos componentes	Disposição dos componentes	Função Produtiva	Sistemas em/de Tropicais úmidos de baixada. Trópicos úmido de Montanha (acima de 1200 m i.; e. Andes, Índia, Malásia). Tropicais subúmido de baixada (i. e. zona de savana da África, Cerrado da América do Sul). Trópicos subúmido Montanha (Montanhas Tropicais) (i.e. no Kenia, Etiópia).
Agrossilvicultura (culturas e árvores incluindo arbustos/ árvores e árvores)	No Espaço Densos mistos (quintais agroflorestais)	Alimento, forragem, lenha, outras madeiras, outros produtos	
Silvipastoril (pastos/animais e árvores)	Mistos esparsados (i.e.: na maioria dos sistemas de árvores nas pastagens) Largura (maior que uma árvore)		
Agrossilvipastoril (culturas, pasto/ animais e árvores)	Limite (árvores nas bordas das parcelas)	Função protetora Quebravento, faixa de proteção, conservação do solo, conservação da umidade, melhoramento do solo, sombra (para cultura, animais e homem)	
Outros (lotes de árvore multiuso, apicultura com árvores, aquicultura com árvores, etc)	No tempo Coincidente, concomitante, sobrepostas, sequencial (separado), interpolado		

ambientalmente às pastagens que atualmente dominam o uso da terra na Amazônia brasileira. Florestas nativas não devem ser derrubadas para implantar estes sistemas.

Tornar o uso das agroflorestas um sistema de pagamento por serviço ambiental exige uma definição clara de uma série de critérios, tais como a seleção dos beneficiários, o modelo de distribuição desses benefícios, a vigência do pagamento, condições econômicas, entre outros. Este pagamento deve competir com os atuais usos da terra concorrentes, não-sustentáveis, tais como a pecuária extensiva e agricultura de corte e queima, para tornar atrativo o uso dos sistemas agroflorestais. Para iniciar este processo, os sistemas agroflorestais precisam ser incluídos no contexto de políticas de desenvolvimento regionais.

3.1 Sistemas Agroflorestais com cacauero na BR-230, estado do Pará

Como mencionado, o uso do solo na Amazônia brasileira, em particular nas pequenas propriedades, é baseado na agricultura de corte e queima e na pecuária extensiva. Este tipo de uso causa grande desgaste e difícil recuperação do solo, além da redução de habitats, reduzindo a biodiversidade, entre outros fatores. Essas atividades vêm sendo conduzidas há algumas décadas e se estabeleceram na Amazônia de forma permanente. Para mudar este quadro, é preciso desenvolver uma alternativa que substitua essa cultura no bioma. Neste contexto os SAFs podem vir como uma alternativa promissora, visto que apresentam capacidade de recuperar o solo com novos plantios e preservar a floresta em pé quando consorciados à mata nativa.

Regiões que sofrem com o avanço do desmatamento acelerado, como é o caso da Amazônia, precisam garantir a conectividade entre fragmentos florestais. Neste contexto, os SAFs podem atuar como corredores ecológicos, sob algumas ressalvas. Mesmo com bom nível de biodiversidade interna, os SAFs podem funcionar de forma mais satisfatória, porém, não necessariamente, reunirão condições suficientes para o trânsito de determinadas espécies da fauna nativa, entre dois fragmentos de floresta (THIOLLAY, 1995).

Os SAFs com cacau têm ganhado destaque no território da Transamazônica, principalmente com o avanço da cacauicultura a partir dos anos 2000, com destaque ao município de Medicilândia, maior produtor de cacau do país. Na região da BR-230 ou Rodovia Transamazônica, Calvi (2009) identificou 164

3. Sistemas Agroflorestais

experiências de SAFs em 73 propriedades familiares, ocupando área de 1.450 ha, aproximadamente. Por ser uma zona produtora de cacau, esta lavoura aparece como cultivo principal em 155 experiências (94,5% dos casos analisados). Neste mesmo estudo, criou-se uma lista completa contendo as espécies florestais, frutíferas e agrícolas identificadas nas propriedades entrevistadas. Nas áreas de quintais agroflorestais, não se pode afirmar qual é o componente principal, já que são formadas por uma diversidade de espécies frutíferas, cada uma exercendo sua importância em distintos período do ano. A grande maioria dos SAFs da região da Transamazônica está baseada em uma cultura principal de rentabilidade econômica e com alta produção, que é o cacau.

Nos SAFs estudados por CALVI foram identificadas 71 espécies de árvores plantadas com perspectivas variadas, como a produção de madeira, frutos, sementes, óleos, látex, proteção natural contra insetos-praga ou mesmo pela beleza e exuberância de algumas delas. Dentre as espécies plantadas com maior número de ocorrência (por ordem), destacam-se o mogno, ipê, andiroba, abacate, cedro (*Cedrela fissilis*), açaí, manga, cupuaçu, laranja (*Citrus aurantium ssp.*), tatajuba, teca (*Tectona grandis*) e copaíba (*Copaifera multijuga*).

Calvi observou também que os agricultores fazem constantes avaliações sobre os SAFs para verificar, por exemplo, o aumento da produção, sombreamento da cultura principal, fertilidade do solo, entre outras. As formas para avaliarem seus SAFs são diversas, haja vista a heterogeneidade de sistemas encontrados. Dentre as vantagens encontradas nos SAFs, o sombreamento se destaca com 24,1% de frequência, questão esta já esperada por se tratar de um polo de produção de cacau. Outras questões avaliadas como positivas são o aumento da produção (15,9%), proteção e melhoramento das condições de fertilidade do solo (10%) e a madeira (8,2%).

Na grande maioria, os SAFs da BR-230, podem ser considerados e classificados como sistemas agrossilviculturais de produção comercial de cacau, de sombra, tropical úmido de terra firme.

Segundo a CEPLAC (2011), o preço médio do cacau pago aos produtores foi de R\$ 4,55 /kg.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

A biomassa é a quantidade de matéria viva de um vegetal, um animal ou uma floresta. Um dos elementos principais da composição da biomassa de seres vivos é o carbono. Nas florestas, todo carbono que absorvem da atmosfera é convertido em “alimento” para planta e armazenado em sua biomassa, ou seja, o acúmulo dessa biomassa em espécies florestais tem sido apontado um dos principais meios para absorção e retenção de carbono como tentativa de redução da sua concentração na atmosfera.

Existem diversas pesquisas sobre a quantificação de carbono na biomassa florestal sendo desenvolvidas em todo mundo. Nesta mesma linha, foi feito um estudo da quantificação de carbono na biomassa de Sistemas Agroflorestais com cacaueteiro na Transamazônica.

Neste capítulo, será abordada a teoria e a quantificação em si do C nestes sistemas, a partir do volume, biomassa, estoque de carbono fixado e quantidade de CO₂ sequestrado nos SAFs.

4.1 Biomassa Vegetal

Brown (1997) define biomassa florestal como a quantidade total de matéria orgânica viva das árvores acima do solo expressa em tonelada seca por unidade de área. Muito mais que esta definição, o conceito de biomassa compreende o peso de toda matéria viva como raízes, casca, galhos, folhas e fuste. De outro lado, Brown (1997) cita que as questões relacionadas com biomassa de floresta requerem que a biomassa dos componentes de toda a floresta seja estimada, incluindo a massa viva acima e abaixo do solo de árvores, arbustos, palmas, mudas e outros componentes e a massa de plantas mortas. Quando o objetivo é estimar a biomassa das plantas, como é o caso de inventários de carbono, o termo correto a ser usado é fitomassa (SOMOGYI et al., 2006).

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

A quantificação de biomassa nas florestas é fundamental para garantir relevância aos estudos de fixação de carbono.

Uma estimativa acurada da biomassa florestal e seu padrão de mudança no tempo é um pré-requisito para ajudar a entender a função das florestas no ciclo do carbono (SEDJO, 1992; FAN et al., 1998; BROWN et al., 1999).

Spurr e Barnes (1986) fazem uma relação entre biomassa e produtividade quanto ao estoque de biomassa. Esta relação é geralmente baixa em florestas jovens de rápido crescimento, e superior onde requer mais energia para manter o alto estoque de biomassa existente. Tanto a biomassa florestal quanto a biomassa apenas da madeira estão sujeitas ou suscetíveis aos fatores que determinam a produção de biomassa: clima, chuva, fotoperiodismo, latitude, altitude, densidade e idade da floresta. Tais fatores são importantes, não só para a avaliação ou estimativa da biomassa da árvore, como também para avaliação da taxa de variação do crescimento da árvore. Russo (1983) relacionou seis fatores que afetam a biomassa e a produtividade: idade do povoamento, variabilidade genética, nutrição, altitude, umidade do solo e desbastes. O total de biomassa acima do solo também varia por região geográfica, tipo de região (molhada, úmida ou seca), tipo florestal, estrutura florestal e o grau de distúrbio da floresta (BROWN et al., 1989). Segundo Guedes et al (2001) a biomassa (kg/m^2) é um indicador de produtividade ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{ano}$) de um sítio variando com a precipitação, temperatura, latitude e altitude e que a produtividade e biomassa podem não ser relacionadas e variam com o estado sucessional da vegetação em causa, por exemplo, uma floresta adulta que tem muita biomassa pode ter baixa produtividade.

Segundo Curlin (1970) em geral, a distribuição de biomassa da parte aérea das árvores decresce seguindo a ordem fuste, galhos, casca, folhas.

A mudança na biomassa existente pode ser avaliada ou como a diferença entre o incremento de biomassa e as remoções de biomassa ou como uma mudança dos estoques de biomassa entre inventários consecutivos (IPCC, 2003).

4.2 Métodos para Determinar a Biomassa Florestal

Há vários métodos para se determinar e estimar a biomassa ou a densidade de biomassa de formações arbóreas. Para a determinação ou estimativa de biomassa os métodos podem ser diretos ou indiretos. Entretanto, para todos os métodos diretos ou indiretos devem ser colhidas informações, por exemplo, a partir de inventários florestais.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Na Amazônia, a história dos inventários florestais se inicia no século XX, principalmente com o projeto RADAMBRASIL (1973-1983). O objetivo dos inventários desse projeto foi de avaliar o potencial comercial da madeira da Amazônia. Os inventários florestais dos anos 60 e 70 se restringiam ao volume de madeira em tamanho comercial (normalmente considerando apenas árvores com DAP > 25 cm), por serem exploratórios, servindo, no máximo, para estudo de viabilidade de projetos de desenvolvimento (HIGUCHI et al., 2004).

Este projeto foi responsável por aproximadamente 90% dos dados, juntamente com os inventários da FAO como fonte secundária, baseadas em aproximadamente 3.000 parcelas de um ha distribuídas em toda região amazônica (NOGUEIRA, 2004).

Os estudos de biomassa florestal são feitos com objetivos diversos, dentre os quais, destacam-se a quantificação da ciclagem de nutrientes, a quantificação para fins energéticos e como base de informação para estudos de sequestro de carbono. Estes estudos são de grande importância para a tomada de decisões no manejo dos recursos florestais (PÁSCOA et al., 2004).

O levantamento das informações da população ou de uma amostra de árvores para uma determinada área a partir de um inventário florestal é realizado a partir de informações dendrométricas que são estabelecidas como variáveis matemáticas. As variáveis dendrométricas que são levadas em consideração em um inventário florestal são as variáveis independentes ou preditoras, dentre elas temos, o volume total V , o volume comercial V_c , a altura total H ou H_t , altura comercial H_c , o diâmetro a altura do peito D , dap ou DAP , o diâmetro basal Db , a densidade da árvore S ou densidade específica (*specific gravity*). Para cada uma dessas variáveis independentes ou preditoras há vários métodos para sua análise, determinação ou estimativa.

Segundo SALATI (1994) as variáveis comumente disponíveis nos inventários florestais são o diâmetro à altura do peito, a altura e o volume, as quais são relacionadas de alguma forma com a biomassa.

4.3 Métodos para Determinação do Volume

O volume de madeira de espécies florestais pode ser medido por métodos diretos ou indiretos. Métodos diretos consistem no corte de árvores para análise, também chamado de método “destrutivo”. Os demais métodos (não destrutivos) são os considerados métodos indiretos. A seguir, o detalhamento de cada um deles.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

4.3.1 Volume: Métodos Diretos

Um dos métodos diretos para determinação de volume se dá através da fórmula de Smalian, na qual se utiliza a área de seção da base das extremidades e a altura do tronco ou do fuste. A partir daí, o volume é calculado através da fórmula:

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \quad (1)$$

onde V é o Volume, A_1 é a Área do fim seção menor, A_2 é a Área do fim seção maior e L é o comprimento da seção.

O método de Smalian utiliza a área do fim da seção menor e a área da seção maior. Entretanto, para uma única medida da área da seção, podemos utilizar outro tipo de medida do volume, conforme equação 2. Esta fórmula para o cálculo do volume se baseia somente na área do meio da seção e é chamada de fórmula de Huber:

$$V = AL \quad (2)$$

em que V é o Volume, A é a Área tomada no meio da seção e L é o comprimento da seção.

Tanto a fórmula de Smalian quanto a de Huber podem ser usadas para a quantificação do volume dos fustes e dos galhos das árvores que compõe a população ou a amostra. A escolha de qual método a ser utilizada vai depender de cada situação de campo, como por exemplo, do formato do fuste de cada árvore da amostra ou população, e da dificuldade de se obter as informações de campo.

A partir da medição de alguns indivíduos arbóreos, identificados em uma determinada área, faz-se uma extrapolação dos dados para estimar o volume em uma floresta.

4.3.2 Volume: Métodos Indiretos

Os métodos indiretos para estimativa de volume são métodos não destrutivos que consistem em correlacionar o volume da madeira com alguma variável dendrométrica que seja obtida durante o inventário florestal. As estimativas são realizadas por meio de relações matemáticas ou alométricas, como razões ou regressões de dados utilizando variáveis de inventários florestais como o DAP, a altura, o volume ou a densidade.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Uma limitação na utilização de dados de inventário para a estimativa de volume é a possibilidade de variáveis independentes terem um domínio restrito a uma faixa, por exemplo, a um mínimo de DAP ou a uma faixa de variação de DAP.

Na Amazônia brasileira, de um modo geral, considera-se o diâmetro de 45 cm o mínimo de explorabilidade. Por esse motivo, os volumes individuais das árvores inventariadas são calculados através de equações originadas de dados a partir deste diâmetro (SILVA; ARAÚJO, 1984). O uso de equações de volume e relações hipsométricas em inventário florestal vem se constituindo em uma operação rotineira para cálculo de volume de madeira em pé e estimativa da altura das árvores através da relação DAP e altura (COUTO; BASTOS, 1987). Quando se monitora o crescimento volumétrico, especialmente em florestas manejadas, é conveniente conhecer o crescimento não só das árvores grandes, mas, em especial, das árvores de tamanho intermediário que constituirão as futuras colheitas (SILVA; ARAÚJO, 1984). Assim, está estabelecido o motivo de saber não só o diâmetro das árvores com maior diâmetro, como também das árvores de menor diâmetro de uma amostra ou população.

Para a determinação da equação volumétrica, utilizaram-se funções $V=f(d)$, onde V =volume comercial e d =DAP (diâmetro a altura do peito). Não foi incluída a variável altura, uma vez que as equações de uma entrada apresentam precisão satisfatória e a altura é uma variável de difícil medição, no caso de florestas tropicais (SILVA; ARAÚJO, 1984). A fim de completar as relações quantitativas para aquela floresta, desenvolveu-se uma equação utilizável para pequenos diâmetros, variando de 15 cm a 45 cm (SILVA; ARAÚJO, 1984).

A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, através de modelos matemáticos, especialmente testados para apresentar os menores erros possíveis. As equações de volume, cujos modelos incluem como variável independente, a altura e o DAP da árvore, são mais gerais podendo abranger sítios diferentes. O uso do fator de forma médio deve ser restrito às condições locais de sítio. Qualquer extrapolação além desses limites pode ser perigosa sob o ponto de vista de previsão dos resultados finais (COUTO; BASTOS, 1987).

Silva e Araújo (1984) coletaram dados na Floresta Nacional do Tapajós, Município de Santarém, estado do Pará, à altura do km 67 da Rodovia Santarém–Cuiabá. Testaram quatro modelos de equações de volume propostos na literatura por Loetsch et al. (1973):

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

$$V = b_0 + b_1 d^2 \quad (\text{Kopezky-Gerhardt}) \quad (3)$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (\text{Hohenadl-Krenn}) \quad (4)$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln d \quad (\text{Husch}) \quad (5)$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 (1/d) \quad (\text{Brenac}) \quad (6)$$

Foi selecionado por Silva e Araújo (1984) o modelo de Kopezky-Gerhardt: $V = -0,0994 + 9,1941 \times 10^{-4} \times d^2$, onde V = volume com casca e d = diâmetro com casca à altura do peito. Mediram-se 30 árvores de diversas espécies, obedecendo-se a uma distribuição de frequência retangular: dez observações na classe de diâmetro 15 - 24,9 cm, dez na classe 25 - 34,9 cm e dez na classe 35 - 44,9 cm. As árvores foram medidas em pé, utilizando-se uma escala de alumínio desmontável. Utilizaram-se os seguintes critérios para a seleção da melhor equação: alto coeficiente de determinação (r^2); baixo desvio padrão de regressão (S_{yx}); alto valor de F ; baixo valor para a soma de quadrados do resíduo e boa distribuição dos resíduos padronizados (DRAPER; SMITH, 1981).

O uso de equações de volume e relações hipsométricas em inventário florestal vem se constituindo em uma operação rotineira para cálculo de volume de madeira em pé e estimativa da altura das árvores através da relação DAP e altura (COUTO; BASTOS, 1987).

A determinação da altura das árvores em pé através de instrumentos é uma operação onerosa e sujeita a erros. Desse modo, procura-se medir algumas alturas nas parcelas de inventário e, através de relações hipsométricas e estimar as demais. Em seguida, conhecendo-se a altura total e o DAP de cada árvore da parcela pode-se estimar o volume de cada uma, através das equações de volume. O método da equação de volume é o mais preciso dos métodos de determinação de volume de árvores em pé, contrapondo-se aos métodos de volume cilíndrico e da área basal (COUTO; BASTOS, 1987).

No método de volume cilíndrico, o volume real da madeira é obtido através da multiplicação do volume cilíndrico por um fator de forma médio da floresta. O volume real é calculado através do método da área basal, pela multiplicação da área basal do povoamento, pela altura média e pelo fator de forma médio. Os dois últimos métodos apresentam erros conceituais, pois em um deles parte-se do princípio de que o somatório dos produtos é igual ao produto dos somatórios, o que matematicamente não é correto para as condições de alta variabilidade que ocorrem nos povoamentos florestais (COUTO, 1984).

As relações hipsométricas, ou seja, as funções relacionando DAP e altura total da árvore são bastante sensíveis às variações de sítio. Daí a necessidade de geração

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

de parâmetros para cada parcela de amostragem localizada num determinado sítio. Essa geração é possível graças ao uso de computadores eletrônicos de grande velocidade de cálculo (COUTO; BASTOS, 1987).

Veiga (1984) afirma que apesar dos bons resultados que comprovadamente são obtidos na estimativa do volume de madeira através de equações, o seu uso era pouco frequente, por causa das dificuldades de cálculo e desconhecimento sobre o assunto por parte de técnicos ligados à área florestal.

O primeiro trabalho abordando o assunto profundamente sob o ponto de vista estatístico foi realizado por Veiga (1972), com *Eucalyptus saligna*.

Em geral, as equações de volume publicadas se restringem a uma determinada área, idade, espaçamento, notação ou espécie. Os métodos para encontrar o volume de árvores muitas vezes passam pelo desenvolvimento de equações de volume. Para a espécie Eucalipto há vários trabalhos tratando de equações de volume.

Paula Neto (1978) apresenta modelos de equações de volume comercial de *Eucalyptus microcorys* em regime de alto fuste na região de Coronel Fabriciano.

Um dos primeiros estudos envolvendo a geração de equações de volume para cada situação florestal (espécie, idade, local, ciclo, rotação, etc.) foi realizado por Bastos (1984).

No Inventário Florestal Nacional, coordenado pelo IBDF e realizado em diversos estados brasileiros, uma série de equações de volume foi desenvolvida, sem, contudo entrar em detalhes quanto à espécie, idade, espaçamento, local, ciclo e rotação, etc. (COUTO; BASTOS, 1987).

Para o cálculo de volume Couto e Bastos (1987) descrevem que “determinam-se inicialmente os estratos ou tipos florestais predominantes no ano que serão utilizadas as equações e procuram-se no ano anterior tipos semelhantes. Nesses tipos serão realizadas as coletas das árvores-amostra para o cálculo do volume real sólido com casca e sem casca para celulose, o volume real sólido para energia e relações hipsométricas. Caso existam equações já desenvolvidas em tipos semelhantes, novas equações não serão geradas, utilizando-se assim aquelas já desenvolvidas. Esse procedimento é necessário para suprir o IFC (Inventário Florestal Contínuo) de equações suficientes para obter os menores erros possíveis no cálculo do volume da árvore em pé”.

Segundo Fearnside (1986) para as estimativas de biomassa a partir de volume, pode ser incluída a variável densidade, chamada de “densidade básica”, que é calculada dividindo-se a massa seca pelo volume úmido. A condição de umidade usualmente se refere à amostra de madeira imersa na água em laboratório até saturação.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Esta condição é uma aproximação das condições que a madeira apresenta quando se encontra no seu estado natural em uma floresta.

Na estimativa de volume Couto e Bastos (1987) relataram que o número de indivíduos por estrato pode variar, pois é função do número de classes do tipo florestal que por sua vez representa a variabilidade do povoamento.

Brown e Lugo (1992) chamam de VOB para o volume da casca e do tronco da base da árvore até o primeiro ramo, isto é o volume do fuste. Assim, a densidade de biomassa pode ser calculada de inventários de VOB/ha, primeiramente estimando a biomassa do volume inventariado e assim expandindo este valor para encontrar a biomassa dos outros componentes acima do solo (BROWN; LUGO, 1992).

A densidade de Biomassa acima do solo (t/ha) = VOB * WD * BEF, em que: WD = volume médio ponderado da densidade da madeira (biomassa seca por m³ de volume verde) (BROWN; LUGO, 1992).

O BEF é o fator de expansão de biomassa ou *biomass expansion factor* (razão entre a biomassa seca acima do solo das árvores e biomassa do volume inventariado) (BROWN; LUGO, 1992).

4.4 Métodos para Determinação e Estimativa de Biomassa

Para a determinação ou para a estimativa da biomassa de uma árvore podemos usar duas formas: o método direto e o indireto. Assim como no cálculo do volume, no método direto tem-se a quantificação da biomassa com o corte da árvore, podendo determinar a massa e o volume da árvore. De outro lado, no uso dos métodos indiretos, podemos utilizar de fatores de expansão ou de equações de regressão com a variável dependente sendo a biomassa e a variável ou variáveis independentes podendo ser o DAP, a altura ou a densidade. Uma vantagem do método direto é a determinação da biomassa. Entretanto uma desvantagem é o corte da árvore. Em contraste, o método indireto tem com vantagem, uma maior rapidez na determinação de variáveis, alcançando e encerrando uma área maior com menor tempo. Entretanto, como se trata de uma estimativa, deve-se ter cuidado com os erros que este tipo de inferência pode conter.

Para a determinação da biomassa usando o método direto é necessário se determinar o peso da matéria orgânica acima do solo com o corte da árvore. Por outro lado, a mediada da biomassa usando o método indireto poderá ser utilizada sem a derrubada da árvore, mas com a medida de variáveis independentes.

A estimativa de biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do ma-

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

terial vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (GIS) (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994).

As metodologias usadas atualmente para obter estimativas de mudança de estoque de biomassa para vastas áreas de florestas são baseadas principalmente em informação de inventário florestal tanto quanto vários fatores, os quais convertem dados de diâmetro, altura ou volume em estimativas de biomassa (SOMOGYI et al., 2006).

4.4.1 Métodos Diretos para Determinação de Biomassa

Segundo Higuchi e Carvalho Junior (1994), para os estudos para quantificação de biomassa florestal os métodos diretos são os métodos de determinação.

Determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994).

Os métodos diretos de amostragem de biomassa podem ser enquadrados em duas grandes categorias, conforme Sanquetta (2002): método da árvore individual e método da parcela.

Segundo Pardé (1980) temos que o método da árvore individual é feito mediante a seleção de uma árvore média (*mean tree method*), sendo que, para se conhecer essa árvore, é preciso realizar um inventário florestal piloto e calcular o diâmetro ou a área seccional ou transversal dessa árvore. Esse autor afirma que é comum o emprego da árvore de área seccional média ou “*dg*”. Após a definição dessa árvore, procede-se a derrubada e a determinação de biomassa de um número de indivíduos, que se constituem na amostra. Em florestas com estrutura mais complexa, geralmente é empregada uma variação desse método. Após a realização de um inventário florestal piloto para se conhecer a distribuição diamétrica da floresta, será derrubado um determinado número de árvores para cada amplitude diamétrica, abrangendo todas as classes existentes na floresta.

Segundo Ogawa e Kira (1977) há uma variação do método citado por SANQUETTA (2002) ou uma segunda técnica ou método para determinação de bio-

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

massa para árvores individuais, chamada técnica do corte estratificado (*stratified clip technique*), que consiste na execução do corte raso em um pequeno ponto amostral no interior da floresta a ser estudada, dividindo-se a parte de cima do solo em 10 ou mais estratos paralelos à superfície do solo. Todas as árvores dentro do ponto são cortadas em partes dentro do respectivo estrato, e as folhas, ramos e caules pertencentes a cada estrato são pesados separadamente.

No método da árvore individual, há estratos que representam as classes diamétricas da amostra ou a determinação de biomassa de uma pequena amostra.

Por outro lado o método da parcela é implementado com o corte raso e posterior medida do peso de toda a biomassa de uma área pré-definida ou predeterminada, podendo ser colocado em prática, conforme Pardé (1980), com o procedimento denominado corte total (*harvest method*), onde se determina toda a biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações (inclusive as raízes) passo a passo, ou por amostragem em múltiplos estágios (*multi-stage sampling*), no qual se cortam todos os indivíduos contidos na parcela, pesando-se todos os caules.

Para Brown et al. (1989), as estimativas geradas por essas parcelas baseiam-se em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas, assim elas passam a não ser confiáveis. Para as demais porções, são feitas determinações apenas para alguns indivíduos, estabelecendo-se uma relação de quantidades entre os dois grupos.

Salati (1994) afirma que são utilizadas pequenas áreas (entre 0,2 a 1,0 ha), que servem para a calibragem das equações utilizadas nas estimativas indiretas, além de permitir o conhecimento detalhado da biomassa nos diferentes compartimentos da floresta.

Segundo Higuchi e Carvalho Jr (1994), em campo são obtidos, separadamente, os pesos verdes para o tronco, galhos, folhas e serragens produzidas pela divisão do tronco e galhos. Em seguida, devem-se retirar discos de aproximadamente 3 cm de espessura do tronco e dos galhos em alturas relativas ao comprimento total e um disco na altura do DAP. Todas as amostras do tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e discos devem ser colocados em estufa até estabilizarem-se em peso, para a obtenção do peso seco.

4.4.2 Métodos Indiretos para Estimativa de Biomassa

A estimativa de biomassa de grandes áreas de floresta possui um sério problema de amostragem para os ecologistas. Desde o início sabe-se que a biomassa da floresta muda com a idade, história do uso da terra, condições climáticas e edáficas e de topografia (BROWN; LUGO, 1992).

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Para se estimar a biomassa de grandes áreas tais como a da Amazônia Brasileira, a amostra deve ser obtida para um projeto aleatório ou a estratificação aleatória da população de interesse (BROWN; LUGO, 1992).

Devido às altas exigências sobre os recursos para as medições, a avaliação de biomassa em condições de campo na prática é feito de duas formas indiretas (SOMOGYI et al., 2006). O primeiro método é chamado de Fator de Expansão (*BF*) ou Fator de Expansão de biomassa (*BEF – Biomass Expansion Factor*) e o segundo método é chamado de equações alométricas ou equações de biomassa (*BEs – Biomass Equations*).

Segundo Wirth et al. (2003) as experiências mostram ao contrário dos dados de inventário florestal, que se destinam a representar as condições de floresta em grandes áreas, os vários *BFs* e *BEs* são altamente dependentes das condições locais.

Isso não é só porque eles podem em grande parte depender das espécies, do local, da idade, do regime de gestão, etc., mas também porque as definições envolvidas são acentuadamente diferentes. Além disso, a maioria dos *BFs* e *BEs* que estão disponíveis na literatura são baseados em estudos de caso em condições específicas usando poucas árvores (abaixo de dez a algumas centenas) (SOMOGYI et al., 2006).

O método indireto de estimativa de biomassa florestal é um método não destrutivo em que a variável dependente é a biomassa e as variáveis independentes podem ser o dap, a altura ou a densidade da árvore.

No entanto, enquanto os inventários florestais geralmente aplicam amostragens válidas estatisticamente e podem fornecer estimativas representativas para grandes áreas de floresta, os fatores de biomassa ou as equações utilizadas são, na maioria dos casos, não representativas porque são baseadas em estudos locais (SOMOGYI et al., 2006).

Segundo Salati (1994), os métodos indiretos são utilizados para se estimar a biomassa de áreas florestais de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis, determinando-se assim o valor da biomassa seca por hectare, para então ser feita uma extrapolação para a área total considerada. Além do mais, as variáveis comumente disponíveis nos inventários florestais são o diâmetro à altura do peito, a altura e o volume, as quais são relacionadas de alguma forma com a biomassa.

Somogyi et al. (2006) explica que a aplicação de fatores de expansão e de equações alométricas são controversas devido ao fato do uso inconsistente ou inapropriado das definições envolvidas. Não há uma terminologia padrão de vários fatores, e o uso de termos e definições é geralmente confuso.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Somogyi et al. (2006) traz uma contribuição sobre os principais tipos de fatores de biomassa (*BF*) e equações de biomassa (*BE*) e a orientação sobre como proceder na seleção, desenvolvimento e aplicação de fatores adequados ou equações a serem utilizadas em estimativa de biomassa florestal.

A estimativa transparente de biomassa exige a especificação dos componentes incluídos das árvores ou de seus talhões. Para avaliação da biomassa das árvores, os seguintes componentes são geralmente considerados: raízes (grossas e finas, até um determinado diâmetro, mas excluindo raízes finas), toco, o fuste até um diâmetro limite determinado, a casca, o topo da árvore (que é a parte mais fina do fuste acima do limiar de diâmetro), ramos ou galhos grossos, até um diâmetro limite determinado, ramos ou galhos finos (galhos) acima do limiar de diâmetro e, finalmente, a folhagem. Raízes finas geralmente não são incluídas nas estimativas de biomassa de árvores, entre outros, porque os métodos utilizados para a estimativa da biomassa de raízes finas são o de talhão específico ao invés do da árvore específica. A biomassa total de um local inclui a biomassa da árvore, mas podem também incluir a biomassa da vegetação bosque (camadas arbustivas, pequenos arbustos, gramíneas, ervas, briófitas e líquens) (SOMOGYI et al., 2006).

Ambos os parâmetros disponíveis árvore ou fuste, bem como a biomassa a ser estimada, pode incluir qualquer um ou todos os compartimentos e componentes anteriormente mencionados. Dependendo de qual componente da árvore ou de qualquer componente do talhão são significativos, diferentes fatores de biomassa ou equações devem ser usadas. Excluindo determinadas frações da árvore ou do talhão também é importante. Por exemplo, a massa da madeira morta em geral é excluída da biomassa (SOMOGYI et al., 2006).

Em cada caso, a biomassa é convertida de valores de árvore ou valores de talhões disponíveis. No entanto, pode também acontecer que os dados de volume disponíveis (no caso de uso de *BFs*), ou os valores da biomassa calculada, contêm menores frações de biomassa do que o necessário. Nestes casos, uma expansão também é necessária. A conversão e a expansão podem ser realizadas em etapas consecutivas ou em uma única etapa combinada (SOMOGYI et al., 2006).

4.4.2.1 Método do Fator de Expansão de Biomassa (BEF)

O Fator de Expansão de Biomassa (*Biomass Expansion Factor - BEF*) é definido como a razão da densidade de biomassa seca total acima do solo das árvores com um mínimo de DAP de 10 cm ou mais e a densidade de biomassa seca do volume in-

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

inventariado. Tal razão tem sido calculada de fontes de inventários para muitos tipos de florestas folhosas (de secundária jovem para madura) com abrangência sazonal de climas úmidos a climas secos através dos trópicos. Dados suficientes foram incluídos nas fontes do inventário para independentemente calcular a densidade de biomassa acima do solo e a biomassa do volume inventariado (BROWN et al., 1989).

Conforme Somogyi et al. (2006), quando se trabalha em nível de campo, o uso do método *BEF* para as avaliações de biomassa de forma indireta pode ser feito pelo método que utiliza dados de volume de árvores ou talhões de certos compartimentos de árvores ou padrões conforme relatado por inventários florestais ou outras estatísticas nacionais e multiplicá-los com um fator adequado ou fatores, referidos como fatores de biomassa (*BF*) para converter e, se necessário, expandir ou reduzir as estimativas de volume disponíveis para as necessárias estimativas de biomassa:

$$B = P \times BF \quad (7)$$

em que *B* é a biomassa (massa seca das plantas, t ou kg), *P* um parâmetro padrão disponível (por exemplo, volume da árvore, m³) e *BF* um fator de biomassa apropriado, que pode incluir uma conversão e, se necessário, um componente de expansão.

Assim como temos as definições de *BEF* relacionadas com a biomassa, por outro lado, temos também relações com o volume, tanto o volume da biomassa total acima do solo como com o volume do fuste. *BEFs* estão significativamente relacionadas com a biomassa correspondente do volume inventariado de acordo com a seguinte equação (BROWN; LUGO, 1992):

$$BEF = \exp\{3.213 - 0.506 \ln(BV)\} \quad (8)$$

para $BV < 190$ t/ha. Usar $BEF = 1.74$ para $BV \geq 190$ t/ha (*sample size* = 56, *adjusted r*² = 0.76) em que *BV* é a biomassa do volume inventariado em t/ha, calculada como o produto do *VOB/ha* (m³/ha) e a densidade da madeira (t/m³).

O percentual mais usado até agora foi o proposto por Brown et al. (1989) e denominado fator de expansão de biomassa (*BEF*), sendo 1,74 para todas as florestas densas (estocam mais de 190 Mg.ha⁻¹ nos fustes acima de 10 cm de DAP). Para florestas com menor estoque (<190 Mg.ha⁻¹) é proposto na equação 8.

O *BEF* proposto por Brown et al. (1989) foi obtido pela relação entre a biomassa total das árvores e a biomassa dos fustes.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Brown et al. (1989) estimou a biomassa total das árvores a partir da equação $Biomassa\ seca = 0,0899 (D^2 * H * S)^{0,9522}$ onde D =diâmetro, H =altura total da árvore e S =densidade da madeira. Brown e Lugo (1984) usaram dados relatados por países com os maiores tipos de florestas como os dados da *Food and Agriculture Organization (FAO)* das Nações Unidas para converter volumes de madeira comercial para Biomassa total acima do solo (*Total Aboveground Biomass-TAGB*) usando densidades de madeira e fatores de expansão (razão entre *TAGB* e a biomassa comercial).

Dependendo da disponibilidade dos valores da árvore ou do fuste no qual a estimativa é realizada, e também com relação aos valores desejados de saída para o qual a estimativa conduz, vários fatores podem ser usados para estimativa de biomassa. No mais simples caso, a conversão é suficiente usando valores de densidade da madeira. Se a estimativa de biomassa total é requerida, mas apenas dados de volume comercial de árvore estão disponíveis, então um fator de expansão também é necessário. Nestes casos, a conversão e a expansão podem ser feitas de várias maneiras. Por exemplo, a estimativa da biomassa total acima do solo da árvore através do volume comercial da árvore pode ser feito das seguintes formas: (1) expansão do volume comercial da árvore para o volume total da árvore, seguida da conversão de biomassa ou (2), a conversão do volume comercial da árvore para biomassa da parte comercial da árvore seguida pela expansão desta biomassa para a biomassa total da árvore ou (3), a conversão e expansão, em uma única etapa, do volume comercial da árvore para biomassa da árvore. Assim, *BFs* podem dispor de apenas um componente de expansão ou apenas um componente de conversão, ou ambos os componentes podem ser incluídos em um valor combinado (SOMOGYI et al., 2006). O Esquema 1 mostra a conversão de Volume em Biomassa.

Além disso, Somogyi et al. (2006) cita os mais frequentes fatores de expansão e de conversão que estão envolvidos na estimativa da biomassa conforme casos enumerados abaixo:

a) Expansão do fuste ou volume comercial para volume total

Frequentemente, o volume do fuste sobre a casca é estimado durante os inventários florestais. No entanto, diferentes partes podem requerer diferentes volumes tais como volume do fuste sob a casca, volume total do fuste e volume total dos galhos ou do volume de madeira comercial. Além disso, pode ser necessário calcular o volume total de madeira retirada das podas a partir do volume de madeira podada. Naturalmente, pode haver vários casos diferentes de expandir o volume original

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

(V_0) para o volume desejado (V_1) em diferentes países e instâncias, mas a fórmula para cada caso é a mesma, conforme equação 9.

$$V_1 = V_0 \times \text{fator de expansão de volume} \quad (9)$$

É interessante notar que o volume para a estimativa de volume pode ser necessário para obter volume maior ou menor do que o volume inicialmente disponível. Um exemplo para o último caso é a estimativa de volume do fuste para o volume comercial na República Checa. O volume comercial inclui a madeira dos galhos e a madeira do tronco acima do limiar de diâmetro de sete cm e, para obter somente o volume do fuste, tem que se descontar a madeira dos galhos do limiar de dimensão notável. Este consiste na aplicação de específicas espécies e fatores específicos de tamanho. Desde que a biomassa dos galhos é significativa apenas no caso de espécies de folhosas, o fator de expansão aplicado é de aproximadamente um para coníferas, mas pode ser significativamente menor para as árvores do litoral e para o carvalho com suficientes diâmetros de fuste.

b) Conversão de volume para biomassa

A conversão do volume para biomassa dos mesmos componentes da árvore é realizada usando a densidade dos componentes apropriados da árvore. O fator que pode ser usado para a conversão, p ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$), é definido conforme equação 10.

$$p = B/V \quad (10)$$

em que B é a biomassa (Mg) e V o volume (m^3) dos componentes específicos da árvore.

A densidade p e ainda um BF combinado são frequentemente aproximados pela densidade da madeira, que pode ser definida de várias maneiras. O *GPG LULUCF* (IPCC, 2003) recomenda que deva ser usada a densidade básica da madeira (convencional), que corresponde à matéria seca em condições de umidade zero (seca em estufa), dividida pelo volume estimado em condições frescas (volume fresco). Em qualquer caso, o volume é frequentemente medido da madeira fresca, os cuidados devem ser tomados para que os valores de densidade utilizados refiram-se às condições de madeira fresca. Se os valores de densidade utilizados baseiam-se em condições de madeira seca absoluta, os valores de volume precisam ser reduzidos com valores de abatimentos típicos antes de converter em densidade da madeira.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Rigorosamente falando, p somente é igual à densidade da madeira se a madeira do fuste grosso, sobre a casca seja considerado sozinho em B e V . De fato, muitas localidades tem convertido, em seus inventários nacionais, o volume do fuste para volume de biomassa usando valores de densidades da madeira específicas do local ou valores recomendados pelo IPCC (2003). No caso da densidade de outros compartimentos da árvore, da casca ao galho, e de diferenças consideráveis entre a densidade da madeira, um ajuste de r deve ser necessário.

c) Expansão do fuste ou biomassa comercial para biomassa total da árvore

A biomassa “total” pode significar também a biomassa total acima do solo, ou a biomassa inteira da árvore, quando a biomassa das raízes também é incluída. A biomassa total acima do solo pode ser expandida do fuste usando um fator de expansão apropriado. A biomassa inteira da árvore incluindo as raízes pode ser avaliada da biomassa acima do solo com a ajuda da razão raiz-parte aérea (IPCC, 2003). Entretanto, a biomassa inteira da árvore pode ser também diretamente estimada da biomassa do fuste usando um valor combinado. A escolha do método é altamente dependente da disponibilidade dos fatores apropriados e representativos a ser aplicados em inventários nacionais.

d) Estimativa de biomassa usando fatores combinados

Na estimativa de biomassa total, na conversão e na expansão também pode ser incluído um único valor, que permite a passagem do cálculo do volume do fuste para a biomassa total em uma única etapa.

A vantagem principal dos BFs combinados é que os valores da expansão de biomassa e valores de densidade são originados das mesmas medidas destrutivas da biomassa. Assim, o erro da estimativa do procedimento é também muito mais fácil devido ao fato de que a correlação entre erros da densidade da madeira e da expansão não necessitam ser avaliados.

Fearnside (1997) afirmou que em estimativas de biomassa a partir de volume, pode ser incluída a variável densidade chamada de “densidade básica” que é calculada dividindo-se a massa seca pelo volume úmido. A condição de umidade usualmente se refere à amostra de madeira imersa na água em laboratório até saturação. Esta condição é uma aproximação das condições que a madeira apresenta quando se encontra no seu estado natural em uma floresta.

Wirth et al. (2003) desenvolveram BEF para espécies da Noruega que é definido como a razão da biomassa total do talhão e a biomassa de madeira do fuste do talhão.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Levy et al. (2004) relatou valores de *BEF* para 13 espécies de coníferas no Reino Unido, definidos como a razão entre a massa fresca total acima do solo da árvore e a massa fresca da madeira comercial, assim como a razão raiz-parte aérea baseada em um extenso banco de dados de árvores.

Desta forma, há várias maneiras de se definir o *BEF* e diferentes conceitos usados por vários autores. Existem fatores de expansão combinados de várias formas: expansão da biomassa, densidade de madeira e também do conteúdo de carbono da biomassa. Há fatores que convertem volumes de fuste diretamente para estoque total de carbono das árvores. Além disso, fatores que convertem biomassa ou volume do fuste (biomassa ou volume comercial) em biomassa ou volume total. Além do mais, temos os fatores que convertem volume para biomassa, seja do fuste e da biomassa total acima do solo.

Uma comparação de vários *BFs* é realizada por Somogyi et al. (2006), no qual os vários *BFs* usados para estimar biomassa podem diferir consideravelmente. Isto é, não somente devido à definição já mencionada que muda dependendo “do quê” e “em quê” a conversão e a expansão são feitas. Em geral, *BFs* variam pela espécie e de acordo com o tamanho da árvore.

A parte relativa dos componentes da biomassa (por exemplo, a folhagem e os galhos) varia durante o desenvolvimento do talhão, e a parte relativa da biomassa total do fuste geralmente aumenta durante o desenvolvimento do talhão (SATOO; MADGWICK, 1982).

Segundo Somogyi et al. (2006) *BFs* também podem diferir devido à variação da densidade dos compartimentos envolvidos.

Lehtonen et al. (2004) encontraram que os fatores de expansão usados para estimar a biomassa eram dependentes da idade do talhão.

Segundo Somogyi et al. (2006) o método *BEF* pode ser usado somente se as estimativas de volume agregadas, isto é, se o volume do crescimento do estoque por espécie de árvores esteja disponível.

Nogueira et al. (2004) fazem considerações sobre o procedimento adotado por Brown et al. (1989) para obtenção do *BEF*. Segundo eles, há (i) possível erro na estimativa do *BEF*, devido erros nas estimativas de volume (provocados por estimativa da altura, oco e irregularidades dos fustes) e na obtenção da densidade média; (ii) possível superestimativa da biomassa total; (iii) relações diferentes entre a biomassa estocada nos fustes e nas copas entre os sítios da Venezuela e outras regiões da Amazônia.

Conforme Somogyi et al. (2006), a fim de estimar a biomassa das perdas e dos ganhos, necessita-se ter os *BFs* ao nível de talhão devido ao fato que os dados ao nível

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

de árvore destas variáveis não são costumeiramente conhecidos. De outro lado, os fatores ao nível de árvore podem ser usados quando os dados ao nível de árvore estão disponíveis, mas equações de biomassa apropriadas não existem (por exemplo, monitoramento da mudança no estoque do carbono em projetos de reflorestamento).

Além disso, Somogyi et al. (2006) define os fatores de biomassa tanto para árvore quanto o, conforme equação a seguir. Para o nível da árvore, *BFs* são definidos como:

$$bf = m_1 / m_2 \quad (11)$$

em que o *bf* é o fator de biomassa da árvore, m_1 uma medida apropriada da árvore (por exemplo, biomassa) e m_2 outra medida da árvore (por exemplo, volume). Note que o uso de letras pequenas na equação 11 se refere a características de árvore individual, mais que talhão.

A forma geral dos *BFs* no nível de talhão é mostrada na equação 12.

$$BF = M_1 / M_2 \quad (12)$$

que *BF* é o fator de biomassa em nível de talhão, M_1 a medida apropriada do talhão (por exemplo, biomassa) e M_2 a outra medida do talhão (por exemplo, volume).

Frequentemente, *BFs* em nível de talhão são desenvolvidos a partir de dados de árvores individuais, conforme equação 13:

$$BF = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\sum_i m_{1i}}{\sum_i m_{2i}} \quad (13)$$

em que i é o índice de uma única árvore, M as mediadas apropriadas em nível de talhão e m as mediadas apropriadas em nível de árvore.

Entretanto, o guia de boas práticas (GPG) do IPCC sugere a metodologia para o uso do método BEF aprovada pela UNFCCC/CCNUCC em 2005¹ (*CDM – Clean Development Mechanism*).

Esta é uma metodologia para monitoramento de projetos de atividade de florestamento e reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Tal metodologia segue o padrão internacional sugerido pela FAO e pela

1 A metodologia pode ser acessada pelo site: http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/approved_ar.html.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

ONU de estimativa do estoque de carbono na biomassa viva de árvores, em nível de estrato.

O método *BEF* aprovado pela *UNFCCC/CCNUCC* em 2005 segue as seguintes etapas:

Etapa 1: Determinar o diâmetro à altura do peito (DAP, nível normalmente 1,3 m acima do solo) com base em dados disponíveis, por exemplo, tabelas de volume (ex ante) e medições (ex post), e também de preferência a altura (H), de todas as árvores acima de algum DAP mínimo nas parcelas permanente amostradas.

Etapa 2: Estimar o volume do comercial de madeira das árvores com base em equações disponíveis ou em tabelas de rendimento (se essas equações produzidas localmente e as tabelas de rendimento não são relevantes para o uso regional e nacional). É possível combinar as etapas 1 e 2 se a aplicação dos instrumentos de campo (por exemplo, um relascópio) que medem o volume de cada árvore diretamente seja aplicado.

Etapa 3: Escolher valores apropriados para *BEF*.

Etapa 4: Converter o volume do componente comercial de madeira de árvores em estoque de carbono em biomassa acima do solo através da densidade básica da madeira D , do *BEF* e da fração de carbono usando a equação 14.

$$C_{AB,i,sp,j,l,t} = V_{i,sp,j,l,t} \cdot D_j \cdot BEF_{2,j} \cdot CF_j \quad (14)$$

em que $C_{AB,i,sp,j,l,t}$ é o estoque de carbono da biomassa acima do solo das l árvores das j espécies da parcela sp do estrato i , no tempo t , em toneladas de carbono. $V_{i,sp,j,l,t}$ é o volume comercial das l árvores das j espécies da parcela sp do estrato i , no tempo t , em m^3 / árvore. D_j é a densidade da madeira básica das espécies j em toneladas d.m. m^{-3} .

$BEF_{2,j}$ é o fator de expansão de biomassa para a conversão da biomassa comercial para biomassa de árvores para as j espécies, adimensional. CF_j é a fração de carbono da matéria seca para a espécie ou grupo de espécies do tipo j , em toneladas de Carbono (tonelada. dm^{-1}); Valor padrão do IPCC = 0,5.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Etapa 5: Converter o estoque de carbono da biomassa acima do solo em estoque de carbono da biomassa abaixo do solo através da relação de raiz-parte aérea, dada por:

$$C_{BB,i,sp,j,l,t} = C_{AB,i,sp,j,l,t} R_j \quad (15)$$

em que $C_{BB,i,sp,j,l,t}$ é o estoque de carbono da biomassa abaixo do solo das l árvores das j espécies da parcela sp do estrato i , no tempo t , em toneladas de Carbono. $C_{AB,i,sp,j,l,t}$ é o estoque de carbono da biomassa acima do solo das l árvores das j espécies da parcela sp do estrato i , no tempo t , em toneladas de carbono. R_j é a relação apropriada de raiz-parte aérea para estoque de biomassa, para as j espécies; adimensional.

Etapa 6: Cálculo do estoque de carbono da biomassa acima do solo e abaixo do solo de todas as árvores presentes na parcela sp do estrato i no tempo t (ou seja, soma sobre todas as árvores l por espécies j seguido pelo somatório sobre todas as espécies j presentes na parcela sp)

$$C_{\text{árvore},i,sp,t} = \sum_{j=1}^{Sps} \sum_{l=1}^{N_{j,i,sp,t}} (C_{AB,i,sp,j,l,t} + C_{BB,i,sp,j,l,t}) \quad (16)$$

em que $C_{\text{árvore},i,sp,t}$ é o estoque de carbono na biomassa viva das árvores na parcela sp do estrato i no tempo t em tC. $C_{AB,i,sp,j,l,t}$ é o Estoque de carbono da biomassa acima do solo das l árvores das j espécies da amostra sp no estrato i no tempo t , tC/árvore. $C_{BB,i,sp,j,l,t}$ é o estoque de carbono da biomassa abaixo do solo das l árvores das j espécies da amostra sp no estrato i no tempo t , tC/árvore. $N_{j,i,sp,t}$ é o número de árvores da espécie j da amostra sp do estrato i no tempo t . l é a sequência do número de árvores da amostra sp .

Etapa 7: Calcular o estoque de carbono médio da biomassa da árvore para cada estrato:

$$C_{\text{árvore},i,t} = \frac{A_i}{A_{sp_i}} \sum_{sp=1}^{P_i} C_{\text{árvore},i,sp,t} \quad (17)$$

em que $C_{\text{árvore},i,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores do estrato i , no tempo t ; em tC. $C_{\text{árvore},i,sp,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

da amostra sp do estrato i momento t ; tC . Asp_i é a área total de todas as parcelas da amostra no estrato i ; ha . A_i é a área de estrato i . sp são as parcelas 1, 2 e 3 das amostras no estrato i no cenário do projeto; i são os estratos 1, 2, 3, ... Mps do cenário do projeto; t são os anos 1, 2, 3, ... t decorridos desde o início da atividade de projeto de MDL.

4.3.2.2 Método de equações alométricas

No estudo de estoque de carbono florestal nota-se que há uma relação entre a biomassa florestal e as variáveis dendrométricas: diâmetro a altura do peito (DAP), a altura (h) e a densidade da árvore (S). Nesta relação, quando há um aumento de biomassa da árvore, na grande maioria dos casos, há um conseqüente aumento das variáveis dendrométricas. Assim há uma regra de associação entre a biomassa e as variáveis dendrométricas da árvore, isto é, existe a relação entre as variáveis dependentes e independentes.

Desta forma, se um acréscimo nas variáveis dendrométricas implica em aumento de biomassa, então há uma regra de associação ou lei natural revelando que há uma relação entre a biomassa (variável dependente) e as variáveis dendrométricas (variáveis independentes). A relação entre as variáveis é uma função, uma vez que é uma regra que associa os elementos das variáveis dendrométricas ou domínio e os elementos da biomassa florestal ou imagem da função.

As funções de estimativa de biomassa são usadas na criação de modelagens ou no intuito de criar modelos de estimativa de biomassa florestal. Os modelos de estimativa de biomassa devem se aproximar da realidade, para não subestimar e nem tampouco superestimar a quantidade de biomassa de uma árvore e do conjunto de árvores ou floresta. Para tal, são usadas relações quantitativas ou matemáticas para a estimativa da biomassa.

Segundo Crow e Schlaegel (1988) as variáveis mais comumente utilizadas em equações de biomassa são o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a altura total, podendo em muitos casos serem combinadas, gerando a variável (dap^2h). Além do mais, a maioria das equações de regressão para biomassa é desenvolvida para sítios específicos, não sendo aconselhável sua utilização para outras localidades.

Segundo Koehler et al. (2002), de forma geral têm-se duas variáveis, y e x , tais que, quando representadas em um gráfico com escala logarítmica dupla, produzem uma linha reta, que pode ser expressa por $y = \beta x^a$.

Conforme Balbinot (2009), na equação $y = \beta x^a$, β e x são constantes específicas, sendo x a variável dependente, comumente representada pelo DAP ou pela variável dap^2h , e y é a biomassa.

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Somogyi et al. (2006) descreve que uma forma de estimar a biomassa é aplicar uma equação de biomassa (*BE - biomass equation*) apropriada que prevê a biomassa da árvore em função do *DAP* juntamente com outro dado de medida de amostragem de árvores, de inventários florestais:

$$B = f(P_1, P_2, p_1, p_2) \quad (18)$$

onde B é a biomassa (massa fresca ou seca das plantas, kg ou t); P_1, P_2 , etc. Os dados disponíveis da árvore (por exemplo, *DAP*, cm; altura, m) e p_1, p_2 e outros são os parâmetros da equação.

Dois modelos podem ser usados para as funções matemáticas de estimativa de biomassa florestal, temos primeiramente os modelos lineares das equações, chamados também de funções lineares. Além disso, temos os modelos não lineares das equações nomeados por funções não lineares.

Crow e Schlaegel (1988) afirmam que equações de biomassa podem ter muitas formas, sendo que as mais comumente utilizadas são as do tipo linear e não linear. A escolha de uma destas formas é função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou pela recomendação da literatura. Exemplos de funções lineares são:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 + \dots \alpha_j + X_j \quad \text{sem erro aditivo} \quad (19)$$

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 + \dots \alpha_j + X_j + \varepsilon \quad \text{com erro aditivo} \quad (20)$$

$$Y = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_j^{\alpha_j} \quad \text{sem erro aditivo} \quad (21)$$

$$Y = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_j^{\alpha_j} + \varepsilon \quad \text{com erro aditivo} \quad (22)$$

O coeficiente j de α e de β assumem os valores $0, 1, 2, \dots$. A relação entre a variável independente e a variável dependente da função de estimativa de biomassa não linear para as árvores seguem o padrão exponencial $Y = \alpha_0 X_1^{\alpha_1}$. Por isso, a forma do modelo não linear para estimativa da equação de biomassa para uma variável independente segue o seguinte princípio descrito e como resultado a equação 23.

$$\begin{aligned} Y &= \alpha_0 X^{\alpha_1} \\ \ln Y &= \ln \alpha_0 X^{\alpha_1} \\ \ln Y &= \ln \alpha_0 + \alpha_1 \ln X \\ \ln Y &= \beta_0 + \beta_1 \ln X \end{aligned} \quad (23)$$

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

com $\ln\alpha_0 = \beta_0$ e $\alpha_1 \ln X = \beta_1 \ln X$. A biomassa é a variável Y e a variável X pode ser qualquer das variáveis dendrométricas que se enquadram no modelo.

Sendo a variável Y a biomassa, a variável X poderá ser o DAP, a altura ou a densidade da árvore.

A indicação do uso de modelos não lineares em manejo florestal é fundamentada no crescimento de uma árvore individual e, conseqüentemente, da floresta, que apresenta uma tendência não linear e sigmoideal, e também porque existem modelos não lineares flexíveis e confiáveis para esse tipo de análise (REGAZZI; LEITE, 1993).

Por outro lado, para duas variáveis independentes, a forma do modelo não linear segue o seguinte princípio exponencial para estimativa da equação de biomassa, conforme equação 24:

$$\begin{aligned} Y &= \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \\ \ln Y &= \ln \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \\ \ln Y &= \ln \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 \\ \ln Y &= \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 \end{aligned} \quad (24)$$

Como a maioria dos fenômenos naturais é tipicamente não linear, a utilização de modelos não lineares produz estimativas mais precisas do que os lineares (SANTOS, 1996).

Assim, as funções para estimativa de biomassa são chamadas de equações alométricas. A variável Y é a biomassa, a variável X_1 pode ser o DAP, e a variável X_2 pode ser a altura, por exemplo, ou a densidade da árvore. Desta forma, a equação alométrica para várias variáveis independentes será:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_n \quad (25)$$

Portanto, para a seleção de equações alométricas com uma ou mais variáveis independentes, os modelos destas equações podem ser construídos de acordo com a relação entre as variáveis, por exemplo, as que seguem:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln dap \quad (\text{modelo 1}) \quad (26)$$

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln dap^2 h \quad (\text{modelo 2}) \quad (27)$$

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln h \quad (\text{modelo 3}) \quad (28)$$

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Santos (1996) cita que uma equação de biomassa que considera tanto o diâmetro quanto a altura deve produzir estimativas melhores do que uma equação que utiliza apenas o diâmetro, por causa da informação adicional fornecida pelo conhecimento da altura.

Alguns modelos de equação alométrica possuem a seguinte regra da equação 29.

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln Ht + \varepsilon \quad (29)$$

que é a equação de regressão do modelo de Schumacher e Hall (1933), onde Y é a biomassa, DAP é o diâmetro a 1,30 metros, H a altura, S a densidade da árvore e β_0 , β_1 e β_2 são coeficientes do modelo.

Brown et al. (1989) consideraram os seguintes modelos para as equações alométricas:

Equações lineares:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 D + \beta_3 D^2 \quad (30)$$

$$Y = \beta_1 + \beta_2 (D^2 H) \quad (31)$$

$$Y = \beta_1 + \beta_2 (D^2 HS) \quad (32)$$

Equações não lineares:

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln D \quad (33)$$

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln (D^2 H) \quad (34)$$

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln (D^2 HS) \quad (35)$$

sendo Y a biomassa, D o DAP , H a altura, S a densidade da árvore, β_1 e β_2 coeficientes.

Segundo Somogyi et al. (2006), o método das equações de biomassa são preferidas se há acessibilidade às amostras representativas de dados das árvores da população alvo.

Conforme Koehler et al. (2002) o procedimento de estimar a biomassa realizando o ajuste de equações pelo uso de técnicas de regressão é o mais comum, onde algumas árvores são amostradas, o peso de cada componente determinado e relacionado por meio de regressão com variáveis dendrométricas, sendo escrita da seguinte forma:

$$B = f(P_1, P_2, p_1, p_2, \dots) \quad (36)$$

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

em que B = biomassa em kg ou ton; P = variáveis dendrométricas disponíveis, por exemplo, diâmetro (cm) e altura (m); p = parâmetros do modelo.

Brown (1997), afirma que o método de estimativa de biomassa derivada da aplicação de equações de regressão, utiliza um conjunto de dados de diâmetro, e este método basicamente envolve estimativa de biomassa por classe de diâmetro, utilizando-se o diâmetro médio por classe e a frequência de árvores em cada classe. Em regiões de clima seco, este autor recomendou que esta estimativa seja correlacionada não só com a variável diâmetro (d), mas também com a variável altura (h).

Fórmulas para converter dados sobre diâmetros e alturas de árvores em estimativas de biomassa florestal, desenvolvidas com base em levantamentos na Venezuela, têm sido largamente aplicadas às florestas da Amazônia brasileira. A comparação dessas fórmulas com dados da Amazônia central indicam a necessidade de mudanças para estimativas de biomassa no Brasil (NOGUEIRA, 2004). A equação de Chambers et al. (2001) é:

$$Y = \exp \{-0,370 + 0,333 * \ln (DAP) + 0,933 * [\ln (DAP)]^2 - 0,122 * [\ln (DAP)]^3\},$$

e foi desenvolvida na Amazônia central com base em 315 árvores cortadas e pesadas em ambiente similar aos sítios de coleta das 310 árvores estudadas por Nogueira (2004). As estimativas foram extrapoladas por hectare com base na frequência diamétrica segundo 72 hectares inventariados na Amazônia central.

Com relação às equações alométricas e suas variáveis dendrométricas, Ogawa e Kira (1977) afirmam que essa relação é universal e geralmente válida para qualquer relação entre as frações de biomassa, podendo ser usada para estimativa da biomassa do fuste, de galhos e de outras porções da árvore, porém com relações de dependência menos estáveis, alterando-se com características intrínsecas da floresta.

Os métodos indiretos obviamente não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações e, portanto, devem ser empregados em conjunto com os métodos diretos (BALBINOT, 2009).

Chave et al. (2005), citaram as principais variáveis preditoras utilizadas nos estudos de biomassa, em ordem decrescente de importância: diâmetro do tronco, densidade da madeira, altura total e tipo florestal.

Sanquetta (2002) relata que no ajuste de equações, deve-se ter sempre o cuidado de avaliar com objetividade as melhores equações, por meio das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste ($Syx\%$ e R^2).

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

Na escolha entre uma função linear ou não linear objetivando estimativa de biomassa, Cunia (1986), afirmou que as lineares possuem algumas vantagens. Assim como a maior parte da teoria estatística tem sido desenvolvida para funções lineares e sendo o método dos mínimos quadrados muito conhecidos, a sua aplicação é simples e pode ser estendida para todos os tipos de funções lineares e também na soma das funções de biomassa de cada componente de uma árvore. Outra grande vantagem apontada por este autor é que o erro da função linear de regressão pode ser representado em uma forma conveniente, combinando facilmente com o erro amostral proveniente do inventário. A única desvantagem da função linear é que não pode ser aplicada para dados que se encontram fora do intervalo amostral, enquanto que a não linear pode ser aplicada nesta região.

Contudo, geralmente, esses modelos apresentam limitações, que são ocasionadas pelo desconhecimento das relações alométricas (biológicas) entre as diversas variáveis, tais como *DAP*, altura total (*ht*), altura comercial (*hc*), peso verde de galhos vivos (*pvgv*), peso de acículas (*pva*) e peso verde do fuste (*pvf*) (BALBINOT, 2009).

Portanto, a seleção das variáveis a serem testadas nos modelos e suas possíveis relações com a variável dependente e a amplitude dos dados amostrados são de fundamental importância para o sucesso das estimativas. Esse processo pode tornar-se especialmente complicado à medida que há um aumento na diversidade de espécies (BALBINOT, 2009).

Conforme Brown (1997), o uso de equações de regressão tem como desvantagem a possibilidade de geralmente não se ter dados de todas as classes de diâmetro, pois despreza as árvores menores, que podem representar até 30% da biomassa de uma floresta, pois grande parte dos inventários florestais tem por objetivo somente a parte comercial de uma floresta, sendo geralmente medidos apenas diâmetros acima de 10 cm ou mais, entretanto o uso de equações de regressão é mais vantajoso, pois são encontradas estimativas de biomassa sem a necessidade de se calcular a variável volume.

Ogawa e Kira (1977) afirmam que estudos sobre biomassa florestal têm principalmente envolvido o uso de alometria entre as diferentes dimensões de uma árvore em conjunto com determinações por meio da técnica de dissecação.

Houghton (1994) salientou que para as estimativas de biomassa não se deve deixar de considerar as árvores menores, vegetação rasteira no solo e vegetação viva abaixo do solo (raízes), devendo-se incluir também a vegetação morta, tanto acima como abaixo do solo, em pé ou caída.

Essa preocupação é também considerada por Fearnside (1994), visto que a maioria dos valores publicados para biomassa muitas vezes escondem inconsistências, tais

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

como os componentes subterrâneos e mortos. O autor, referenciando Brown et al. (1989) comentou que a realização de amostragens destrutivas produzem valores consistentemente mais altos do que as estimativas volumétricas, visto que trabalhos realizados por muitas pessoas podem ser tendenciosos na escolha do local de estudo, e serem pouco representativos, por exemplo, mais densos e menos perturbados que a média real.

Conforme Vanclay (1994), temos equações empíricas no uso de estimativas de biomassa, descrevendo o comportamento da variável resposta ou variável dependente, não identificando as suas causas e sem a explicação dos fenômenos.

Higuchi e Carvalho Júnior (1994) indicam que o ideal é ter um modelo matemático para cada tipo florestal e para cada sítio, sendo que para o caso de estudos de mudanças climáticas a prioridade deve ser dada às áreas mais sujeitas às intervenções.

Na obtenção da massa de matéria seca dos diferentes componentes da biomassa e sua extrapolação para uma unidade padrão ($kg\ ha^{-1}$) é preciso relacionar os dados das massas com caracteres biométricos, tendo assim uma relação chamada “alométrica” (WHITAKKER; WOODWELL, 1971; RUSSO, 1983; KRAPFENBAUER; ANDRADE, 1983).

Com relação ao número de variáveis independentes, Higuchi et al. (1998) citaram que modelos de equações alométricas, com apenas uma variável independente (*DAP*) e apresentaram resultados tão consistentes quanto aos modelos que utilizavam também a altura (*h*).

A maioria das estimativas de biomassa viva acima do solo está baseada em avaliações da estrutura da floresta, com medidas de diâmetro, altura e densidade da madeira. É preciso também conhecer a organização espacial das diferentes manchas estruturais de vegetação, como as clareiras, e as diferentes fitofisionomias existentes. Tais variações são atribuídas aos diferentes tipos de solo, aos nutrientes disponíveis, ao clima, ao regime de distúrbios, ao estágio de sucessão, à posição topográfica e ao uso anterior da terra (CLARK; CLARK, 2000).

Segundo Chave et al. (2005), tendo em vista que as florestas tropicais apresentam aproximadamente 300 espécies em um hectare, a utilização de modelos de regressão em estudos de biomassa neste tipo florestal não são feitos por espécie, e sim por grupos de espécies. Estes autores afirmaram que normalmente as informações dendrométricas são extraídas de um pequeno número de árvores que são derrubadas com uma pequena amplitude diamétrica. Isto explica porque dois modelos produzem estimativas diferentes para um mesmo tipo florestal.

Koehler et al. (2002), estudando biomassa e carbono em uma Floresta Ombrófila Mista, no Paraná, elaboraram um gráfico sobre a relação entre a biomassa

4. Avaliação de Biomassa e Carbono em Sistemas Agroflorestais

total de cada árvore e o seu *DAP* objetivando determinar a amplitude e a forma da relação entre estas variáveis bem como obter uma estimativa inicial da homogeneidade da variância condicional. Construíram também um gráfico da distribuição dos resíduos da equação de regressão ajustada para estimar a biomassa total.

Sanquetta (2002) salientou que no ajuste de equações em estudos de biomassa e carbono, deve-se ter o cuidado sempre de avaliar as melhores equações, por meio da avaliação das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste (erro padrão da estimativa, coeficiente de determinação), além de um exame gráfico do comportamento dos resíduos.

Desta forma, muitas são as técnicas se estimar as equações alométricas para a biomassa. Além do mais, vários são os modelos desta estimativa, porém todos dependem das variáveis dependentes ou dendrométricas da região em estudo.

Como cada equação representa a biomassa para cada situação no campo, os autores mostram muitas equações alométricas para estimativa de biomassa. Brown et al. (1989) citam as equações de regressão para biomassa total acima do solo estimada para floresta em zona úmida (*Y em kg/árvore*) conforme Tabela 3.

Tabela 3. Equações para Biomassa Total Acima do Solo

Fonte: Brown et al. (1989)

Equação alométrica para Biomassa Total acima do solo

Equação	R ²	MSE	Equação
$Y=38.4908 - 11.7883 (D)+1.926 D^2$	0.78	0.06181	(37)
$Y=\exp\{-3.1141 + 0.9719 \ln(D^2H)\}$	0.97	0.1161	(38)
$Y=\exp\{-2.4090 + 0.9522 \ln(D^2HS)\}$	0.99	0.06079	(39)

Na Tabela 4 são apresentadas Equações para Biomassa Total Acima do Solo de diversos autores para floresta. *Y* é a biomassa, o coeficiente de determinação é *R*².

Tabela 4. Equações para Biomassa Total Acima do Solo

Equação	Autor	R ²	Equação
$Y = \exp\{-1,996 + 2,32*\ln(D)\}$	BROWN et al. (1989)	0.89	(40)
$Y = 10^{\{-0,535 + \log(BA)\}}$	MARTINEZ-YRIZAR et al. (1992)	0.94	(41)
$Y = 42,69-12,800 (D) + 1,242 (D)^2$	BROWN et al. (1989)	0.84	(42)
$Y = \exp\{-2,134 + 2,530 * \ln (D)\}$	BROWN (1997)	0.97	(43)
$Y = 21,297 - 6,95 (D) + 0,740 (D)^2$	BROWN; IVERSON (1992)	0.92	(44)

5. A Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

Durante a Eco-92 (Conferência Internacional sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ONU) que aconteceu no Rio de Janeiro em 1992, a UNFCCC (Convenção Quatro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima) finalizou um texto que estabelecia cooperação internacional sobre questões técnicas e políticas relacionadas ao aquecimento global (Pinto et al, 2010). Em 1997, durante a COP-3 (Conferência das Partes da UNFCCC), realizada no Japão, elaborou-se o Protocolo de Quioto, documento que teve como objetivo determinar metas específicas de redução de emissões dos principais gases de efeito estufa em países desenvolvidos que aceitassem ratificá-lo. Porém, o Protocolo de Quioto só entrou em vigor em 2005.

A partir destas discussões, vários mecanismos foram desenvolvidos na busca de reduzir as emissões em diversos países. Neste capítulo, daremos destaque a dois destes mecanismos: o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) e o REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), suas estratégias de implantação e princípios norteadores como a linha de base e adicionalidade.

5.1 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Neste importante momento de debate internacional sobre aquecimento global, é fundamental uma discussão sobre a efetividade do MDL em contemplar estratégias de desenvolvimento rural e de mecanismo de compensação para, por exemplo, a região Amazônica. Nessa perspectiva, este capítulo aponta os entraves inerentes ao MDL para contemplar projetos florestais, principalmente os de pequena escala, dentre eles os baseados em sistemas agroflorestais. Além do mais, colaborando para a demonstração da ineficácia do MDL para reflorestamento, apresentamos as estatísticas dos projetos de MDL no Brasil e na Amazônia para demonstrar que este mecanismo fra-

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

cassou no âmbito do reflorestamento de áreas desmatadas e degradadas na Amazônia e, portanto, um novo mecanismo deve ser apresentado para suprir tal necessidade.

O MDL é um mecanismo criado no âmbito das discussões do Protocolo de Quioto com o objetivo de reduzir os custos de projetos que objetivem a diminuição nas emissões de gases de efeito estufa ou que estimulem mecanismos de sequestro desses gases quando implementados em países em desenvolvimento. Estes objetivos são alcançados através da implantação de tecnologias limpas, gerando os chamados “créditos de emissões” que podem ser vendidos a países que assumiram metas de redução (países do Anexo I²). Os projetos de MDL devem sempre exibir adicionalidade e podem operar em vários setores, tais como:

- a) Fontes alternativas de energia: cogeração, gás natural, geração de energia de pequeno porte (pequenas e micro centrais hidroelétricas), energia eólica, solar térmica, fotovoltaica e biomassa;
- b) Recursos hídricos e compensação ambiental;
- c) Eficiência energética (eletricidade e combustíveis fósseis na indústria, no transporte e em usos públicos);
- d) Planejamento urbano para a redução de emissão de combustíveis;
- e) Manejo sustentável de resíduos industriais urbanos e rurais;
- f) Reflorestamento.

Os projetos de MDL devem utilizar metodologias aprovadas, os resultados devem ser validados e verificados por Entidades Operacionais Designadas (EODs), e devem ser aprovados e registrados pelo Conselho Executivo do MDL. Os projetos devem também ser aprovados pelo governo do país através da Autoridade Nacional Designada, bem como pelo governo do país interessado na compra dos créditos. O Brasil estabeleceu em 1999 a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, que atua como a autoridade nacional designada, AND Brasileira.

Para elaborar um projeto de MDL, algumas implicações devem ser seguidas:

- a) Devem ser usadas metodologias consistentes ao longo do tempo para estimativa e relato de tais atividades;

² De acordo com o artigo 3.1 do Protocolo de Quioto, o Anexo I contempla 40 países desenvolvidos e em transição para economias de mercados que devem reduzir suas emissões totais de GEE, chegando a uma média de 5,2% abaixo das emissões de 1990.

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

- b) O teor destas atividades deve basear-se em ciência sólida, já comprovada;
- c) A mera presença de estoques de carbono deve ser excluída da contabilidade da redução das emissões;
- d) A implementação das atividades com Uso da Terra, Mudanças de Uso da Terra e Florestas (*LULUCF*, da sigla em inglês) deve contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais.

Dados do MCT e UNFCCC revelam que os países em desenvolvimento com maior crescimento econômico estão entre os principais atores que participam das atividades no âmbito do MDL. São eles a China, a Índia e o Brasil, como mostrado no gráfico 1.

A China tem 37% de todos os projetos mundiais, seguida pela Índia que participa com 28% do total e o Brasil com 8%, ocupando a terceira posição com a redução de 367.382.059 tCO₂e, o que equivale a 6% do total mundial para o primeiro período de obtenção de créditos.

No caso brasileiro, 29% dos projetos de MDL até 2009 foram para reduzir CH₄, e 56% para a redução de CO₂. O estado que lidera este ranking brasileiro é São Paulo.

A Tabela 5 apresenta o número de projetos de MDL no Brasil até dezembro de 2009. No Brasil, o setor de energia ainda lidera os projetos de MDL, enquanto reflorestamento apresenta menos de 1% do total de projetos. O setor de reflorestamento não é um dos mais procurados para se implementar projetos deste tipo no Brasil, apesar do grande mercado de carbono e da grande quantidade de carbono que se pode estocar em uma floresta como a Amazônia brasileira. Isso ocorre porque o MDL florestal apresenta vários entraves; é preciso comprovação da adicionalidade do projeto em relação a uma linha de base, ou seja, é preciso provar que o projeto promoveu a redução das emissões ou o sequestro de carbono. No caso de reflorestamentos, este processo é demorado, difícil de monitorar e comprovar, além de caro. Por isso, o MDL florestal ainda é uma experiência de pouco sucesso.

Além dessas dificuldades, alguns autores colocam que a quantidade limitada de recursos investidos neste fim, uma vez que muitos países não ratificaram o Protocolo de Quioto. Com menor número de envolvidos, aumenta-se a disputa do mercado no âmbito do MDL, dificultando o acesso para projetos de reflorestamento.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas do Mercado de Carbono (ABE-MC), o tipo mais comum de projetos de MDL no Brasil é o de cogeração do bagaço da cana em usinas de açúcar e álcool. Grande parte das usinas está concentrada na

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

Região Sudeste, em especial em São Paulo. O segundo lugar no ranking do mercado de carbono é ocupado pelo estado de Minas Gerais, seguido do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Goiás. As regiões Norte e Nordeste são as que têm menor representatividade no ranking.

Gráfico 1. Principais Países com atividades de MDL

Fonte: MCT; UNFCCC (2009)

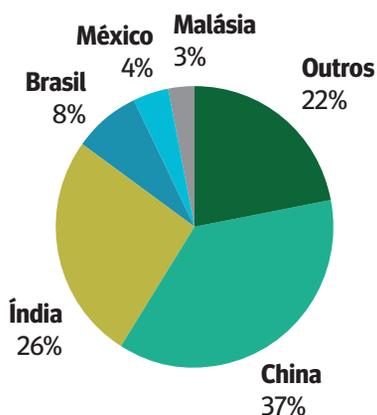


Gráfico 2. Atividades de Projetos de MDL no Brasil por tipo de GEE

Fonte: MCT (2009)

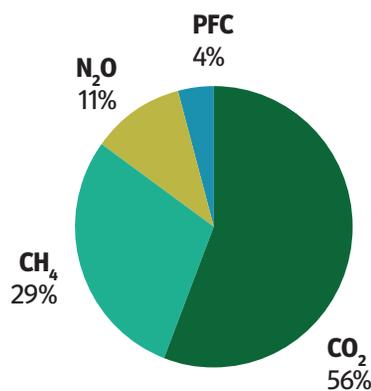


Tabela 5. Projetos de MDL no Brasil até dezembro de 2009

Fonte: MCT (2009)

Projetos em Validação/Aprovação	Número de Projetos	Número de Projetos	Redução Anual de Emissão
Energia Renovável	206	49%	38%
Suinocultura	67	16%	8%
Troca de Combustível Fóssil	43	10%	7%
Aterro Sanitário	36	9%	24%
Eficiência Energética	28	7%	4%
Resíduos	17	4%	1%
Processos Industriais	14	3%	2%
Redução de N ₂ O	5	1%	14%
Reflorestamento	2	0,5%	1%
Emissões Fugitivas	2	0,5%	0,1%

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

Na Amazônia brasileira, a distribuição das iniciativas de MDL, como no resto do Brasil, esteve concentrada no setor de energia: 58% de todos os projetos de MDL na Amazônia são do setor de energia de fontes renováveis e não renováveis.

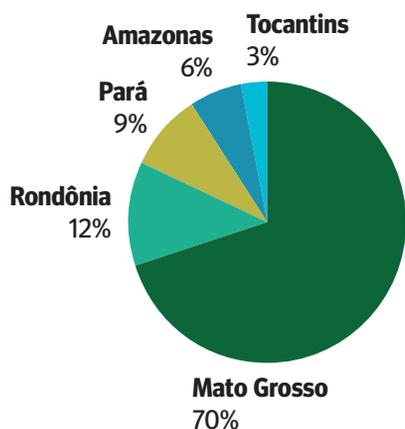
Ainda na Amazônia, a maioria dos projetos concentra-se no estado de Mato Grosso, com 23 projetos de MDL e cerca de 70% de todos os projetos de MDL para a Amazônia. Rondônia está em segundo lugar com 12% dos projetos do bioma, seguido do Pará, com 9% dos projetos.

Um dos projetos de MDL do estado do Pará está instalado no município de Paragominas e objetiva trabalhar com resíduos de madeira serrada para geração de energia, madeira esta fruto de desmatamento na região em períodos anteriores. O Gráfico 3 ilustra os projetos de MDL distribuídos na Região Amazônica. Nota-se, pois que a Amazônia não apresenta nenhum projeto de MDL que contemple reflorestamentos.

Ainda não existem incentivos explícitos sobre o MDL para evitar o desmatamento. A combinação de incentivos financeiros para o plantio de novas florestas e a inexistência de incentivos ou incentivos insuficientes para preservar a floresta (tropical) existente pode encorajar um comportamento perverso, com as florestas sendo derrubadas para logo serem replantadas. Sem um mecanismo que valorize a floresta em pé, a floresta apresenta potencial de ser desmatada, sobretudo nas áreas de fronteira agropecuária da Amazônia Brasileira (FOX, 2007).

Gráfico 3. Projetos de MDL distribuídos na Região Amazônica até dezembro de 2009

Fonte: Greco et al. (2008)



Considerando as dificuldades do MDL florestal, foi preciso criar um novo mecanismo de valoração das florestas, principalmente as florestas tropicais, as quais apresentam altas taxas de desmatamento. Neste contexto, surge a ideia de valorizar a floresta em pé, uma vez que é mais rápido, barato e eficiente preservar os estoques do que reflorestar novas áreas. Assim, surge o REDD, cuja sigla é traduzida como Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, explicado a seguir.

5.2 Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD

A dinâmica econômica global relacionada à agroindústria e mesmo a produção de pequenos agricultores indica que floresta só fica em pé quando o custo da derrubada ou os ganhos com a conservação tornam-se maiores do que o ganho potencial com a manutenção para outros usos. Sem quebrar esta relação, conservar grandes áreas com florestas tropicais será muito difícil. Este certamente é o desafio maior para o estabelecimento de uma economia sustentável e ambientalmente saudável na Amazônia e em outras regiões tropicais. Neste sentido, o mecanismo econômico mais poderoso para financiar políticas que visem à conservação de grandes extensões de florestas tropicais, talvez esteja calcado em commodities não visíveis, mas reais, tais como os serviços ambientais prestados pela floresta em pé. Nos tempos atuais de aquecimento global, o serviço ambiental mais valioso é aquele que resulta da não emissão de gases de efeito estufa através da conservação de estoques de carbono florestais. (MOUTINHO, 2009).

A discussão sobre REDD teve início em 2003, durante a COP-9, em Milão. Naquela ocasião, um grupo de pesquisadores coordenado pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) lançou a proposta que ficou conhecida como “Redução Compensada do Desmatamento” a qual pregava que os países em desenvolvimento que se dispusessem, voluntariamente, e conseguissem promover reduções das emissões nacionais oriundas de desmatamento, receberiam compensação financeira internacional correspondente às emissões evitadas (SANTILLI et al., 2005; MOUTINHO; SCHWARTZMAN, 2005; MOUTINHO et al., 2009). O valor a ser recebido teria como referência o preço do carbono no mercado. Um mecanismo assim, dirigido às nações em desenvolvimento que detêm florestas tropicais, permitiria que estas participassem efetivamente dos esforços globais de redução de emissões de gases de efeito estufa, já que o desmatamento evitado não foi incluído no Protocolo de Quioto (MOUTINHO; SCHWARTZMAN, 2005).

O marco fundamental para REDD foi alcançado na COP 11 em Montreal em 2005 quando Papua, Nova Guiné e Costa Rica, apoiados por oito outras partes propuseram um mecanismo para Redução das emissões por desmatamento nos países em desenvolvimento. A proposta recebeu amplo apoio das partes; a COP estabeleceu um grupo de contatos e posteriormente, iniciou um processo de dois anos para explorar opções para REDD. Esta decisão resultou em uma ampla gama

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

de partes e observadores ao longo deste período enviando propostas e recomendações para o órgão subsidiário no Conselho de Ciência e Tecnologia (SBSTA) para reduzir as emissões de gases (GEE) de efeito estufa provenientes do desmatamento e da degradação (PARKER et al., 2009).

O REDD foi instituído como possível mecanismo para tratar as emissões via desmatamento pelo chamado Mapa do Caminho de Bali, lançado após a COP 13, onde ficou definido que REDD deveria envolver ações de: (1) redução de emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal nos países em desenvolvimento, (2) o papel da conservação florestal, (3) manejo sustentável das florestas e (4) do aumento dos estoques de carbono das florestas nos Países em desenvolvimento (MOUTINHO, 2009), o chamado REDD+.

A ideia básica por trás de redução das emissões de desmatamento e degradação (REDD) é simples: países que estão desejosos e são capazes de reduzir as emissões provenientes de desmatamento deverão ser compensados financeiramente. Abordagens anteriores para travar o desmatamento global até agora foram mal sucedidas, contudo, e REDD proporciona um novo quadro para permitir aos países com desmatamento de quebrar esta tendência histórica (PARKER et al., 2009).

Embora uma fiscalização ostensiva e uma legislação de primeira sejam fundamentais em qualquer política que queira extinguir o desmatamento na Amazônia brasileira, estas ferramentas parecem não ser suficientes para tanto. Hoje, na Amazônia, ainda se ganha mais derrubando a floresta do que a preservando. Alterar esta lógica econômica que se sustenta na continuidade do desmatamento é, portanto, fundamental. Encontrar uma compensação econômica pela decisão de não desmatar e/ou preservar florestas pode ser o caminho. Sem isto, áreas florestadas não terão nenhum atrativo econômico frente a outros usos da terra (MOUTINHO, 2009).

O Brasil é o país mais bem-posicionado para se beneficiar de um programa de REDD que seja sustentado pelos mecanismos de mercado. Dois terços das emissões anuais de carbono do Brasil provêm do desmatamento, especialmente daquele ocorrido na Amazônia. O Brasil, ainda, é uma liderança mundial no desenvolvimento de técnicas inovadoras para a conservação das florestas, como demonstrado pelo sistema de monitoramento de desmatamento construído e mantido pelo INPE (NEPSTAD et al., 2009).

Com o REDD, o Brasil teria a possibilidade de obter vantagens econômicas relevantes com um novo tipo de comércio: o de serviços ambientais. O potencial de um mercado de REDD, assim como já preconizado pelo MDL (Mecanismo de

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

Desenvolvimento Limpo) do Protocolo de Quioto, poderia gerar recursos num volume centenas de vezes maior do que aquele obtido através de doações, como quer o governo do Brasil através do Fundo Amazônia (MOUTINHO, 2009).

A compensação aos povos da floresta pela conservação florestal pode vir de várias formas. Entre elas estão incentivos econômicos para atividades de exploração sustentável de recursos da floresta, melhorias na saúde e na educação, apoio técnico e compensações pela manutenção e defesa que fazem dos perímetros de suas florestas, defendendo-as das invasões frequentes (NEPSTAD et al., 2009).

Os Programas de REDD+ dependerão de uma governança efetiva nas regiões de florestas, especialmente nas mais remotas, e de um sistema equitativo e eficiente para direcionar incentivos a conservação florestal e seu uso sustentável. A chave do sucesso será a constituição de uma estrutura capaz de distribuir os benefícios, na forma de compensações para aqueles que controlam áreas com florestas tropicais.

Assim, o trabalho aqui apresentado visa incluir Sistemas Agroflorestais com cacau, na região da rodovia Transamazônica para o âmbito do REDD, considerando os serviços ambientais prestados por estes sistemas. A proposta de substituição de áreas desmatadas e degradadas pela implementação de SAF na região Amazônica não traz somente o benefício da geração de renda ao agricultor, mas também a possibilidade de propiciar a manutenção da biodiversidade, a manutenção do ciclo da água na região e manutenção de nutrientes no solo.

Segundo Fearnside (1996) o início de projetos agroflorestais exige que meios sejam fornecidos para os agricultores garantirem sustento até que as árvores comecem a produzir colheitas. Neste contexto, REDD pode contribuir.

5.3 Linha de Base e Adicionalidade

Para compreender MDL e REDD, é fundamental entender alguns mecanismos, tais como **linha de base** e **adicionalidade**. Ambos estão descritos na sequência.

5.3.1 Linha de Base

A linha de base é a média da taxa referência de desmatamento num determinado período e é fundamental para mensurar a mudança na dinâmica do desmatamento em diferentes contextos.

No caso do MDL, conforme Rocha et al. (2004), a linha de base de um projeto é o cenário que, razoavelmente, representa a soma das mudanças nos estoques

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

de carbono nos reservatórios dentro dos limites do projeto que teriam ocorrido na ausência das atividades do projeto propostas.

Para o estabelecimento de projetos de MDL, alguns passos devem ser seguidos. Dentre estes passos há o estabelecimento de uma linha de base para emissões de carbono. Em pequenos projetos florestais de MDL, se a expectativa da linha de base permanece igual ou menor na ausência do projeto, assumir-se-á que as mudanças nos estoques de carbono serão iguais a zero (Fox, 2007). Caso contrário, é proporcionada uma equação específica para calcular esse aumento, utilizando variáveis de densidade, de volume e de fator de expansão da biomassa. Variáveis desenvolvidas localmente ou nacionalmente são utilizadas se estiverem disponíveis. Caso contrário, a UNFCCC proporciona ‘valores-padrão’ para serem utilizados nesse estágio do processo.

No âmbito do REDD, CGEE e IPAM (2011) definem a linha de base de um projeto como o cenário que representa o nível das emissões/remoções antrópicas de CO₂ equivalente que ocorreriam na ausência do projeto. Comentam ainda sobre a viabilidade técnica de mecanismos de compensações por redução de emissões oriundas de desmatamento e degradação florestal (REDD). Pode-se tanto adotar uma linha de base futura ou histórica. Isto é, reduzir o desmatamento previsto no futuro (baseado em projeções futuras) ou reduzir o desmatamento a taxas abaixo daquelas registradas no passado. Porém, se REDD for um mecanismo que compensa países pelos seus esforços de redução de desmatamento, como parece ser a tendência nos debates da UNFCCC, então uma linha histórica deverá ser adotada, pois o cálculo será baseado em dados registrados e não projetados. É o que segue, por exemplo, o Fundo Amazônia. Este raciocínio serve bem aos países com altas taxas de desmatamento, mas não àqueles que não desmatam, como é o caso de Guiana e Gabão, por exemplo, com taxas de desmatamento abaixo de 0,2% por ano. Neste caso, já existem sugestões para contornar tal situação, como a proposta de “estoque-fluxo e metas”.

CGEE e IPAM (2011) narram que conforme o que está preconizado no Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) em relação às metas para as taxas de desmatamento na Amazônia Brasileira, o governo propôs reduzi-las em 80% até 2020, e que a redução dos índices do desmatamento em 42% em cada período de 5 anos até 2020 foi compromisso voluntário do governo brasileiro assumido em Copenhague. Assim, a linha de base de 1996 a 2005 deverá ser revisada a cada cinco anos conforme a Gráfico 4.

A constituição de linhas de base robustas e uma contabilidade de redução de emissões numa escala nacional têm relação direta com a possibilidade de se utilizar mecanismos de mercado (geração de créditos) num futuro regime nacional de REDD. Se não for possível a comparação de uma redução de emissões com um re-

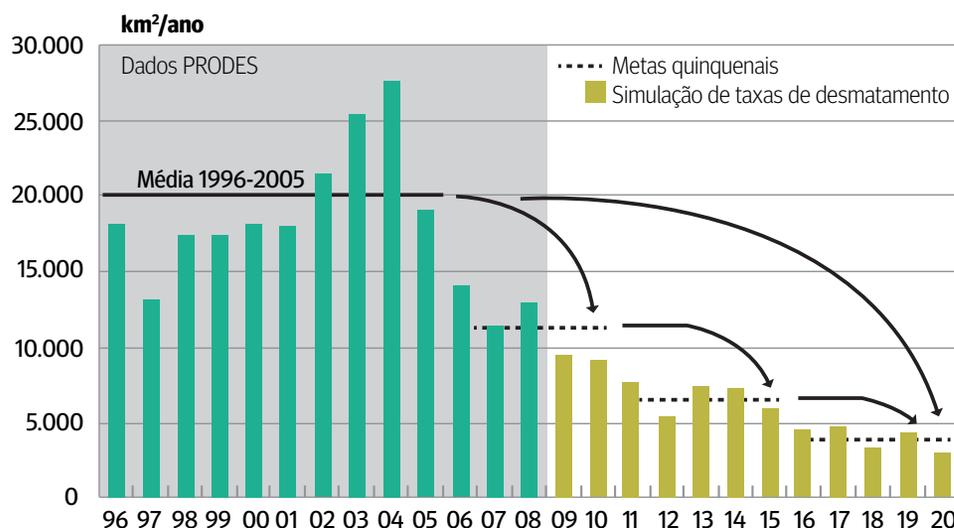
5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

ferencial (linha de base nacional, ou até mesmo amazônica) não haverá fundamento para emissão de créditos de REDD, até mesmo na escala de projetos. Portanto, será crucial avaliar como a estratégia nacional de REDD abrigará, dentro de uma única lógica contábil de redução de emissões, as ações subnacionais (estados, por exemplo) e os projetos de pequena escala (CGEE; IPAM, 2011).

CGEE e IPAM (2011) a linha de base para o Fundo Amazônia, está ligada à captação e para fixar os limites anuais dessa captação, foi desenvolvido um parâmetro denominado Taxa de Desmatamento Médio (TDM), que é determinado pelas reduções de emissões oriundas do desmatamento na Amazônia brasileira a cada ano. A redução de cada ano verificado será confrontada com a TDM de períodos de 10 anos (uma linha de base). Essa média de 10 anos será atualizada a cada cinco anos. Assim sendo, a TDM 1996-2005 será confrontada com as Taxas de Desmatamento anuais (TD) de 2006 a 2010. Já nos períodos subsequentes, como por exemplo, de 2011 a 2015, as taxas de desmatamento anuais serão confrontadas com TDM de 2006 a 2010. Algumas questões transversais são relevantes para todas as abordagens de linha de base, tais como o período que pode acumular créditos de emissão e se a linha de base é fixada ou não no início do projeto (estático) ou revista durante a

Gráfico 4. Meta do governo brasileiro para reduzir os índices do desmatamento até 2020.

Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011)



5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

operação do projeto (dinâmico). Linhas de base estáticas são previsíveis e reduzem a incerteza em torno do nível de créditos gerados a partir de um projeto.

É fato que a questão de linha de base é essencial para se definir as reduções de emissão, bem como o monitoramento, que está intimamente ligado à linha de base. Não adianta monitorar variáveis não relacionadas à linha de base, nem definir e calcular a linha de base de uma forma que não possa ser monitorada (SOUZA, 2005).

CGEE (2008) trata da estimativa da remoção líquida de gases de efeito estufa na linha de base mostrando que a remoção líquida desses gases por sumidouros na linha de base será determinada pela equação 45:

$$B_t = \sum_{i=1}^I (B_{A(t)i} + B_{B(t)i}) * A_i \quad (45)$$

em que $B(t)$ são estoques de carbono nos reservatórios de biomassa viva dentro das fronteiras do projeto no tempo t na ausência das atividades do projeto (tC); $B_{A(t)i}$ são estoques de carbono na biomassa acima do solo no tempo t do estrato i na ausência das atividades do projeto (tC/ha); $B_{B(t)i}$ são estoques de carbono na biomassa abaixo do solo no tempo t do estrato i na ausência das atividades do projeto (tC/ha); A_i é a área do estrato i na área das atividades do projeto (ha).

Para biomassa acima do solo $BA(t)$ é calculado por estrato i como a seguir conforme a equação $BA(t)=M(t)*0.5$, em que $BA(t)$ são estoques de carbono na biomassa acima do solo no tempo t na ausência das atividades do projeto (tC/ha); $M(t)$ é a biomassa acima do solo no tempo t que teria ocorrido na ausência das atividades do projeto, e 0,5 é a fração de carbono na matéria seca (CGEE, 2008).

Os valores para $M(t)$ devem ser estimados utilizando as taxas médias de incremento de biomassa específicas para a região e a idade da vegetação não-arbórea. Na ausência desses valores regionais, devem ser utilizados valores nacionais. Na ausência deles, os valores devem ser obtidos conforme o Guia de Boas Práticas do IPCC para LULUCF.

Somente haverá compensação financeira para REDD, seja por fundos públicos ou privados ou pelo mercado de carbono, se houver reduções de desmatamento em escala nacional, cuja contabilidade seja também nacional. De nada adianta um ou vários bons projetos locais de redução de emissões por desmatamento, como tem sido a tendência recente na Amazônia e em outros países tropicais, se a taxa nacional de desmatamento aumentar no país como um todo. Por mais desempenho que um projeto de REDD apresente tal projeto só poderá ser avaliado como positivo se efetivamente

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

estiver incluído em um regime nacional de redução de emissões. Para que este desempenho seja aferido numa escala nacional (ou amazônica, num primeiro momento), o Brasil adotou uma linha de base ou de referência para contabilizar suas reduções de emissões por desmatamento, particularmente na Amazônia. Esta linha de base nada mais é do que a média dos desmatamentos históricos entre os anos de 1996 e 2005, equivalentes a 19,5 mil km² (a mesma operada dentro do Fundo Amazônia e PNMC, anteriormente explicada). Esta linha de base é revisada a cada cinco anos. O mesmo raciocínio está sendo feito pelos estados amazônicos que já assumiram metas de redução de desmatamento (AC, MT, PA e AM). Cada um deles estabelece uma linha de base histórica do desmatamento e medem os seus respectivos desempenhos comparando as reduções ocorridas a cada ano em relação à linha de base (CGEE; IPAM, 2011).

Na Tabela 6 é apresentada a Linha de Base estabelecida pela PNMC que é uma referência atual para a Linha de Base nacional para os que se enquadram em projetos em defesa de atitudes que sejam contrárias as mudanças climáticas.

Tabela 6. Linha de Base estabelecida pela PNMC

Fonte: CGEE; IPAM (2011)

Ano	Linha de Base
2006	19.533
2007	19.533
2008	19.533
2009	19.533
2010	19.533
2011	11.929
2012	11.929
2013	11.929
2014	11.929
2015	11.929
2016	6.571
2017	6.571
2018	6.571
2019	6.571
2020	6.571
TOTAL	187.165

CGEE e IPAM (2011) referem-se a modelos para um Plano Nacional de REDD com algumas etapas que deveriam ser percorridas até que as compensações via REDD, chegassem aos programas e projetos estaduais. Neste modelo de distribuição dos benefícios, o sistema federal de REDD contabilizaria, através do PRODES/INPE, as reduções ocorridas no desmatamento amazônico (e futuramente em outros biomas) para um determinado período.

CGEE e IPAM (2011) desenvolveram um segundo modelo de distribuições de benefícios em um mecanismo de REDD. Neste segundo modelo, a distribuição dos benefícios seria pautada em categorias fundiárias, considerando que diferentes categorias fundiárias exerçam, de maneira diferenciada, influência sobre o desmatamento e a conservação florestal. Como previsto na PNMC, esta linha de base seria ajustada (reduzida em 42% em relação ao período anterior) a cada período de cinco anos (2011-2015 e 2016-2020). Assim, para cada período, a linha de base correspondente, seria então desagregada por categoria fundiária.

5. Mecanismos Internacionais para Contenção de Emissões – (MDL E REDD)

A contribuição, portanto, para a redução do desmatamento anual de uma determinada categoria fundiária seria obtida subtraindo-se a taxa de desmatamento indicada pelo PRODES para aquela categoria do seu respectivo desmatamentos histórico. Assim, o desmatamento evitado para cada categoria fundiária, por ano, seria calculado subtraindo o valor de linha de base pelo desmatamento real (até 2009) ou pela meta estabelecida pela PNMC (isto é, a partir de 2010).

5.3.2 Adicionalidade

Adicionalidade consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de CO₂ de forma adicional ao que ocorreria na ausência de uma atividade de projeto ou ação de REDD. (CGEE; IPAM, 2011).

Segundo Anderson (2009), é importante demonstrar que as reduções de emissões causadas por uma iniciativa REDD são maiores do que as que teriam ocorrido na ausência da iniciativa. Para atender às exigências de adicionalidade, o Brasil estabeleceu uma linha de base definida pela taxa média histórica do desmatamento na Amazônia Legal ao longo de uma década (1996-2005). As reduções no desmatamento são medidas em relação à linha de base.

6. Mercado

A partir da quantificação do carbono da biomassa florestal, é possível estimar quanto carbono existe em determinada área e, partir daí, incluir este carbono em um mecanismo de mercado. A busca de tornar o carbono estocado em um bem a ser transacionado pelo mercado ainda é muito instável e insipiente. Minimizar o desmatamento requer a criação de uma lógica diferente para a produção de forma que compatibilize a conservação da floresta e rentabilidade ao produtor.

Considerando que os serviços ambientais que as florestas promovem podem ser objetivos de remuneração, ou seja, pode haver o Pagamento pelo Serviço Ambiental (PSA) prestado, sistemas agroflorestais podem ser considerados atividades promotoras de serviços ambientais, e garantir a remuneração de produtores que optarem por este tipo de produção sustentável.

6.1 Conceitos sobre Mercado

No trabalho aqui descrito, foi feita uma avaliação do carbono contido em Sistemas Agroflorestais com cacau, na região da rodovia Transamazônica. Considerou-se o sequestro de carbono que estes SAFs realizam, sendo esta uma atividade sustentável e que pode ser disseminada em outras regiões do bioma. Além disso, o SAF é uma alternativa de produção sustentável que pode substituir outras atividades predatórias à floresta como a agricultura de corte e queima e a pecuária extensiva. Assim, estes sistemas podem ser considerados dentro de uma abordagem de REDD+.

6.1.1 O Modelo de Oferta

A decisão do produtor em ofertar um produto depende diretamente do preço do produto. Em resposta a aumentos de preços permanentes, os produtores am-

6. Mercado

pliam a quantidade ofertada do produto, mantendo todas as demais variáveis que influenciam a oferta constante. Então, na expectativa de aumentar o lucro, dado o aumento no preço do produto, os produtores decidem ampliar a produção.

A relação entre quantidade ofertada e preço geralmente é positiva, expressa como Lei da Oferta. Isto significa que um aumento no preço está associado a um aumento na quantidade ofertada.

6.1.2 O Modelo de Demanda

O consumidor tende a demandar uma maior quantidade de um produto em resposta a diminuição nos preços do referido produto, mantendo as demais variáveis que influenciam a demanda constantes.

As variáveis chaves que são mantidas constantes quando se especifica a demanda são a renda do consumidor, os preços dos bens relacionados (i.e. substitutos e complementos), preferências, e expectativa de preços. Uma mudança em qualquer uma destas variáveis altera toda a relação preço-quantidade, o que representa uma mudança na demanda. Isto é distinto do efeito no consumo de uma mudança de preço, o que causa somente uma mudança na quantidade demandada (CALLAN; THOMAS, 2007).

6.1.3 O Equilíbrio de Mercado

Ao falar de equilíbrio de mercado para as ações de políticas públicas consideramos o desenvolvimento de modelos distintos de mercado. De outro lado, para o modelo de preços, a oferta e a demanda são consideradas ao mesmo tempo. Segundo Callan e Thomas (2007), para desenvolver um modelo de determinação de preço, devemos considerar oferta e demanda simultaneamente para captar a interação entre os consumidores e produtores no mercado.

6.1.4 Medidas de Bem Estar

Sob a égide do paradigma da economia neoclássica, a natureza do problema ambiental para a ciência econômica tem vinculação direta com a chamada “Economia do Bem-Estar” (PIGOU, 1920).

Sob o campo teórico da Economia do Bem-Estar os assuntos relativos ao meio ambiente são considerados como externalidades (DINIZ, 2008).

Em economia, um importante objetivo é estimar os ganhos e as perdas para a sociedade, associados a algum evento que altera o preço de mercado. O modelo de oferta e de demanda oferece a informação necessária para conduzir estas análises, usando conceitos conhecidos como excedente do consumidor e o excedente do produtor. Comparando estas medidas antes e depois da perturbação do mercado, é possível quantificar como a sociedade foi afetada. O excedente do consumidor é uma medida do benefício médio acumulado pelos compradores de um bem. O excedente do consumidor depende de duas noções de preço distintas – uma que mede a disposição a pagar e outra que mede o que realmente é pago. As séries dos preços que os consumidores estão dispostos a pagar para várias quantidades do bem são aquelas que definem a curva de demanda. Cada preço de demanda mede o benefício marginal (*BM*) do consumo. Reciprocamente, o preço que o consumidor pode realmente pagar é o preço (*P*) de mercado reinante determinado pela demanda e pela oferta. Há duas grandes diferenças entre estes preços. Primeiramente, eles têm determinantes diferentes. O preço da demanda (*BM*) é determinado unicamente pela demanda, uma espécie de preço psíquico baseado na forma como os consumidores valoram um bem. De outro lado, o preço (*P*) de mercado surge das forças da oferta e da demanda e é conduzida pelos incentivos do produtor e do consumidor. Segundo, embora exista uma serie completa de preços de demanda, há somente um preço de mercado incumbido de todas as unidades vendidas. O resultado é um único preço de mercado determinado, onde todas as unidades são vendidas por aquele preço simples, mesmo para aqueles que o preço de demanda seja muito alto. Conseqüentemente, os consumidores recebem um benefício excedente para cada unidade adquirida para um preço de demanda que excede o preço de mercado (CALLAN; THOMAS, 2007).

6.1.5 As Falhas de Mercado

Numa situação em que o mercado não faz uma alocação eficiente de recursos de modo a atingir a maior satisfação possível dos consumidores, temos a existência de uma falha de mercado. As quatro grandes falhas de mercado são reconhecidas como bens públicos, externalidades, informação imperfeita e mercados incompletos. Em qualquer um dos casos, o mercado ao atuar sem qualquer intervenção governamental não atribui a quantidade eficiente de recursos às atividades de produção/distribuição/consumo (SOUZA, 2000).

6. Mercado

O mecanismo de mercado conduz os agentes econômicos para uma situação ótima do ponto de vista da eficiência. Hoje, contudo, com os problemas ambientais que surgem, como as mudanças climáticas e a emissão de gases de efeito estufa, este princípio apresenta algumas limitações, pois apenas pode ser aplicado em situações de concorrência perfeita em que não se verificam quaisquer falhas de mercado. De fato, falhas de mercado como as situações de concorrência imperfeita ou a existência de externalidades obrigam que haja uma intervenção do Estado para garantir o estabelecimento de uma ordem para a defesa do meio ambiente de forma a corrigir ou minimizar o impacto dessas falhas de mercado.

De acordo com o modelo de fluxo circular, livres mercados provêm bens e serviços ofertados ao mercado, também resolvendo déficits e superávits, e eliminando a ineficiência através do mecanismo de preços – todos sem intervenção do governo. Este é um resultado singular, dado que os consumidores e os produtores não estão motivados por metas filantrópicas, mas são guiados pelos seus próprios interesses.

No caso do avanço no desmatamento e degradação da floresta amazônica, por exemplo, uma alternativa é a intervenção no mercado para tentar equilibrar ou diminuir uma externalidade, isto é, uma falha de mercado.

Segundo Diniz (2008 apud MARGULIS, 1996) no caso dos “bens ambientais” (fauna, flora, água, ar...), uma vez que assumem características de bens públicos são considerados de consumo “não-rival”, ou seja, a quantidade do bem que uma pessoa consome em nada afeta a quantidade disponível para outros; e/ou a não aplicação do “princípio da exclusão” (um indivíduo não pode ser excluído de consumir um bem), tem como consequência, uma deficiência na aplicação dos direitos de propriedade sobre os mesmos, o preço não se torna mais uma boa medida da avaliação marginal dos benefícios do consumo desses bens, ocorrendo assim, uma falha no sistema de preços de mercado.

De uma perspectiva econômica, os problemas ambientais persistem porque implicitamente violam inteiramente as suposições de funcionamento do mercado. Os mecanismos de incentivo que normalmente alcançam uma solução são ineficientes na operação, e o governo acaba por ter que intervir. Entretanto, se a falha de mercado é entendida, os incentivos podem ser restituídos através de uma política de meio ambiente. Conceitualmente, a ideia é investigar as condições causadoras da quebra do sistema de preços, fazer os ajustes necessários para as condições fundamentais, e assim deixar a força de mercado encontrar a solução (CALLAN; THOMAS, 2007).

6.1.6 Falhas de Mercado e Problemas Ambientais

A teoria da Microeconomia clássica prevê uma saída eficiente, dadas as suposições sobre preço, definição do produto, condições de custo, e barreiras de entrada. Se qualquer uma destas suposições fracassa em continuidade, as forças de mercado não podem operar livremente. Dependendo de qual suposição é violada, o resultado será de qualquer número de condições de mercado ineficiente, coletivamente chamada de falhas de mercado. Isto inclui competição imperfeita, informação imperfeita, bens públicos e externalidades. Por exemplo, se consentirmos a suposição de liberdade da entrada no modelo competitivo, alguns graus da força de mercado serão produzidos. Se isso ocorre, o bem estar social irá declinar, e os recursos serão alocados de forma ineficiente (CALLAN; THOMAS, 2007).

Sendo a falha de mercado proveniente de externalidade, temos custos e/ou benefícios de uma transação que não se refletem plenamente no preço de mercado.

Segundo Callan e Thomas (2007), os problemas ambientais modelados pelos economistas como as falhas de mercado utilizam duas formas de avaliação: a teoria dos bens públicos e a teoria das externalidades. Cada forma de avaliação se distingue da outra pela maneira de como o mercado é definido.

- a) Se o mercado é definido com uma “qualidade ambiental” assim a fonte de falha de mercado, aquela qualidade ambiental é um bem público.
- b) Se o mercado é definido como um bem cuja produção ou consumo gera danos ambientais, então a falha de mercado é devido a uma externalidade.

Desta forma, cada um destes modelos inspira ou sugere um conjunto de soluções, e as teorias não são totalmente sem relação. No contexto dos problemas ambientais, ambas são bem comuns.

6.1.7 As Externalidades e os Problemas Ambientais

Um outro modo de modelar problemas ambientais é através da teoria da externalidade. Em vez de definir o mercado como abatimento de qualidade ambiental ou poluição, essa aproximação especifica o mercado relevante para um bem cuja produção ou consumo gera danos ambientais fora do mercado de transação. Qualquer efeito que é externo ao mercado é apropriadamente chamado de externalidade.

6. Mercado

No caso da Amazônia, o desmatamento ainda ocorre em larga escala. Nos últimos anos, observa-se o avanço do desmatamento em polígonos menores. Isso ocorre porque o padrão de produção no bioma ainda é baseado na agricultura de corte e queima e na pecuária extensiva. Mesmo muitas vezes sabendo dos benefícios que a floresta em pé proporciona, este não pode deixar de avançar com a produção em prol de um bem-estar geral da sociedade global. O produtor precisa de renda, e a floresta em pé precisa ser mais atrativa economicamente do que sua derrubada para o avanço da produção. Deve-se, pois, chegar a um “preço de equilíbrio”, para que a conservação ambiental consiga competir com a troca ou substituição da atividade. Assim, o preço de equilíbrio deve ser o que gera um benefício extra ou benefício externo diante de uma falha de mercado.

A teoria da microeconomia diz que o preço é o mecanismo de sinalização mais importante no processo de mercado. As falhas de mercado tais como aquelas que ocorrem quando há uma terceira parte são afetadas pela produção ou consumo de uma *commoditie*. Tal efeito de terceira parte é chamado de externalidade. Se um efeito externo gera custos para uma terceira parte, este é uma externalidade negativa. Se o efeito externo gera benefícios para uma terceira parte, este é uma externalidade positiva.

Num sentido de complementariedade a análise de Pigou (1920) sobre externalidades ambientais e as diferenças entre custos (ou benefícios) privados e sociais dentro do fenômeno das externalidades, Dasgupta (1990), acrescenta que os problemas ambientais têm que levar em conta as dificuldades analíticas relacionadas com o tempo, incertezas, e a difusão de informações assimétricas, e aquelas envolvendo um pequeno número de agentes econômicos. Os problemas ambientais têm suas próprias características, refletidas não só pelas próprias especificações naturais dos recursos estudados, mas também por sua locação, no tempo em questão e no contexto socioeconômico em que ele ocorre.

As externalidades de interesse dos economistas são as que causam dano à atmosfera, fornecimento de água, recursos naturais, e a qualidade de vida global. O caso clássico é o da externalidade negativa associada à produção. Por exemplo, o transporte aéreo causa poluição sonora, danos à qualidade do ar, e redução dos valores de propriedades residenciais. Estes são custos reais que não são absorvidos pelas linhas aéreas ou pelos transportadores aéreos. Porque estes custos são gerados por elementos de fora da transação de mercado, eles não são capturados no preço dos valores do transporte aéreo. As externalidades ambientais também podem estar associadas com o consumo.

No caso, por exemplo, da emissão de gases de efeito estufa, temos uma externalidade negativa associada à produção. A emissão de gases gera o efeito estufa, e, assim, aumenta a temperatura do planeta e causa danos ao clima global. Este aumento de temperatura global causa danos irreparáveis que refletem estragos a ecossistemas do planeta, gerando custos de reparação a regiões do globo muito distantes do seu gerador. Tais custos não são absorvidos por seus geradores.

De outro lado, por exemplo, temos também externalidades associadas ao consumo que geram emissão de gases de efeito estufa, causando também danos ao clima global. Estes custos das emissões de CO₂, não sendo absorvidos por seus geradores, que são custos de fora da transação de mercado das empresas, não são arrolados no preço dos valores dos produtos.

Considere o REDD para SAFs que estão implantados para não somente gerar renda para os produtores rurais, mas também para estoque de carbono atmosférico. Os SAFs são sistemas usados não só para produção de alimentos e madeira, mas também como alternativa de uso da terra as atividades concorrentes de produção de soja e de áreas de pastagem na Amazônia. No fenômeno de acúmulo de carbono vegetal, os SAFs estocam carbono nas espécies frutíferas e essências florestais. Quando um produtor rural implanta um SAF com caráter de estocar carbono, por exemplo, os benefícios da retirada de carbono da atmosfera com o sequestro de carbono resultam em benefício para toda a sociedade global. Por conta de que esta atitude individual não faz parte da transação de mercado operada pelo produtor como, por exemplo, a produção de alimentos, commodities e de madeira, o benefício não é capturado no preço dos alimentos, dos produtos e nem da madeira produzida. Recursos são desalocados, e muitos SAFs deixam de ser implantados para o mercado.

Note que há relação qualitativa entre os benefícios externos relacionados com o abatimento do carbono atmosférico e os custos externos de atividades que emitem CO₂ para a atmosfera. Se o mercado de REDD está definido, há uma externalidade positiva, e os benefícios externos causam melhorias ao meio ambiente global. De outra forma, se há um mercado definido de produção, por exemplo, há uma externalidade negativa, e os custos externos são os que causam erosão do solo, diminuição de água nas geleiras e encostas de montanhas, aumento de área degradada, aumento de área desmatada, atividades que não absorvem carbono, isto é, danos aos serviços ambientais, assim, há custos externos que trazem danos aos recursos naturais e a atmosfera.

Os custos externos relacionados aos danos ambientais da emissão de gases de efeito estufa estão ligados tanto a um bem público quanto ao fato da existência de externalidade.

6. Mercado

Para as externalidades de problemas ambientais, considerando, por exemplo, uma firma que emite gás de efeito estufa. A demanda de mercado para os produtos desta empresa mostra a quantidade de produtos que os consumidores estão dispostos a comprar, geralmente indicando que muito mais será comprado a preços menores. O mercado da oferta mostra quantos produtos os produtores estão dispostos a colocar no mercado a uma variedade de preços, refletindo seus custos de produção. Combinando as duas curvas, temos o equilíbrio de mercado, que mostra o preço e a quantidade transacionada. Entretanto, se a produção e a operação têm significantes efeitos ambientais. Os efeitos aparecem na análise de oferta e demanda. Além disso, os efeitos não estão refletidos no equilíbrio de mercado do mundo real dos preços e quantidades produzidas, a menos que leis e instituições específicas sejam criadas para abordá-los.

A produção incorre em custos reais não incluídos na planilha de custos das fábricas. A negligência desses custos produz um quadro distorcido do que existe de custos efetivamente. Para melhorar nossa análise de oferta e demanda de forma a incluí-los, devemos olhar por formas de internalizar as externalidades – trazendo esses custos ambientais para dentro da análise de mercado.

Identificar os problemas relacionados ao efeito estufa e seus custos resultantes originam a estimativa dos danos causados e o surgimento das externalidades relativas ao fenômeno. Portanto, dependendo do caso, formas de mitigar ou reduzir tais efeitos podem ser apresentadas.

Se há falhas em atribuir algum valor para o dano ambiental, o mercado automaticamente atribuirá um valor zero, porque nenhuma dessas questões é diretamente refletida nas decisões dos consumidores e dos produtores.

Várias técnicas existem para estimar as externalidades ambientais. Mas suponha que concordamos por enquanto que alguns custos significativos existam, mesmo se não podemos mensurá-los precisamente. É claramente importante computar esses custos na análise econômica (HARRIS, 2000).

6.1.8 Soluções Convencionais para Problemas Ambientais

Não há um proprietário ou direitos de propriedade da atmosfera ou do clima do planeta, por isso, não há muitos incentivos de mercado para proteger, prevenir e até mesmo preservar ou corrigir a contaminação dos recursos atmosféricos, como por exemplo, a diminuição da taxa de emissão gases de efeito estufa para a atmosfera do planeta. Por isso, o modelo dos bens públicos e a teoria da externalidade foram aplicadas para mostrar como a emissão de CO₂ para a atmosfera e o consequente

efeito estufa são resultado de falhas de mercado, falhas estas, decorrentes da falta de direitos de propriedade.

O exemplo da proteção ambiental a partir do Teorema de Coase³ é o caso do estoque de carbono em SAFs de cacaueteiro da BR-230. As áreas desmatadas e degradadas da Amazônia devem prover estocagem de carbono. Isto pode ser realizado a partir da biomassa dos SAFs de cacaueteiro. Todo o estoque de carbono é voluntário e baseado nos direitos de propriedade privada. A motivação para os produtores rurais da BR-230 para manter ou implantar SAFs de cacaueteiro com a garantia de uma compensação financeira não é utilizado.

Para o caso dos SAFs de cacaueteiro, é um problema de externalidade positiva em que os agricultores ou produtores rurais de SAFs de cacaueteiro estocam voluntariamente carbono nas espécies vegetais e que as externalidades existem devido a ausência de mercado e direitos de propriedade bem definidos para a absorção de carbono dos SAFs de cacaueteiro da BR-230. Portanto, se os produtores rurais continuarem a estocar o carbono, há de se transferir aos produtores os benefícios ambientais reais de suas ações, internalizando estes benefícios através de um subsídio apoiado pela teoria econômica. Este subsídio encoraja a atividade econômica dos SAFS de cacaueteiro que oferecem externalidades positivas ou que geram efeitos socialmente benéficos.

Relembrar a necessidade do governo de corrigir as falhas de mercado ambientais é um benefício importante aproveitado pela modelagem econômica, mas somente é o primeiro passo. Podemos usar estes modelos para determinar como o governo pode responder para alcançar soluções políticas efetivas. Por exemplo, a teoria econômica pressupõe que o governo pode fixar objetivos para alcançar a eficiência alocativa, balanceando benefícios e custos sociais para a margem. O critério de custo-eficiência pode ser usado para avaliar como estes objetivos estão sendo implementados, no mesmo nível que um objetivo fixo diferente de seu nível eficiente (CALLAN; THOMAS, 2007).

6.1.9 Problemas Ambientais e Soluções de Mercado

Ainda que o mercado fracasse por si mesmo para corrigir problemas ambientais, os incentivos que definem o processo de mercado podem ser estabelecidos pelos tomadores de decisão política. A abordagem do mercado para políticas ambien-

³ O Teorema de Coase coloca, basicamente, a possibilidade de solução de uma externalidade sem a intervenção do Estado.

6. Mercado

tais, recomendadas por algum tempo por economistas, teve o princípio de serem adotadas por governos como parte de suas respostas globais aos riscos de poluição. Diferente do uso dos instrumentos mais tradicionais de comando e controle, a abordagem de mercado utiliza o preço ou outras variáveis econômicas para prover incentivos aos poluidores para reduzir as emissões prejudiciais ou nocivas (CALLAN; THOMAS, 2007).

Keohane e Olmstead (2007) citam que há um conjunto de políticas de mercado chamadas de incentivos “baseados em mercado” e que o subsídio é um instrumento que tem abordagem baseada em preço.

Os instrumentos de mercado são destinados a harmonizar os custos externos dos danos ambientais, trazendo de volta para a tomada de decisões das empresas e dos consumidores. Tomando esta interpretação diretamente da teoria das falhas de mercado, a abordagem de mercado tenta restabelecer incentivos econômicos atribuindo um valor para a qualidade ambiental, ou, equivalentemente, dando uma atribuição ao preço da poluição. Estabelecido uma vez, as empresas e os consumidores ajustam os seus comportamentos para a mudança resultante nas condições de mercado (CALLAN; THOMAS, 2007).

Assim, para estruturar nossa análise econômica vamos usar a categoria do instrumento de mercado do subsídio.

Muitos instrumentos de mercado usam incentivos de mercado, por exemplo, cobrança por poluição, sistema de depósito/reembolso, permissão de poluição por sistemas de negociação e subsídios.

As nações em torno do mundo usam instrumentos baseados em mercado para auxiliar no controle da poluição. De fato, uma pesquisa internacional em 24 países encontrou que, em média, onze instrumentos de mercado foram usados em cada país. Todo tipo de instrumento econômico foi identificado pela pesquisa como parte da política nacional através de todos os meios ambientais (ar, água ou terra). Apesar da abordagem de mercado continuar sendo uma forma secundária de controle, é usada como receita nos discursos das políticas nacionais pela sua importância com parte da classe de soluções disponíveis para os problemas ambientais (CALLAN; THOMAS, 2007).

6.1.10 Externalidades Ambientais

Uma externalidade tem resultado positivo quando as ações de um indivíduo tem um efeito direto, não intencional e não compensador no bem-estar de outros indivíduos (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).

Se as externalidades significativas existem, o que pode corrigir este equilíbrio de mercado é internalizar as externalidades. Um exemplo é um subsídio sobre a redução da emissão de gases de efeito estufa ou sobre o estoque de carbono em atividades produtivas, transferindo para os produtores rurais da Amazônia que absorvem carbono nestas atividades produtivas, como os SAFs os benefícios externos ambientais reais de suas ações. Os consumidores podem discordar da elevação dos preços, mas esses preços refletem os custos reais dos danos das emissões de gases para a sociedade.

Portanto podemos internalizar os efeitos da emissão de gases do efeito estufa através dos benefícios dos serviços ambientais de quem preserva e estoca carbono através de subsídios para os que mantêm os estoques de carbono, tais como nos SAFs de cacauero da rodovia Transamazônica.

Independente do mecanismo exato usado, a ideia de internalizar os custos ambientais é possível através de algum tipo de subsídio taxa ou subsídio. Determinamos essa taxa por algum processo de valoração ambiental, e que, no caso aqui descrito, a taxa ou subsídio a ser recebido pelo produtor rural será equivalente à quantidade de carbono estocado nas espécies vegetais, de acordo com uma análise do preço desse carbono no mercado.

Para Jacobs (1995) existem diferentes classes de subsídios: aqueles que, para acabar com a poluição, oferecem incentivos às empresas que logrem reduzi-la (são oferecidos na forma de subvenções, empréstimos a baixo custo ou descontos fiscais), aqueles oferecidos às empresas que visam reduzir a poluição abaixo da meta fixada e aqueles que desenvolvem pesquisas e investimentos em formas específicas de tecnologia para o controle da poluição.

Subsídios para equipamentos usados na redução da poluição têm o objetivo de diminuir os custos das tecnologias de produção de equipamentos para este fim, estimulando o seu uso.

Cardoso (2008) coloca também que, muitas vezes, os subsídios no setor agrário podem estimular um uso mais consciente e sustentável da terra, por exemplo, quando as subvenções à agricultura estimulam a proteção de áreas ecologicamente sensíveis situadas em suas propriedades. Ou, ainda, quando países desenvolvidos subsidiam países em desenvolvimento na condução de ações e projetos que tenham como objetivo proteger as florestas e o meio ambiente.

Um modelo assumido para o mercado de cacau pode ser o seguinte:

$$CMP = f_1(Q) \quad (\text{Custo Marginal Privado}) \quad (46)$$

6. Mercado

$$BMP = f_2(Q) \quad (\text{Benefício Marginal Privado}) \quad (47)$$

em que Q é a quantidade de cacau transacionada no mercado local restrito ao Estado do Pará. Para o Benefício Socioambiental podemos ter, por exemplo, uma suposta equação:

$$BSA = f_3(Q_c) \quad (\text{Benefício Socioambiental}) \quad (48)$$

Q_c é a quantidade de carbono em TC estocado anualmente.

$$CMS = CMP - BSA \quad (\text{Custo Marginal Social}) \quad (49)$$

em que CMP , BMP , BSA e CMS estão em R\$/tonelada e Q é a quantidade em toneladas.

Devido à externalidade positiva do mercado de REDD, as medidas corretas dos custos são dadas pelo Custo Marginal Social ou CMS ; este custo é dado pela diferença vertical do Custo Marginal Privado CMP e pelo Benefício Socioambiental BSA conforme a equação 54.

7. Carbono e mercado – valorizando Sistemas Agroflorestais com cacauero

Neste trabalho sugere-se um modelo envolvendo uma análise de estoque de carbono e uma análise de mercado para estimar valores de compensação pelos serviços ambientais prestados pelos SAFs de cacauero na rodovia Transamazônica. Esta abordagem se configura tecnicamente como um cálculo de subsídio aos produtores cujas atividades produtivas proporcionam a acumulação de estoques de carbono.

O IPAM vem liderando iniciativas para estimular produtores rurais a adotarem práticas produtivas mais sustentáveis, que contemplem o uso sustentável da floresta e, ao mesmo tempo, a melhoria da qualidade de vida das populações envolvidas. Na região da rodovia Transamazônica, o instituto realiza estudos e parcerias locais para a substituição de atividades produtivas predatórias por atividades rentáveis sustentáveis. No caso particular deste trabalho, realizou-se um estudo para quantificar o mecanismo de compensação baseado no mercado de cacau no estado do Pará e no sequestro de carbono por SAFs de cacauero na rodovia BR-230.

Segundo NAIR (1985) os Sistemas Agroflorestais devem ser classificados, dentre outras coisas, de acordo com sua estrutura, função, adaptabilidade e nível. De acordo com a classificação de NAIR (1985), os SAFs da BR-230 podem ser classificados como Sistemas Agroflorestais Agrossilviculturais de produção comercial de cacau, coincidente, de sombra, tropical úmido de terra firme.

Dentre os principais municípios produtores de cacau da BR-230 temos Altamira, Anapu, Brasil Novo, Uruará e Medicilândia. Neste último está localizada a Estação da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). Quanto à composição florística destes SAFs da BR-230, temos o cacauero como espécie principal. CALVI (2009) encontrou, além do cacauero como espécie principal, cento e cinquenta e seis combinações diferentes de SAFs e cento e onze espécies vegetais identificadas nos SAFs de cacauero somente no município de Medicilândia.

7. Carbono e mercado

Para o estudo do estoque de carbono de SAFs, estes devem primeiramente ser identificados e classificados para posteriormente escolher a forma como será determinada ou estimada sua biomassa. No caso dos SAFs da BR-230, o cacauieiro aparece como espécie mais abundante, normalmente em espaçamentos 3m x 3m, e as essências florestais podem estar em diferentes espaçamentos (12m x 12m, 15m x 15m, 18m x 18m e outros). A partir daí, a biomassa do cacauieiro e das essências florestais é determinada ou estimada.

A partir da determinação e/ou estimativa da biomassa, pode-se obter condições para traçar a curva de crescimento de biomassa e, a partir daí, encontrar o estoque de carbono total dos SAFs para qualquer idade. Para cada idade de SAF tem-se um incremento de biomassa anual, com conseqüente aumento do carbono estocado e crescente valorização dos serviços ambientais no decorrer do tempo. Nos SAFs de cacauieiro da BR-230, a taxa de variação do estoque de carbono total foi encontrada para trinta anos da atividade.

Os serviços ambientais de SAFs, neste estudo, são quantificados pela capacidade de estocar carbono. Os resultados oferecem uma ferramenta econômica para estabelecer critérios de compensação, tais como o mecanismo de REDD. Dessa forma, será possível estimular um desenvolvimento rural de baixas emissões.

As falhas de mercado para tratar o desmatamento e a degradação podem ser solucionadas através da ferramenta do subsídio que nos remete a Taxa Pigouviana que deve ser tratada a partir do Mercado de Cacau para o Estado do Pará com o Custo Marginal Privado, o Benefício Marginal Privado e o Benefício Socioambiental para compor o Custo Marginal Social. Este Benefício Socioambiental foi encontrado a partir da Produtividade anual do cacau de acordo com Almeida et al (2010), com o Carbono Estocado no Tempo e com o Valor do Carbono Estocado.

É importante que seja feita uma reflexão do porquê usar o Benefício Socioambiental como metodologia do REDD e não a linha de base e adicionalidade do MDL, pois estes são conceitos que são levados em consideração para o cálculo das compensações. Estes modelos remetem ao estoque de carbono, por exemplo, a partir de um determinado nível de desmatamento da região ou que seja um cenário que representando a soma das mudanças nos estoques de carbono nos reservatórios dentro dos limites do projeto que teriam ocorrido na ausência das atividades do projeto propostas, conforme Rocha et al (2004).

Há sempre controvérsias sobre o método para estabelecer a linha de base em projetos de MDL, fundamentalmente em projetos que envolvem a conversão de carbono de biomassa vegetal. Essencialmente, a linha de base para projetos de MDL

florestais são baseadas no desmatamento, isto é, a metodologia para determinação da Linha de Base leva em conta, por exemplo, o desmatamento da região em tempos anteriores à implantação do projeto de MDL.

Este tipo de metodologia para implantação de projetos de MDL sempre causou muito debate e incertezas. Este trabalho traz, portanto, uma metodologia para REDD a partir do Benefício Socioambiental ou BSA da atividade produtiva em que se leva em consideração o Valor do Carbono Estocado na atividade, a produtividade da atividade e o Carbono Estocado no Tempo por SAFs da BR-230.

Assim, a relação da determinação da importância e do mérito da metodologia está em três variáveis da atividade e muito mais que isso, está alicerçada no real taxa de carbono estocado da atividade produtiva. A posse da informação do BME a atividade, seja ela uma floresta ou uma atividade produtiva rentável, como os SAFs de cacau da BR-230, podem ser valorizados pelo que realizam de serviço ambiental para a atividade em si. Por exemplo, qual o valor de uma floresta primária ou de um SAF de cacau em área de desmatamento de acordo com a metodologia do MDL? Com a metodologia do REDD a atividade de quem realmente pratica atividade que estoca carbono ou preserva outros serviços ambientais terá seu valor reconhecido pelo que tem na sua área sem ter que depender de linha de base ou adicionalidade, que são parâmetros que podem variar e não reconhecer e, não reconhece o esforço dos atores que preservam com a manutenção do serviço carbono para a busca da sustentabilidade.

A metodologia da construção do Benefício Socioambiental Externo é baseada no Carbono Estocado no Tempo por SAFs de cacau da BR-230. Portanto, a partir desta perspectiva, é permitida a implementação de uma ferramenta de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação ou REDD que leva em consideração o carbono estocado por ano pela atividade produtiva, diferente do MDL que leva em consideração a redução de emissões comparadas a uma linha de base e que sejam adicionais. Desta forma, para o tratamento e definição do Custo Marginal Privado e o Benefício Marginal Privado para este caso utiliza-se de dados Econômicos do Mercado de Cacau para o Estado do Pará.

Por conseguinte, a lógica econômica baseada na baixa emissão de carbono pode ser implementada usando uma metodologia para atividade produtiva de geração de serviços ambientais. No caso em estudo temos o mercado relevante para um bem cuja produção ou consumo gera serviços ambientais fora do mercado de transação. Assim, o estabelecimento do subsídio para criação do mecanismo de compensação foi baseado no Custo Marginal Social, Benefício Marginal Privado

7. Carbono e mercado

e Custo Marginal Privado. Portanto, para cada valor de Carbono Estocado em toneladas, é estabelecido um valor de subsídio e associação ao seu respectivo mecanismo de compensação.

Assim como existem atividades produtivas que causam o aumento de emissão de GEE, também temos as que diminuem a emissão de GEE. Na economia, os que promovem atividade produtiva que emitem GEE causam externalidades negativas, enquanto os que diminuem ou deixam de emitir GEE causam externalidades positivas. Da mesma forma, as atividades produtivas que mantêm os serviços ambientais diminuindo a emissão de GEE, geram externalidades ambientais positivas.

A teoria econômica trata dos custos e benefícios a partir das curvas de oferta e demanda, como os custos e benefícios marginais privados, ou os custos e benefícios de produzir ou consumir mais uma unidade. A manutenção dos serviços ambientais de um hectare de SAF de cacaueteiro gera um benefício socioambiental (BSA), portanto, deve ser incorporado ao cálculo do serviço ambiental prestado.

Dispondo dos custos e benefícios privados do mercado de cacauete e, além disso, encontrando o valor do benefício socioambiental dos serviços ambientais destes SAFs, pode-se descobrir o valor do subsídio a ser pago. Este subsídio é tido pela externalidade socioambiental positiva (ESP) de um hectare de SAF de cacaueteiro para a região da BR-230, apresentando, desta forma, um mecanismo de compensação para os produtores rurais. Para todas as equações encontradas no estudo, foi realizada uma regressão dos dados utilizando o método dos mínimos quadrados cujos ajustes foram realizados a partir dos aplicativos computacionais EViews e TableCurve2D. Para a construção dos gráficos foi utilizado o aplicativo computacional MATLAB e a planilha eletrônica EXCEL.

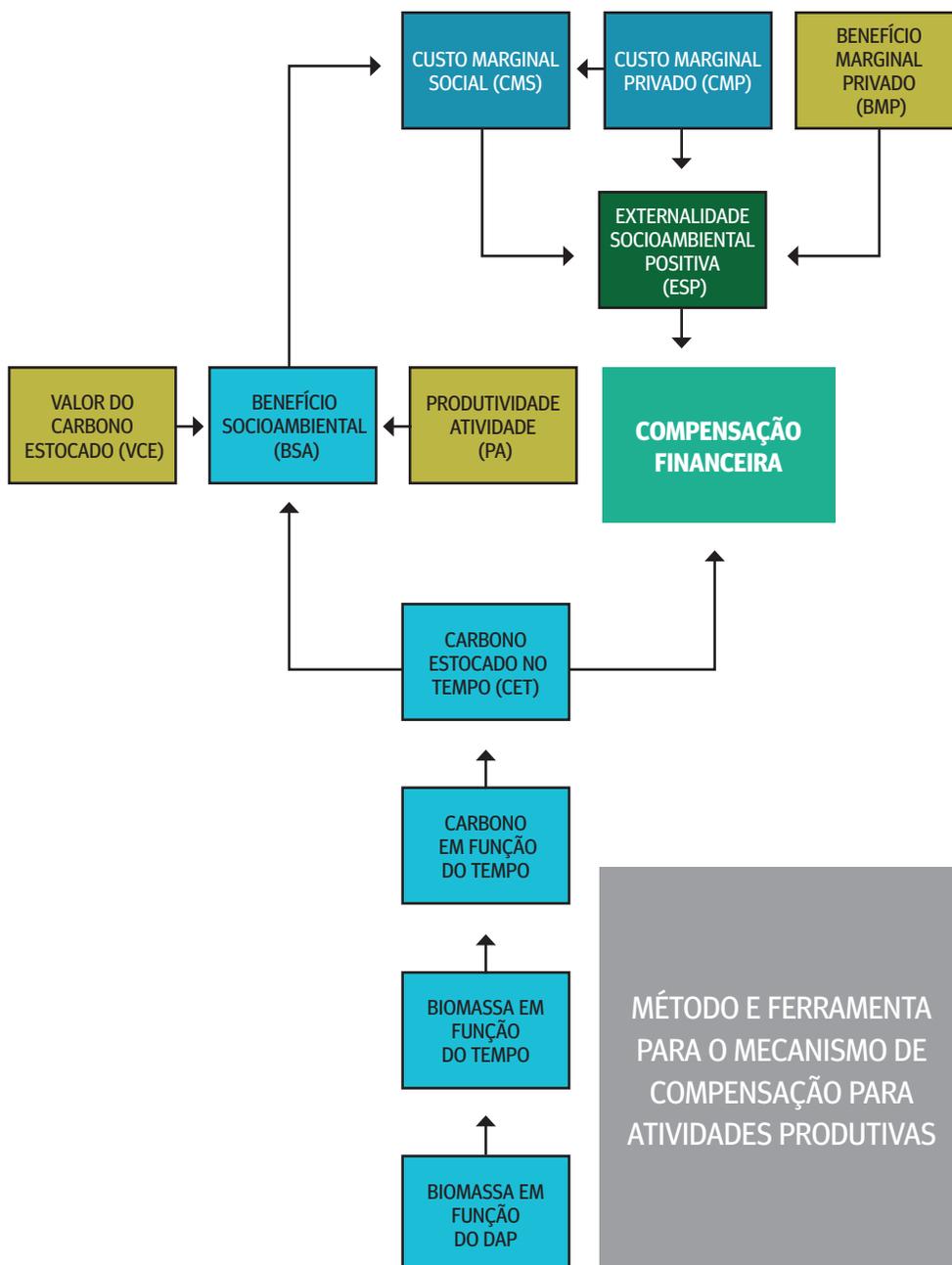
A compensação financeira para SAFs da região da BR-230 é calculado através do Custo Marginal Privado, do Benefício Marginal Privado para encontrar para a atividade produtiva o seu Subsídio (Externalidade Socioambiental Positiva - ESP). A Produtividade da Atividade, o Valor do Carbono Estocado e o Estoque de Carbono no Tempo são os fatores geradores do Benefício Socioambiental (BSA) (Fluxograma 1).

Para a estimativa do Carbono Estocado no Tempo é necessário encontrar a Biomassa em função do DAP. Utilizando a conversão de Biomassa para Carbono transforma-se a Biomassa em Carbono em função do tempo.

Os dados de Carbono em função do tempo são importantes para a composição do Benefício Socioambiental, pois a partir deste cálculo encontra-se o Carbono Estocado no Tempo. Finalmente, a partir dos valores de Carbono Estocado no Tempo

Fluxograma 1. Método de determinação da Compensação Financeira.

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



7. Carbono e mercado

e da Externalidade Socioambiental Positiva há possibilidade de se encontrar o Mecanismo de Compensação para atividades produtivas, conforme o Fluxograma 1.

Todo o contexto do uso da ferramenta de determinação do Mecanismo de Compensação foi aplicado à situação dos SAFs de cacaueteiro da BR-230 a partir da Biomassa em função do DAP das árvores do SAF e dos dados Económétricos do Mercado de Cacau para o Estado do Pará.

7.1 Biomassa e carbono dos SAFS da BR-230

A implantação e manutenção de uma atividade produtiva, como os SAFs de cacaueteiro na região da Transamazônica tem potencialidade de conservar e manter os serviços sociais e ambientais da região gerando benefícios externos ou externalidades positivas desta atividade. Entretanto, mais do que conservar, os SAFs já foram implantados em regiões antes desmatadas ou degradadas. Porém, não há um mecanismo de compensação para os que mantêm uma floresta preservada ou uma atividade produtiva que gera renda e mantêm os serviços ambientais na Amazônia. Além disso, não há uma métrica que estabeleça o benefício dos serviços ambientais a partir do carbono estocado no tempo.

Porém, para encontrar os benefícios dos serviços ambientais dos SAFs de cacaueteiro, é necessário definir como atribuir um valor monetário aos serviços ambientais prestados. Desta forma, tem-se que encontrar um fator ou uma qualidade dos SAFs de cacaueteiro que possa ser contabilizada ou computada como um fator de aumento de qualidade ambiental ou crescimento da manutenção deste serviço ambiental. Apesar dos serviços ambientais disponibilizados pelos SAFs serem inúmeros, a qualidade do serviço foi estabelecido a partir da capacidade ou quantidade de carbono estocado em ano por um hectare de SAF de cacaueteiro ou a Taxa de variação do Estoque de Carbono no Tempo, conforme método explicado a seguir.

Todas as equações encontradas mostram a tendência do fenômeno da relação entre a biomassa ou o carbono estocado em função do DAP ou em função do tempo a partir de regressão dos dados das amostras usando o método dos mínimos quadrados. Maior coeficiente de determinação ou R^2 foi o critério estatístico de seleção do melhor modelo para as equações e o intervalo de confiança foi de 90%.

Para a determinação da Biomassa e do Carbono foram inferidos três talhões de SAFs da Estação da CEPLAC de Medicilândia, que são eles o Talhão Paulo Júlio, o Talhão D6 e o Talhão D3. Cada um dos três talhões continha uma área superior a 10.000 m² e, inicialmente, como área total de avaliação de biomassa

e carbono foram selecionados seis parcelas com cerca de 0.2 hectare no Talhão Paulo Júlio, seis parcelas com cerca de 0.2 hectare no Talhão D6 e, 10 parcelas de cerca de 0.2 hectare no Talhão D3 perfazendo uma área de cerca de 4,4 hectares no total, com o inventário de mais de 4700 árvores de cacaueteiro e mais de 270 árvores de essências florestais ou plantas sombreadoras. A densidade populacional ou abundância para todas as amostras foi calculada a partir do número de indivíduos n_i em cada parcela determinada de cada talhão e a área ha de um hectare de acordo com a equação 50.

$$N = n_i / ha \quad (50)$$

A abundância encontrada para todas as amostras foi em média de 930 cacaueteiros/ha e de 64 plantas sombreadoras/ha para o espaçamento entre cacaueteiros de 3m x 3m e entre plantas sombreadoras ou essências florestais de 12m x 12m. Tal espaçamento entre cacaueteiros e essências florestais é um dos menores encontrado na região, e desta forma pode ser considerado agrupado, o que mais tem potencial para acumular biomassa por hectare quando se leva em consideração a densidade de árvores por hectare.

Foi identificado o ano de implantação e a localização dos talhões estudados: Talhão Paulo Júlio implantado no ano de 2001 (S0281909 W9611579); Talhão D6 implantado no ano de 1983 (S0281909 W9611562) e; Talhão D3 implantado no ano de 1979 (S0281846 W9611562).

Optou-se por utilizar a área para a determinação de biomassa e carbono nos três talhões pela impossibilidade de abater árvores de outros talhões da CEPLAC de Medicilândia.

Os SAFs da CEPLAC foram selecionados por apresentarem características representativas de boas práticas da região, como por exemplo, o controle de plantas daninhas, calagem e adubação, combate às pragas, manejo adequado, etc. Além disso, a Estação da CEPLAC possui equipamentos para a realização da derrubada das árvores e suporte aos trabalhos de pesquisa, como motosserra, balança, cavador, enxada, peneira, combustível e, oferece também alojamento e refeitório para os pesquisadores, estagiários e bolsistas. A equipe contava com quatorze membros.

No contexto da região estudada, estamos considerando somente os rendimentos proporcionados pelos cacaueteiros e pelas essências florestais, desconsiderando os cultivos de ciclo curto implantados nas entrelinhas, além das espécies de sombra provisória como a bananeira.

7. Carbono e mercado

Foram contabilizados em cada parcela de SAF de um hectare cerca de 930 cacaueiros e, em média, somente 64 plantas sombreadoras. Esta quantidade foi utilizada para o cálculo de biomassa e carbono no tempo.

Inicialmente, no inventário florestal foram medidos os DAPs de todos os cacaueiros e das plantas sombreadoras ou essências florestais para todas as parcelas de cada talhão estudado para conhecer a distribuição diamétrica em idades diferentes. Após a medida dos DAPs, foi realizada a contabilização destes diâmetros em cada parcela, e criou-se uma planilha eletrônica com os DAPs encontrados.

Para a determinação e/ou estimativa de biomassa dos SAFs da BR-230 foram utilizados dois métodos: um quando a quantificação era para o cacaueiro (método direto) e outra para as essências florestais (método indireto). O método direto é ilustrado na figura 1, onde as árvores de cacaueiro foram abatidas.

Para as árvores sombreadoras ou essências florestais, foi utilizado o método indireto, pela impossibilidade e dificuldade de se abater as árvores de essências florestais dos SAFs e, assim utilizando-se equações alométricas existentes de Brown (1997) e Brown et al. (1989).

Para os cacaueiros dos SAFs da região em estudo foi utilizado o que é preconizado por Brown (1997) e que é chamado de medidas de campo para o desenvolvimento de equações de regressão de biomassa. As equações de regressão de biomassa ou equações alométricas para os cacaueiros de todos os SAFs foram desenvolvidas a partir da base de dados coletados no inventário em todas as parcelas.

A base de dados foi estratificada dentro da região em estudo com sua zona climática e tipo de solo, o que se tem potencialidade em dizer que é estatisticamente homogêneo e, portanto as equações de biomassa construídas numa mesma região de estudo servem para esta região e são equações que refletem e representam o fenômeno restrito da região de estudo. Particularmente, todas as classes de diâmetro foram representadas. Segundo Brown (1997), se os recursos são limitados, é recomendado que árvores representando diâmetros pequenos, médios e grandes sejam selecionadas e suas biomassas medidas.

Com base nas informações preliminares do inventário, foram inicialmente encontradas classes de diâmetro e suas respectivas frequências de distribuição diamétrica em cada parcela dos talhões as quais dividiam o total da largura de faixa em 3, 4 e 5 classes. Para cada classe, uma árvore de cacaueiro foi abatida. Em todos os talhões o critério envolvido na escolha consistiu em selecionar o número de classes cujo perfil da distribuição diamétrica tivesse convergência para o formato de uma

Figura 1. Método direto de medida da biomassa das árvores de cacaueteiro

curva normal ou gaussiana. Como toda largura de faixa apresentou esta tendência, selecionou-se dentre todas as que tivessem a maior classe de amplitude: com três classes de diâmetro. Apesar da escolha por diâmetro dos cacaueteiros que seriam abatidos, estes foram selecionados randomicamente dentro da estratificação para o tamanho ou valor do diâmetro selecionado. As árvores de cacaueteiro foram derrubadas e pesadas, e, em seguida, extrapolou-se a avaliação para a área total de interesse de um hectare.

Para dar continuidade ao método, para as árvores de cacaueteiro dos talhões Paulo Júlio, D6 e D3, a classe de diâmetros ou largura de faixa foi respectivamente de 5 a 18 cm, 5 a 27 cm e 5 a 30 cm. Além disso, para a estratificação dos cacaueteiros, foram escolhidos os intervalos de classe de frequência de DAP, distribuição diamétrica ou amplitudes diamétricas para os três Talhões, estando a classe central representada pela árvore que tem a média do DAP para cada Talhão.

O método usado para se encontrar tanto a estimativa de biomassa e consequentemente o carbono estocado nos cacaueteiros dos SAFs, foi o método direto e posteriormente seguido do método de construção de equações alométricas. Para o talhão Paulo Júlio a média de todos os DAPs de cacaueteiro foi de 12,7 cm, de outra

7. Carbono e mercado

forma, para o talhão D6 a média de todos os DAPs de cacaueteiro foi de 15 cm e de outro lado, para o talhão D3 a média de todos os DAPs de cacaueteiro foi de 15,6 cm. Após selecionar as árvores dentro das classes foi verificado que o método da árvore individual também poderia ser aplicado ao caso, pois foi encontrada a árvore cuja média de DAP se enquadrava para os casos anteriores. Como a espécie era única, isto é *Theobroma cacao*, poucas árvores de cacaueteiro foram suficientes para cada classe, inclusive foi usado apenas uma árvore para cada classe que no total foram três classes por talhão.

Para o cacaueteiro, há uma quantidade que bifurca e trifurca, portanto, para as árvores de cacaueteiro no qual o fuste bifurcava, trifurcava ou mais, primeiramente foi encontrada a área A_i de todas as bifurcações do fuste a 1,3 metros de altura do solo, e calculando-se o DAP para encontrar o diâmetro geral da árvore (equação 51):

$$DAP = \sqrt{4A/\pi} \quad (51)$$

com $A = \sum_{i=1}^n A_i$ e $n = 1, 2, \dots$

Para cada árvore de cacaueteiro abatida nos talhões Paulo Júlio, D6 e D3, foi medida a massa verde de cada compartimento dividido em fuste, galhos (fino, médio e grosso), folhas e frutos e o volume dos fustes pelo método de Smalian. Para o compartimento folhas, depois de desfolhada a árvore, foi realizada a contagem de todas as folhas de todos os cacaueteiros abatidos, ensacadas e pesadas. Além disso, foram retiradas amostras de três centímetros de fuste em três porções, galhos em três porções (grossos, médios e finos) de quinze folhas de cada cacaueteiro abatido e também para cada cacaueteiro abatido foi retirada amostra de oitenta frutos e os quais tiveram a massa verde medida. Somente uma árvore de cacaueteiro do talhão Paulo Júlio de DAP=13,1 cm teve sua raiz retirada e separada em raiz pivotante, raízes médias e raízes finas (esta última foi separada da terra usando uma peneira da própria Estação da CEPLAC de Medicilândia e medida a massa verde das raízes pivotante, médias e finas). Também foram retiradas amostras das raízes.

Para estimar a densidade dos cacaueteiros, discos de amostra de seções diferentes dos compartimentos fuste e galhos dos cacaueteiros foram retirados. As amostras de fuste, galhos, folhas e raízes de cada árvore abatida foram levadas ao laboratório. Fearnside (1986) cita que a condição de umidade usualmente se refere à amostra



de madeira imersa na água em laboratório até saturação. Esta condição é uma aproximação das condições que a madeira apresenta quando se encontra no seu estado natural em uma floresta. A massa verde de todas as amostras, após imersão em água, foi medida em balança de precisão.

O volume de todas as amostras foi medido pelo método de Arquimedes e a massa de água deslocada foi determinada em balança de precisão e transformada em volume de acordo com cada grama de água deslocado equivale a um centímetro cúbico de volume da amostra. Assim, calculando a razão entre a massa verde e volume de todas as amostras de fuste, de galhos, de folhas e de raízes, encontrou-se a densidade “*p amostra*” de todas as amostras em gramas por centímetro cúbico ou g/cm^3 , conforme a equação 52.

$$p \text{ amostra} = \frac{\text{massa verde}}{\text{volume}} \quad (52)$$

Desta forma, obtiveram-se três valores *j* de densidade “*p amostra*” para cada compartimento. A densidade *p* dos compartimentos foi encontrada a partir da média aritmética das densidades das amostras para cada compartimento, mostrada na equação 53.

7. Carbono e mercado

$$p \text{ amostra} = \frac{\sum_{j=1}^3 p \text{ amostra}_j}{3} \quad (53)$$

Todas as amostras foram levadas a estufa especial para secagem de plantas durante três dias (folhas a uma temperatura aproximada de 70° C e raízes, galhos e fustes a aproximadamente 100° C). A partir do segundo dia após a colocação em estufa foi realizada a pesagem das amostras para verificação da estabilização da massa e, no terceiro dia de secagem, houve a estabilização da massa de todas as amostras. A massa seca de todas as amostras foi medida em balança de precisão em ambiente com baixa umidade para tentar minimizar a distorção da medida. Desta forma, calculando a razão entre a massa seca e o volume de todas as amostras de fuste, de galhos, de folhas e de raízes, encontrou-se a densidade básica “*p* básica amostra” de todas as amostras em gramas por centímetro cúbico ou g/cm³, equação 54.

$$p \text{ básica amostra} = \frac{\text{massa seca}}{\text{volume}} \quad (54)$$

A partir da equação 54 da densidade básica das amostras, foram encontradas para cada talhão as densidades básicas dos compartimentos fustes, galhos, folhas e raízes a partir da média aritmética das densidades básicas das amostras para cada compartimento, a seguir na equação 55.



$$p_{amostra} = \frac{\sum_{j=1}^3 p_{básica amostra_j}}{3} \quad (55)$$

Para fustes, galhos, folhas e raízes foram encontrados a biomassa para todos os compartimentos das árvores de cacaueteiro abatidas. Tal biomassa foi encontrada com a multiplicação da massa verde pela razão entre a densidade básica e a densidade de cada compartimento. Com a soma da biomassa de todos os compartimentos das árvores, encontrou-se a biomassa total das árvores.

Para se encontrar a estimativa da biomassa dos cacaueteiros para os SAFs da região da BR-230 foi realizado o ajuste das equações a partir da técnica de regressão dos dados usando o método dos mínimos quadrados. Pelos modelos de regressão, utilizando-se as árvores abatidas, representativas das classes diamétricas, estimou-se a biomassa por hectare, que foi calculada com base na biomassa média das parcelas amostradas.

Para os talhões Paulo Júlio com idade de 10 anos, D6 com idade de 28 anos e D3 com idade de 32 anos a equação 56 representa a alometria do talhão a partir das parcelas, em que temos a biomassa em função do DAP.

$$\ln B = (a_1 + b_1 dap^{0.5}) \quad (56)$$

em que $\ln B$ é o log neperiano de B , B é a Biomassa em função do DAP e a_1 e b_1 são os coeficientes da equação de regressão. A equação de biomassa para cada talhão tem diferentes valores para seus coeficientes.

De outra forma, para a estimativa de biomassa das árvores de essências florestais foi utilizado o Método Indireto com as Equações Alométricas de Brown et al. (1989) equação 42 para $DAP < 60$ cm com coeficiente de determinação $R^2=0,84$ e Brown (1997), equação 43 para $60 \text{ cm} \leq DAP < 148$ cm cujo $R^2=0,97$, que são equações construídas para estimar biomassa de árvores de regiões tropicais em florestas úmidas e foram baseadas em árvores da Amazônia e, que este é o caso da região em estudo.

Portanto, para se encontrar a biomassa para as essências, dependendo da faixa de diâmetro do DAP, foi utilizada uma ou outra equação. Existindo equações alométricas que estimam a biomassa e o carbono de árvores de essências florestais, decidiu-se estimar a biomassa para as essências florestais dos SAFs da BR-230 a partir destas equações alométricas. O método é aprovado e sugerido pela UNFCCC/

7. Carbono e mercado

CCNUCC e segue o padrão internacional sugerido pela *FAO* e pela *ONU* de estimativa do estoque de carbono na biomassa viva de árvores.

Finalmente, de posse das equações alométricas para o cacaueteiro e para as espécies florestais, para cada talhão foi encontrada a biomassa de cada árvore de cacaueteiro e de espécie florestal.



Para cada uma das árvores das parcelas do talhão dos SAFs, foi encontrada a biomassa individual. A soma da biomassa de todas as árvores de cacau de cada parcela gerou a biomassa total.

A biomassa das árvores de cacau para um hectare de cada talhão gerou a biomassa total dos cacauzeiros para os três talhões com idades diferentes, a saber, 10, 28 e 32 anos.

Para encontrar a Biomassa em função do tempo “*Bcacau*”, foi realizada regressão usando o método dos mínimos quadrados para os valores de Biomassa Total dos talhões inferidos. O resultado da regressão gerou a equação 57 abaixo com a_2 , b_2 e c_2 coeficientes da equação de regressão.

$$Bcacau = a_2 + b_2t^2 + c_2t^{0.5} \quad (57)$$

Para encontrar a Biomassa em função do tempo para as essências florestais “*Bessencias*” foi realizada regressão usando o método dos mínimos quadrados. A equação 58 mostra a estimativa de Biomassa das essências florestais com a_3 , b_3 e c_3 coeficientes da equação de regressão.

$$Bessencias = a_3 + b_3t + c_3e^t \quad (58)$$

O conjunto da equação 57 da biomassa total dos cacauzeiros com a equação 58 da biomassa total das essências florestais para cada Talhão gerou os dados de biomassa total em função do tempo para os SAFs da região da Transamazônica.

Para a obtenção da estimativa do carbono estocado nos cacauzeiros em função do tempo foi utilizado para o conteúdo de carbono correspondente a 50% da massa seca.

Finalmente, a composição total do estoque de carbono dos cacauzeiros e das essências florestais foi encontrada a partir da estimativa do carbono estocado nos cacauzeiros e da estimativa do carbono estocado nas árvores de essências florestais.

7.2 Externalidade socioambiental dos SAFS da BR-230

De outra forma, para atribuir um valor aos serviços ambientais da produção de cacauzeiro em SAFs é estabelecido o Benefício Socioambiental (BSA) que é a função que reúne os atributos de Carbono Estocado no Tempo *CET*, o Valor do Carbono Estocado por Tonelada ou *VCE* e a Produtividade da Atividade *PA* que, neste caso, é a produtividade anual do cacauzeiro em SAFs. Assim, o Estoque de

7. Carbono e mercado

Carbono no Tempo está em TC ha⁻¹, o Preço de Carbono Estocado por Tonelada é apresentado em US\$/t e a Produtividade da Atividade em TC ha⁻¹, conforme equação 59.

$$BSA = \frac{CET VCE}{PA} \quad (59)$$

A partir da estimativa de estoque de carbono (Carbono Total C) de SAFs no tempo foi possível encontrar a Taxa de Variação do Estoque de Carbono Total no tempo t de um hectare de SAF de cacauero. Matematicamente, a Taxa de Variação do Estoque de Carbono Total no tempo é a derivada parcial da função Carbono Total C dos trinta anos descrevendo o Carbono Estocado no Tempo (CET), que para o nosso estudo está estabelecido para um período de trinta anos, representado pela equação 60.

$$CET = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (60)$$

$$CET = a_4 + b_4 t^2 + c_4 e^t + \frac{d_4}{t^{1.5}} \quad (61)$$

A equação 61 mostra a equação estimada para a taxa de variação do carbono estocado no tempo usando regressão com a_4 , b_4 , c_4 e d_4 coeficientes da equação.

Por outro lado, para os estoques de carbono de SAFs para o Oeste da África, Gockowski e Sonwa (2010) usaram as taxas de variação de carbono para medir o “estoque de carbono médio no tempo” ou $TACS$, que é a soma dos estoques de carbono anuais, medido em toneladas/ha, dividido pelo ciclo de produção t do sistema, equação 62. Matematicamente, o $TACS$ é a média da integral da função contínua $f(t)$ que descreve a variação anual do estoque de carbono ao longo do ciclo t .

$$TACS = \frac{\int_0^t f(t) dt}{t} \quad (62)$$

Usando a equação 62 de Gockowski e Sonwa (2010) encontra-se uma taxa anual de sequestro de carbono $TACS$ de 3,55 TC ha⁻¹ do primeiro ano até o vigésimo quinto ano para os países produtores de cacau do oeste da África.

Portanto, além do *CET*, para o caso dos SAFs de cacauero da região da Rodovia Transamazônica, foi usada a somatória dos estoques de carbono *EC* dividido pelo ciclo em anos, conforme equação 63. Desta forma, estas duas variáveis podem ser comparadas para controle do método.

$$TACS = \frac{\sum_1^t EC}{t} \quad (63)$$

Para a produtividade da atividade *PA* dos SAFs de cacauero para a Amazônia, Almeida et al. (2010) apresentam a produtividade para Cacau x Essências. Na Tabela 7 são mostrados os níveis de produtividade do SAF Cacau x Essências.

Tabela 7. Níveis de produtividade estimados para espécies consortes em SAFs

Elaborado pelo autor a partir da Fonte: Almeida et al. (2010)

Idade pós-plantio Cacau x Essências (anos)	1	2	3	4	5	6
Tonelada de cacau seco/há	0	0	0,2	0,4	0,8	1,2

Almeida et al. (2010) narram que os níveis de produtividade apresentados na Tabela 7 baseiam-se em informações obtidas em nível experimental nas bases experimentais da CEPLAC em diferentes regiões da Amazônia, juntamente com observações de campo em áreas de produtores rurais. A partir do sexto ano a produtividade permanece estável em 1.2 toneladas de cacau seco/ha. Tais informações foram usadas para compor a produtividade da atividade *PA* dos SAFs de cacauero para a BR-230 (ver Gráfico 5).

Desta forma, foi dimensionada a Externalidade Socioambiental Positiva para a atividade produtiva de SAFs de cacauero da BR-230, no qual a partir do *BSA* foi encontrado o seu *CMS*. De outra forma, também para o *BSATACS*, foi encontrado o respectivo *CMS* chamado de *CMSTACS*.

Desta forma, os SAFs de cacauero da BR-230, mantendo constante a produtividade e o carbono estocado no tempo, o *BSA* que compõe a Externalidade Socioambiental Positiva varia somente se o *VCE* variar, portanto, a Externalidade

7. Carbono e mercado

Gráfico 5. Produtividade dos SAFs de Cacaueiro.

Elaborado pelo autor a partir da Fonte: Almeida et al. (2010)



Socioambiental Positiva para o mecanismo de compensação pode assumir qualquer valor em Toneladas de Carbono.

Para encontrar a função do BSA, os valores do BSA foram relacionados em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*) que é o carbono acumulado nos anos ou a soma do Carbono Estocado no Tempo *CET* do ano em questão com o Carbono Estocado no Tempo dos anos anteriores, isto é, para cada ano o *CEAT* é igual ao EC_n , mostrado na equação 64.

$$EC_n = \sum_{i=1}^n EC_i \quad (64)$$

com $n=1,2,3,\dots,30$.

Para cada Valor do Carbono Estocado por Tonelada foi encontrada a curva do BSA a partir da regressão dos dados em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*) e a equação para o BSA que foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados em que a variável independente é *Q* e está em tonelada.

Como Gockowski e Sonwa (2010) usaram as taxas de variação de carbono para medir o “estoque de carbono médio no tempo” ou *TACS*, foi encontrado o valor ou a curva da Externalidade Socioambiental Positiva a partir do *TACS* (*ESPTACS*) em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*) a partir do *TACS* estimado para os SAFs da BR-230.

Portanto, com os valores de Carbono Estocado no Tempo, da Produtividade do Cacau e do Valor do Carbono Estocado por Tonelada há condições de compor o Benefício Socioambiental para os SAFs de cacau da BR-230 levando em consideração os estoques de carbono em 30 anos e para qualquer valor da tonelada de Carbono.

7.3 Política de Compensação Socioambiental para os SAFs

Uma alternativa de mercado para valorizar os serviços ambientais de uma atividade produtiva é pagar aos produtores por manterem a floresta e os serviços ambientais por ela prestados, ou seja, este pagamento deve ser implementado através de uma ferramenta de mercado, por exemplo, o dimensionamento de um subsídio aos produtores de cacau, que neste caso o subsídio é a Externalidade Socioambiental Positiva (ESP).

Para a implementação da Externalidade Socioambiental Positiva para os SAFs de cacau da região Amazônica, especialmente para a região da Transamazônica, além do Benefício Socioambiental faz-se necessário encontrar as equações de Custo Marginal Privado (*CMP*) e de Benefício Marginal Privado (*BMP*) da atividade produtiva de SAFs de cacau para a rodovia Transamazônica.

Portanto, para dimensionar a Externalidade Socioambiental Positiva para os produtores rurais de SAFs de cacau da BR-230, primeiramente foram encontradas as equações de oferta e demanda do mercado de cacau para o Estado do Pará através do modelo de sistema de equações simultâneas.

Sabe-se que muitas situações econômicas envolvem a solução de modelos multiequacionais, ou de modelos representados por um sistema de equações. O modelo de equações simultâneas é uma categoria de modelos multiequacionais de larga aplicação a casos reais da economia, tipicamente usado em situações que envolvem equilíbrio. Segue-se que no modelo de equações simultâneas, cada equação do sistema tem uma condição de *ceteris paribus*, na interpretação causal, uma vez que o resultado só será observado no equilíbrio (SANTANA, 2003).

Santana (2003) cita que os modelos econômicos de mercado e consumo são determinados simultaneamente por pelo menos duas relações econômicas. Esta é uma das características dos modelos simultâneos em relação aos modelos uniequacionais de regressão, porque apresentam duas ou mais variáveis dependentes ou endógenas, em vez de apenas uma. Deduz-se, portanto, que um modelo de equações simultâneas é representado por duas ou mais equações. Em função disso, o modelo de estimação de mínimos quadrados ordinários (MQO) não é mais apropriado para fazer a estimação das equações simultâneas, pois as estimativas dos parâmetros são enviesadas e inconsistentes, gerando o que se conhece por viés de equações simultâneas.

Assim, não foi utilizado para a estimação o método de mínimos quadrados ordinários (MQO) para o modelo estrutural de equações simultâneas porque neste caso a variável explicativa ou endógena é correlacionada com o termo de erro.

7. Carbono e mercado

O conjunto das relações que fazem parte do modelo simultâneo é tido como um sistema. Um sistema de equações simultâneas significa que todas as relações envolvidas são necessárias para a determinação do valor de pelo menos uma das variáveis endógenas incluídas no modelo. Portanto, pelo menos uma relação inclui mais de uma variável endógena (SANTANA, 2003).

As relações da oferta e da demanda determinam simultaneamente o preço de mercado e a quantidade do produto transacionado. O modelo econométrico que explica o preço e a quantidade deve consistir de duas equações estruturais: uma de demanda e outra de oferta. O modelo é simultâneo porque ambas as relações atuam em conjunto para determinar o preço e a quantidade (SANTANA, 2003).

Para a estimativa das equações de oferta e de demanda de mercado de cacau utilizou-se o modelo econométrico de equações simultâneas, com regressão através do Método de Estimação de Equações Simultâneas e Método de Mínimos Quadrados de Dois Estágios e estimação pelo Método dos Momentos Generalizados usando o aplicativo computacional EViews. As variáveis do modelo são relacionadas com o mercado de cacau em frequência anual com observações de vinte anos. A metodologia envolveu a estimação de um modelo com dados de séries temporais.

Para se obter as estimativas consistentes dos parâmetros de modelo estrutural de equações simultâneas, deve-se obter as formas reduzidas para as equações do modelo simultâneo. Uma equação é considerada reduzida quando a variável endógena é estabelecida como função de todas as variáveis predeterminadas do modelo (SANTANA, 2003).

Para a demanda de mercado de cacau utilizou-se a proposição ou estrutura de modelo de demanda da equação 65.

$$QCAC_t^D = \beta_{d0} + \beta_{d1}PCACC_t + \beta_{d2}RENDAt + \beta_{d3}VD_t + \beta_{d4}PACAI_t + \varepsilon_{dt} \quad (65)$$

Para a oferta de mercado para o cacau utilizamos a seguinte proposição ou modelo de oferta (equação 66).

$$QCAC_t^O = \beta_{o0} + \beta_{o1}PCAC_t + \beta_{o2}SRURAL_t + \beta_{o3}CRLAV_t + \beta_{o4}QCAC_{t-1} + \varepsilon_{ot} \quad (66)$$

No equilíbrio tem-se a igualdade das equações 65 e 66 o que resulta em uma quantidade de equilíbrio $QCAC_t^{EQU}$ do mercado de cacau em nível de produtor.

As variáveis endógenas são $QCAC_t$ que é a quantidade de cacau demandada e ofertada em toneladas de amêndoas no ano t e, $PCAC_t$ é o preço do cacau na oferta em reais/

toneladas no ano t . Para o modelo estimado as variáveis exógenas e as variáveis instrumentais são $PCACC_t$, em que o preço do cacau na demanda é tido em reais/toneladas no ano t , $RENDA_t$ é o PIB per capita para o Estado do Pará no ano t , VD_t é a variável *Dummy* que assume o valor zero para o período de 1990 a 2006 e valor um de 2007 a 2010, $PACAI_t$ é o preço do açaí em R\$/t no ano t , $SRURAL_t$ é o salário rural para o Estado do Pará em R\$/dia no ano t , $CRLAV_t$ é o crédito rural por área exclusiva de cacau da lavoura no ano t , $PBOI_t$ o preço do boi em reais/@ no ano t e $QCAC_{t-1}$ é a quantidade de cacau ofertada no período anterior de 1990 a 2009 em toneladas (com defasagem de um período), mantendo o mesmo grau de liberdade das demais variáveis do modelo.

Os dados das variáveis do modelo simultâneo de oferta e de demanda de cacau são apresentados no ANEXO A.

As constantes ou parâmetros a serem estimados são para a equação de demanda β_{d0} , β_{d1} , β_{d2} , β_{d3} e β_{d4} , e da equação de oferta são β_{o0} , β_{o1} , β_{o2} , β_{o3} e β_{o4} . Tais parâmetros medem o efeito das variáveis exógenas sobre as variáveis endógenas. Além do mais ε_{dt} é o termo de erro aleatório da equação da demanda e ε_{ot} é o termo de erro aleatório da equação da oferta. Tanto a demanda quanto a oferta foram analisadas dentro da janela de tempo t de 1990 a 2010.

As variáveis instrumentais ou os instrumentos têm potencialidade de captar os efeitos dinâmicos do ajuste do mercado de cacau, pois o método de variáveis instrumentais é utilizado para corrigir o problema de especificação do modelo. A ideia é utilizar variações exógenas para aproximar os experimentos aleatórios, assim, assume-se que tais instrumentos não apresentam correlação com o termo de erro.

As variáveis dependentes do modelo de equações simultâneas são chamadas de variáveis endógenas [...] as variáveis independentes são denominadas de variáveis predeterminadas (variáveis exógenas e variáveis endógenas defasadas). As variáveis endógenas são determinadas dentro do sistema criado e as variáveis predeterminadas são determinadas fora do sistema (SANTANA, 2003).

Assim, de posse das equações de oferta e demanda do mercado de cacau e, em condições de mercado competitivo, foi encontrada a relação entre o preço e a quantidade de cacau tanto para a oferta quanto para a demanda com a substituição do valor médio de todas as outras variáveis nas equações 65 e 66. Assim, obtém-se o equilíbrio de mercado no espaço R^2 .

Para a equação do Custo Marginal Privado (*CMP*), assumiu-se que a equação de oferta é considerada uma medida do Custo Marginal Privado e para a equação do Benefício Marginal Privado (*BMP*), assumiu-se que a equação de demanda é considerada uma medida do Benefício Marginal Privado.

7. Carbono e mercado

Para as curvas do Custo Marginal Privado e do Benefício Marginal Privado. O equilíbrio competitivo ou de mercado é atingido quando $BMP=CMP$, isto é, para a quantidade Q_e (ponto de coordenadas Q_e e P_e) das curvas BMP e CMP (Gráfico 6).

Além disso, o excedente do consumidor é representado pela área sombreada situada abaixo da curva do BMP e acima do preço de equilíbrio do mercado P_e , isto é, a composição da área sombreada A com a área sombreada B do Gráfico 6 que forma um triângulo retângulo cuja área total é $A+B$.

Os consumidores adquirem mercadorias porque tais aquisições lhes proporcionam maior bem-estar. O excedente do consumidor mede quão maior será o bem-estar das pessoas em conjunto, por poderem adquirir um produto no mercado (PYNDICK; RUBINFELD, 1994).

O excedente do consumidor corresponde ao benefício total obtido pelo consumo de um determinado produto, subtraído do custo total de sua aquisição (PYNDICK; RUBINFELD, 1994).

O excedente do produtor, por sua vez, é representado pela área sombreada situada abaixo do preço de equilíbrio do mercado P_e e acima da curva do CMP , isto é, a composição da área sombreada C com a área sombreada D do Gráfico 6 que forma um trapézio retângulo cuja área total é $C+D$.

O excedente do produtor mede a diferença entre o preço de mercado recebido pelo produtor e o custo marginal da produção (PYNDICK; RUBINFELD, 1994).

A partir da equação do Custo Marginal Privado e da equação do Benefício Marginal Externo foi incorporado ao modelo o Custo Marginal Social (CMS). O Custo Marginal Social é definido como a diferença entre o Custo Marginal Privado e o Benefício Socioambiental, conforme equação 67.

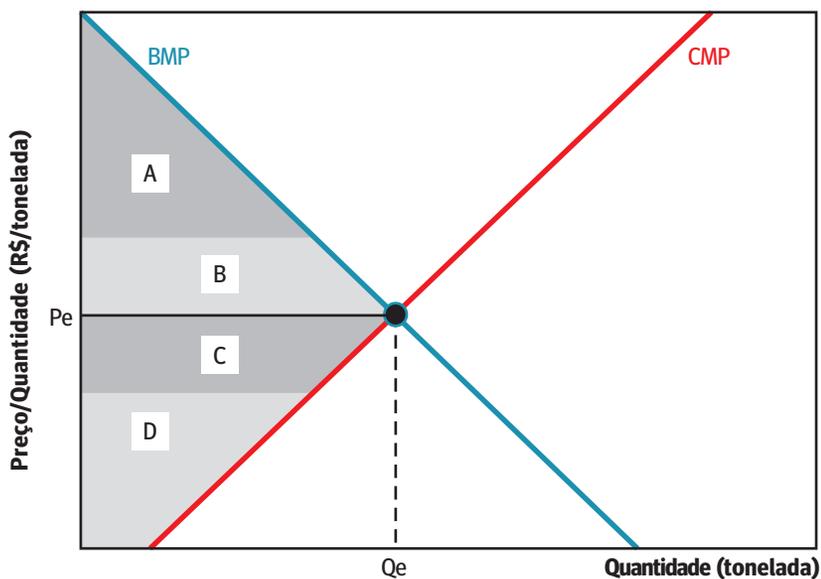
$$CMS = CMP - BSA \quad (67)$$

Já foi visto que o equilíbrio competitivo é atingido quando $CMP=BMP$ onde a quantidade de (equilíbrio) de mercado é Q_e . Entretanto, para o caso de SAFs de cacauero da BR-230 o equilíbrio (eficiente) de mercado ocorre quando $CMS=BMP$, isto é, para a quantidade Q_s (ponto de coordenadas Q_s e P_b) das curvas de CMS e BMP (Gráfico 7).

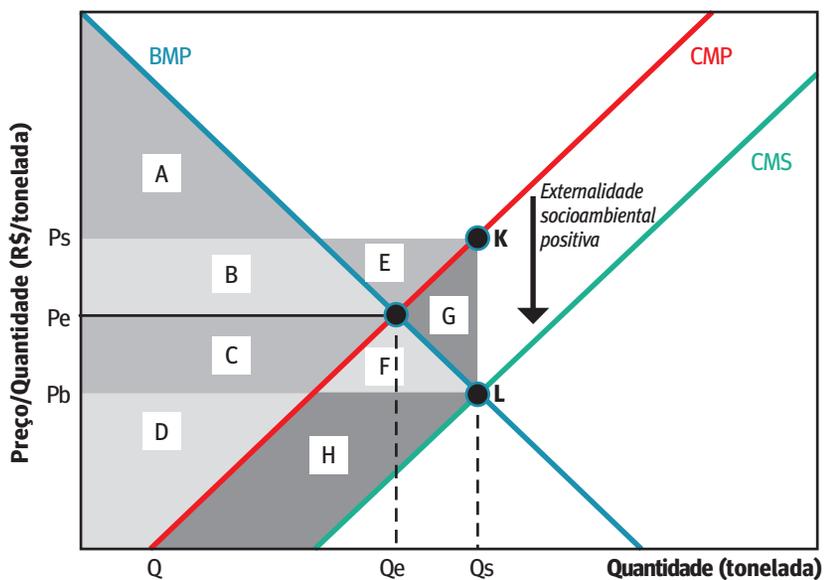
O benefício do subsídio (Externalidade Socioambiental Positiva) recai parcialmente sobre o consumidor (composição da área sombreada C com a área sombreada F , isto é, $C+F$) e parcialmente sobre o produtor (composição da área sombreada B com a área sombreada E , isto é, $B+E$). Além disso, o preço por tonelada pago pelo

Gráfico 6. Benefício Marginal Privado e Custo Marginal Privado

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

**Gráfico 7. Subsídio do Mecanismo de Compensação do REDD**

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



7. Carbono e mercado

consumidor é P_b e a quantidade que será adquirida pelos consumidores é informada pela curva do *BMP* correspondendo ao preço por tonelada P_b .

Para os produtores rurais de SAFs de cacaueteiro da BR-230, o preço líquido por tonelada que receberão é P_s . A quantidade que produzirão pode ser lida a partir da curva do *CMS*. Assim, a quantidade que os produtores vendem deve ser igual à quantidade que os consumidores adquirem: Q_s .

Portanto, como apenas uma quantidade é comprada e vendida, esta corresponde ao preço por tonelada P_b conforme a curva do *BMP* e ao preço por tonelada P_s conforme a curva do *CMS*, de tal forma que a diferença entre P_s e P_b seja igual ao valor do subsídio (Externalidade Socioambiental Positiva) por tonelada, representada pela distância *KL*. Assim, o benefício do subsídio é compartilhado pelos consumidores e pelos produtores.

Existindo subsídio, o preço líquido recebido pelo vendedor excede o preço pago pelo comprador, e a diferença entre os dois é o valor do subsídio (PYNDICK; RUBINFELD, 1994).

Com o subsídio (Externalidade Socioambiental Positiva), tem-se não somente um incremento no excedente do consumidor (composição da área sombreada *C* com a área sombreada *F*, isto é, $C+F$) como também um incremento no excedente do produtor (composição da área sombreada *B* com a área sombreada *E*, isto é, $B+E$). O benefício social líquido, ou seja, o benefício para a sociedade do estoque de carbono ou mecanismo de compensação, é composto pela área sombreada $F+H$.

Desta forma, foi dimensionada a Externalidade Socioambiental Positiva para a atividade produtiva de SAFs de cacaueteiro da BR-230, no qual a partir do *BSA* foi encontrado o seu *CMS*. De outra forma, também para o *BSATACS*, foi encontrado o respectivo *CMS* chamado de *CMSTACS*.

Desta forma, os SAFs de cacaueteiro da BR-230, mantendo constante a produtividade e o carbono estocado no tempo, o *BSA* que compõe a Externalidade Socioambiental Positiva varia somente se o VCE variar, portanto, a Externalidade Socioambiental Positiva para o mecanismo de compensação pode assumir qualquer valor em Toneladas de Carbono.

7.4 A externalidade socioambiental positiva do REDD e o valor presente líquido

O método do Valor Presente Líquido (VPL) tem por finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa

de investimento, ou seja, ele mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. Não existindo restrição de capital, argumenta-se que esse critério leva a escolha ótima, pois maximiza o valor da empresa (SAMANEZ, 2007). Para o estabelecimento do VPL de SAFs de cacauero na Amazônia foi utilizada a definição de VPL a partir da seguinte expressão 68.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1+k)^t} \quad (68)$$

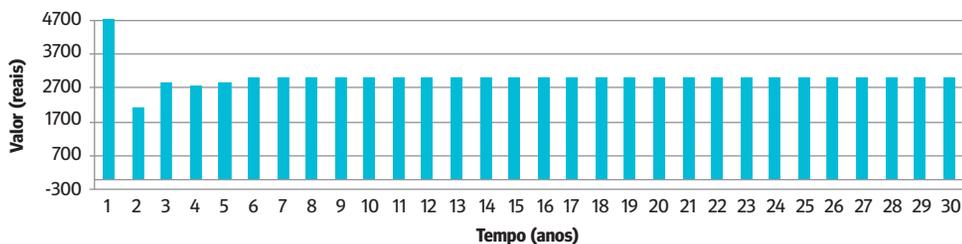
em que VPL é o valor presente líquido, I é o investimento inicial, R_t são as receitas no período t em anos, C_t são os custos no período t em anos, n é a duração do projeto em t anos e r é a taxa de desconto.

Assim, a partir dos dados de Custos e Receitas para SAFs de Cacau x Essências determinou-se o VPL para trinta anos de atividade produtiva. A taxa de juros sugerida na proposta do modelo é de 4% ao ano, pois segue a linha de crédito oferecida pelo Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO).

Os custos totais ou o orçamento para implantação e manutenção de um hectare de sistema agroflorestal de cacauero e essências florestais é apresentado por Almeida et al. (2010). Os dados de custo de implantação e manutenção anual são mostrados no Gráfico 8 para um período de trinta anos.

Gráfico 8. Custos Nominais de Implantação e Manutenção de SAFs de cacauero para um período de trinta anos.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010).



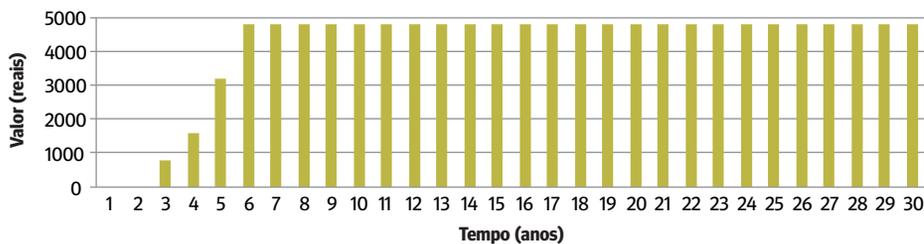
Almeida et al. (2010) mostram receitas geradas da produção de SAFs de Cacau x Essências na Amazônia provenientes da venda de cacau a partir da produtividade anual.

7. Carbono e mercado

Os valores das receitas estão em reais e as receitas são provenientes única e exclusivamente da venda de amêndoas de cacau para o mercado. No Gráfico 9 são mostradas receitas anuais de SAFs para um hectare para um período de trinta anos.

Gráfico 9. Receitas Nominais Anuais de SAFs de cacau para um período de trinta anos.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010).



8. Resultados e Discussões

No capítulo anterior foi demonstrado a técnica e o método teórico para estabelecimento da Externalidade Socioambiental Positiva e posterior compensação financeira aos SAFs de cacaueteiro da BR-230.

A implantação e manutenção de uma atividade produtiva, como os SAFs de cacaueteiro na região da Transamazônica tem possibilidade de conservar e manter os serviços ambientais da região gerando benefícios externos e externalidades positivas. Entretanto, mais do que conservar, os SAFs já foram implantados em regiões antes desmatadas ou degradadas. Porém, não há um mecanismo de compensação para os que mantêm uma floresta preservada ou uma atividade produtiva que gere renda e mantenha os serviços ambientais na Amazônia.

Para encontrar os benefícios dos serviços ambientais dos SAFs de cacaueteiro, que é um fator intangível, deve haver o questionamento de como atribuir um valor monetário para os serviços ambientais dos SAFs de cacaueteiro, que possa ser contabilizado ou computado como um fator de aumento de qualidade ambiental ou crescimento da manutenção deste serviço ambiental. Portanto, apesar dos serviços ambientais disponibilizados pelos SAFs serem inúmeros, a qualidade do serviço foi estabelecida a partir da capacidade ou quantidade de carbono estocado por ano por um hectare de SAF de cacaueteiro ou a Taxa de Variação do Estoque de Carbono no Tempo.

Todas as equações encontradas mostram a tendência do fenômeno a partir de regressão usando o método dos mínimos quadrados. Maior coeficiente de determinação ou R^2 foi o critério estatístico de seleção do melhor modelo para as equações com intervalo de confiança de 90%.

Para o talhão Paulo Júlio com idade de 10 anos, a equação 69 representa a alometria do talhão. B10 é a biomassa em função do DAP para o talhão Paulo Júlio com 10 anos de implantação com coeficiente de determinação $R^2=0.90$.

8. Resultados e Discussões

$$\ln B_{10} = (-2.4321235 + 1.6652519dap^{0.5}) \quad (69)$$

O Gráfico 10 mostra a biomassa para todas as classes de DAPs do cacaueteiro do talhão Paulo Júlio que teve sua implantação em 2001 na CEPLAC de Medicilândia com $R^2=0.90$.

No Gráfico 10, no eixo das abcissas, temos o DAP das árvores em centímetros, enquanto que no eixo das ordenadas temos a biomassa em toneladas. A curva é representada por uma exponencial, o que reflete o aumento de biomassa em função do DAP das árvores. As árvores medidas tinham DAP mínimo de 5 cm e máximo de 18 cm, cuja média foi de 12,7 cm.

Para o talhão D6 com idade de 28 anos, a equação 70 representa alometria. B_{28} é a biomassa para o talhão com 28 anos de implantação.

$$\ln B_{28} = (-2.386954 + 1.6729013dap^{0.5}) \quad (70)$$

O Gráfico 11 mostra a biomassa para todos os DAPs do cacaueteiro do Talhão D6 que teve sua implantação em 1983 na CEPLAC de Medicilândia com $R^2=0.90$.

Ainda no Gráfico 11, no eixo das abcissas temos o DAP das árvores em centímetros, enquanto que no eixo das ordenadas temos a Biomassa em Toneladas. Também, a curva é representada por uma exponencial, o que reflete o aumento de biomassa em função do DAP das árvores. As árvores medidas tinham DAP mínimo de 5 cm e DAP máximo de 27 cm e cuja média dos DAPs do Talhão é de 15,0 cm.

De outra forma, para o talhão D3 com idade de 32 anos, a equação 71 representa a alometria do Talhão. B_{32} é a Biomassa para o Talhão com 32 anos de implantação com $R^2=0.90$.

$$\ln B_{32} = (-2.3814833 + 1.6717688dap^{0.5}) \quad (71)$$

O Gráfico 12 mostra a Biomassa para todos os DAPs do cacaueteiro do Talhão D3 que teve sua implantação em 2001 na CEPLAC de Medicilândia.

No Gráfico 12, no eixo das abcissas temos o DAP das árvores em centímetros, enquanto que no eixo das ordenadas temos a biomassa em toneladas. Também a curva é representada por uma exponencial, o que reflete o aumento de biomassa em função do DAP das árvores. As árvores medidas também apresentavam DAP mínimo de 5 cm e DAP máximo de 30 cm e cuja média dos DAPs do Talhão é de 15,6 cm.

Gráfico 10. Curva da Biomassa (toneladas) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 10 anos de idade da BR-230 para $5 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 18 \text{ cm}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

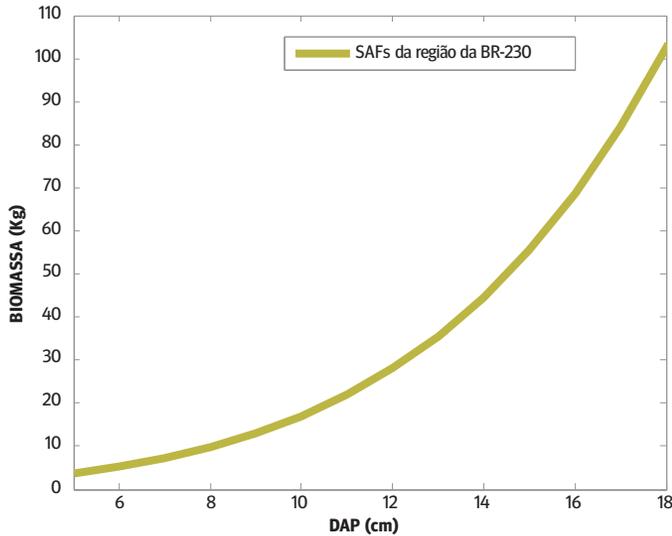
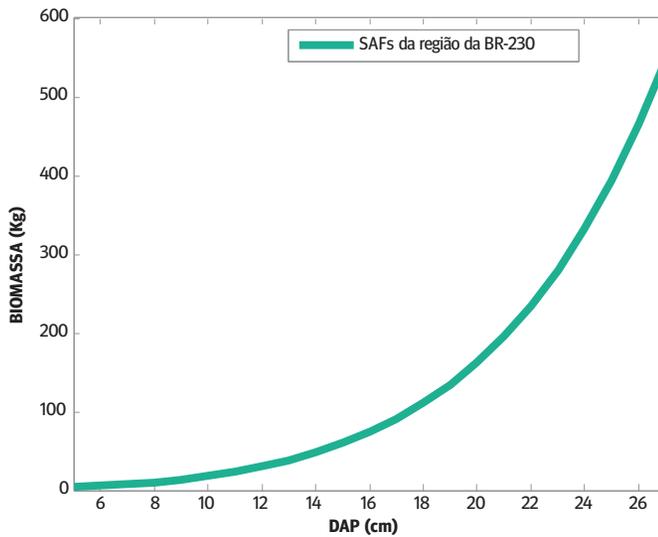


Gráfico 11. Curva da Biomassa (toneladas) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 28 anos de idade da BR-230 para $5 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 27 \text{ cm}$

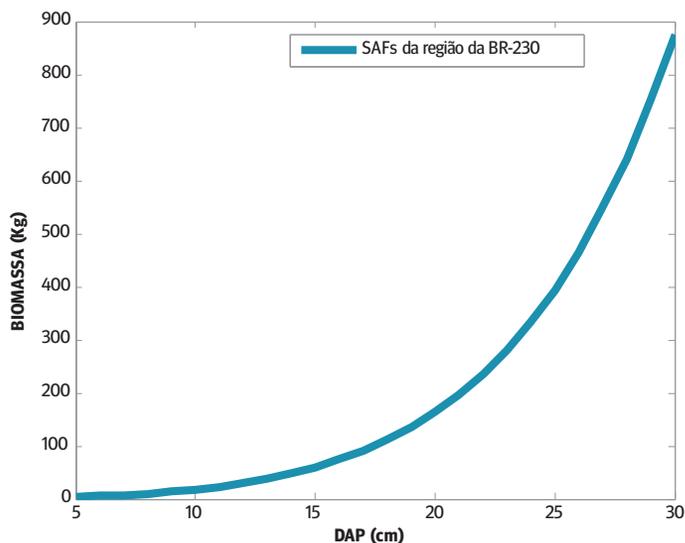
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



8. Resultados e Discussões

Gráfico 12. Curva da Biomassa (toneladas) em função do DAP (cm) para cacauzeiros de SAFs com 32 anos de idade da BR-230 para $5 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 30 \text{ cm}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



Por outro lado, para a estimativa de biomassa das árvores de Essência Florestais foi utilizado o Método Indireto. Dependendo da faixa do DAP pode-se usar as equações alométricas de Brown et al. (1989) - equação 42 - para $\text{DAP} < 60 \text{ cm}$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,84$. Para a outra faixa de DAP usa-se a equação alométrica Brown (1997), equação 43 para $60 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 148 \text{ cm}$ cujo $R^2 = 0,97$.

O Gráfico 13 mostra a Curva da Biomassa em toneladas em função do DAP, medido em centímetros, para as essências florestais para DAP menor que 60 centímetros. O Gráfico 14 mostra a Curva da Biomassa em toneladas em função do DAP para as essências florestais com DAP maior ou igual a 60 cm e menor que 148 cm.

Para a biomassa em função do tempo “*Bcacau*”, foi realizada regressão usando o método dos mínimos quadrados para os valores de Biomassa Total dos Talhões inferidos. O resultado da regressão gerou a equação 72 abaixo com $R^2 = 0,99$.

$$B_{cacau} = 0.0086603651 + 0.036026278t^2 + 11.496806t^{0.5} \quad (72)$$

O Gráfico 15 mostra a Curva da Biomassa dos cacauzeiros em toneladas em função do tempo em anos.

Gráfico 13. Curva da Biomassa para essências Florestais para dap < 60 cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

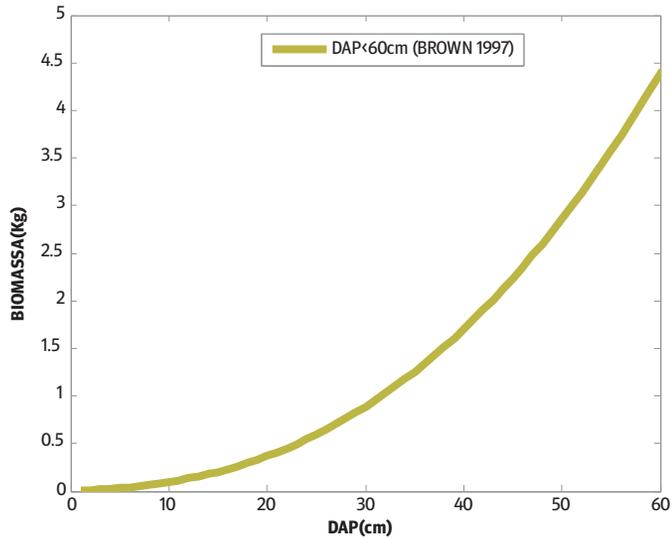
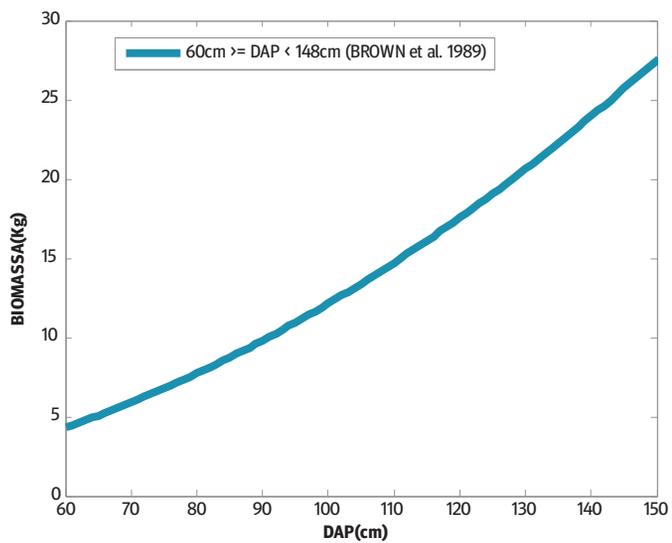


Gráfico 14. Curva da Biomassa para essências Florestais para 60 cm \geq dap < 148 cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

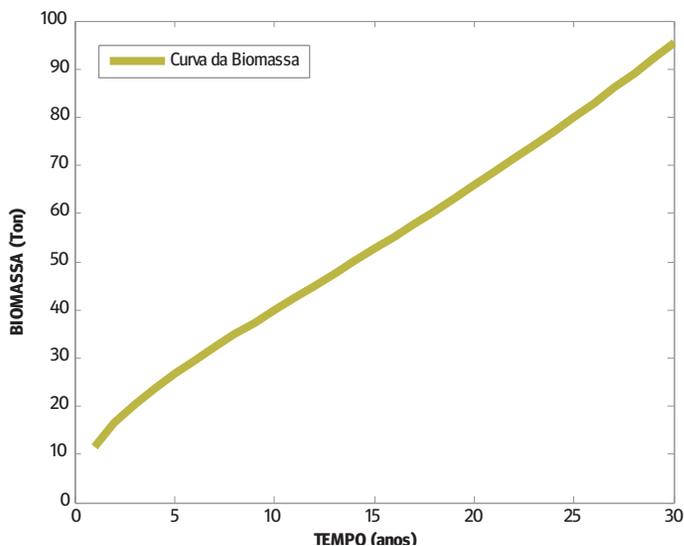


8. Resultados e Discussões

Utilizando as equações alométricas para cada uma das 64 essências florestais, foi encontrada a biomassa individual e, portanto, a soma da biomassa de todas as árvores de essências florestais de cada talhão gerou a biomassa total das árvores de essências florestais para os três talhões com idades diferentes.

Gráfico 15. Curva da Biomassa (toneladas) em função do tempo (anos) para cacauzeiros de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



Para encontrar a biomassa em função do tempo para as essências florestais “*Bessencias*” foi realizada regressão utilizando o método dos mínimos quadrados com a informação de biomassa para os três talhões. A equação 73 mostra a estimativa de Biomassa das essências florestais com $R^2 = 0.99$.

$$Bessenciais = -1.1477024 + 7.3935672t + 0.0000000000010202949e^t \quad (73)$$

A biomassa das essências florestais em função do tempo é representada pelo Gráfico 16. O conjunto da equação 72 da biomassa total dos cacauzeiros com a equação 73 da biomassa total das essências florestais para cada talhão gerou os dados de biomassa total em função do tempo para os SAFs da região da Transamazônica. A curva de Biomassa Total para os SAFs da BR-230 do Gráfico 17 demonstra a estimativa de acúmulo de biomassa em função do tempo para 30 anos de produção de SAFs de cacauzeiro.

Gráfico 16. Curva da Biomassa (toneladas) em função do tempo (anos) para Essências Florestais de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

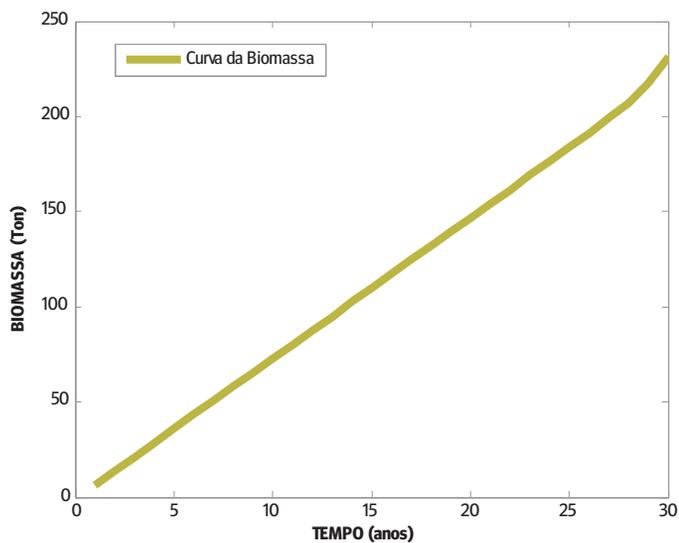
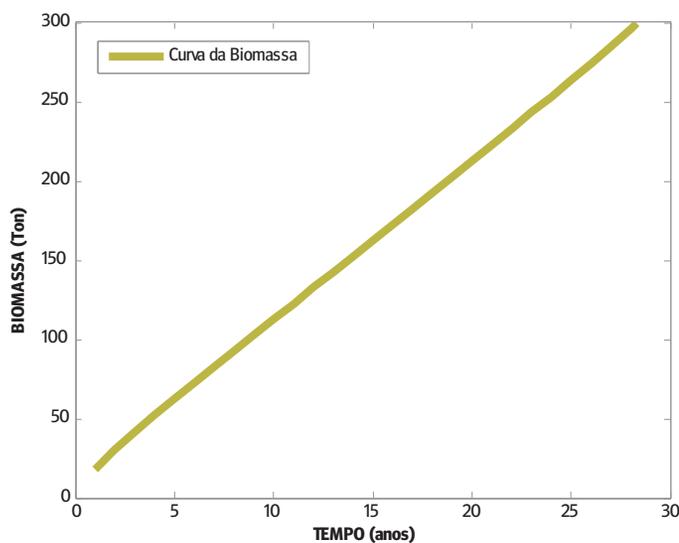


Gráfico 17. Curva da Biomassa Total (toneladas) em função do tempo (anos) de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



8. Resultados e Discussões

Gráfico 18. Curva do Carbono (toneladas) em função do tempo (anos) para cacauzeiros de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

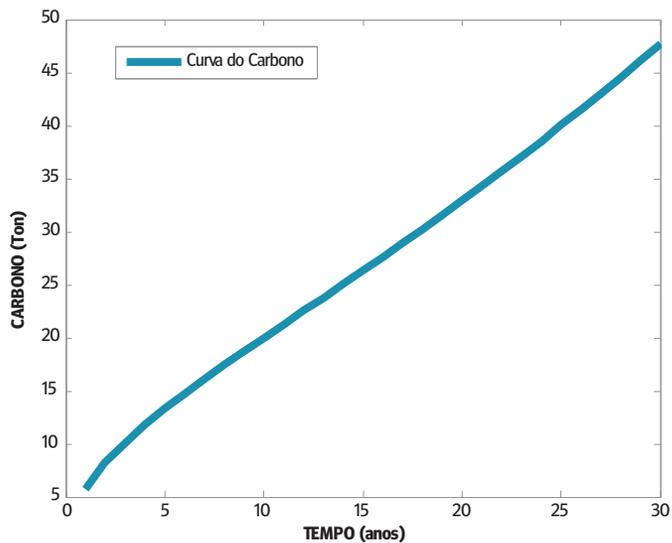


Gráfico 19. Curva do Carbono (toneladas) em função do tempo (anos) para essências florestais de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

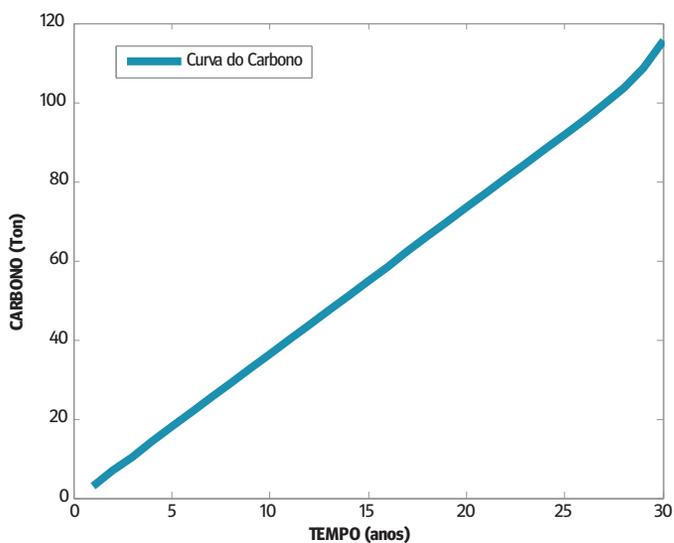
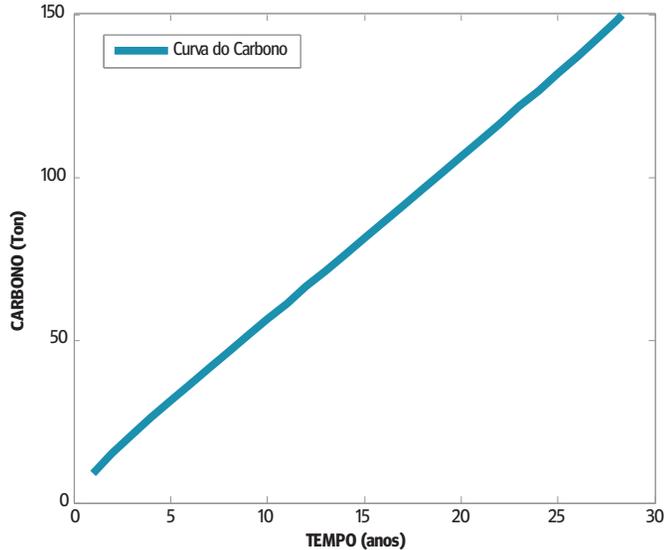


Gráfico 20. Curva do Carbono Total (toneladas) em função do tempo (anos) de SAFs da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



O Gráfico 18 mostra a curva da estimativa de estoque de carbono para os cacauzeiros em toneladas em função do tempo em anos. Além disso, o Gráfico 19 mostra a curva do estoque de carbono para as essências florestais em toneladas em função do tempo em anos e o Gráfico 20 mostra o acúmulo de carbono total de SAFs da BR-230.

Esta biomassa do SAF de cacauzeiro se relaciona com as 930 árvores de cacau do SAF e com as 64 espécies de essências florestais que compõem o SAF demonstrando a capacidade de acúmulo de biomassa por SAFs da BR-230 exposta pelo fenômeno representado por suas equações. Entretanto, mais do que encontrar a biomassa em função do DAP na forma de equação alométrica, esta equação de biomassa em função do DAP pode ser utilizada para os SAFs da região do Xingu, pois a região estudada que contém os municípios de Medicilândia, Altamira, Brasil Novo, Anapu e Uruará tem características que promovem o acúmulo de biomassa de acordo com a lei definida nas equações de biomassa apresentadas, como por exemplo, tipo de solo, ciclagem de nutrientes, clima e etc. Desta forma, a partir das equações alométricas e dispondo da quantidade de árvores e do DAP tanto das árvores de cacau quanto de essências florestais, há possibilidade de se inferir para toda e qualquer árvore, seja de cacauzeiro ou de essência florestal, a biomassa individual que cada árvore pode acumular e, portanto, estimar a biomassa para cada situação

8. Resultados e Discussões

ou disposição de SAF refletindo a capacidade do serviço ambiental. De antemão o método direto de estimativa de biomassa para os cacauzeiros deu suporte para a estimativa da Biomassa do SAF através das equações alométricas para o cacauzeiro e essências florestais.

Existem outros trabalhos sobre estimativa de biomassa de SAFs de cacauzeiro, como, por exemplo, Santos et al. (2004), que estudaram sete SAFs de cacauzeiro em várzeas do estado do Pará e estimaram a biomassa dos SAFs entre 128,79 ton/ha (mínima) e 402,79 ton/ha (máxima) usando o método indireto com as equações alométricas desenvolvidas por Bartelt et al. (2000), cujas características climáticas e de solo são diferentes da região em questão. Há também o próprio trabalho de Bartelt et al. (2000) que construiu suas equações de biomassa para SAFs de cacauzeiro para uma área às margens do rio Tocantins, no estado do Pará. Contudo, trabalhos que constroem equações alométricas para o cacauzeiro são escassos, a biomassa de SAFs da região do Xingu é pouco estudada e menos ainda são os estudos que estimam a biomassa em função do tempo para esta região. Portanto, as equações produzidas refletem a estimativa de biomassa para a região do Xingu com suas características peculiares que se refletem no acúmulo de biomassa dependentes de vários fatores, como, por exemplo, clima, solo, intensidade de chuvas e etc.

O acúmulo de biomassa dos SAFs de cacauzeiro compreende o acúmulo tanto dos cacauzeiros quanto das essências florestais que compõem o SAF. Desta forma, a partir do inventário florestal de SAFs da região em estudo, há possibilidade de se estabelecer ou estimar o quanto de biomassa cada SAF poderá acumular durante certo período de tempo. De posse de equações alométricas de biomassa em função do tempo para os SAFs da região da BR-230, os produtores rurais têm possibilidades de estimar primeiramente, a biomassa e o estoque de carbono de seus SAFs, portanto, iniciar a partir da dimensão ambiental o processo de adequar a cultura à sustentabilidade de suas propriedades rurais. Assim, os valores de Carbono Estocado no Tempo para as propriedades já fornecem informação de estoque de carbono pelo SAF, isto é, tem potencial para trazer informações do primeiro desafio que é incorporar informações sobre a dimensão ambiental do SAF de cacauzeiro da BR-230.

Além da informação de estimativa de biomassa de SAFs de cacauzeiro para idades diferentes na região da BR-230, a biomassa dos três talhões estudados é apresentada na Tabela 8. Nesta tabela são individualizados os resultados obtidos para biomassa dos cacauzeiros e das essências florestais dos SAFs.

Na Tabela 9 segue informação de biomassa e biomassa média para vários tipos de vegetação na Amazônia.

Tabela 8. Estimativa de Biomassa dos SAFs de cacaueteiro da BR-230 (t/ha)

Fonte: Elaborado pelo Autor

	Talhão Paulo Júlio 10 anos	Talhão D6 28 anos	Talhão D3 32 anos
Cacaueiros	40,16	89,25	102,79
Essências	71,67	208,05	316,48
Total	111,83	297,30	419,27

Tabela 9. Estimativa de Biomassa para diferentes ambientes na Amazônia (t/ha)

Autor	Tipo de Vegetação	Biomassa
BROWN E LUGO (1982) calculado por HOUGHTON et al. (1987)	Floresta	352
BROWN E LUGO (1984)	Floresta	155,1
FEARNSIDE (1985)	Floresta	362
FEARNSIDE (1986), (1987)	Floresta	254
BROWN et al. (1989)	Floresta	169,68
FEARNSIDE (1994)	Floresta	428
KLINGE et al. (1995)	Floresta de Várzea	178
TSUCHIYA e HIRAOKA (1999)	Floresta	289
SANTOS et al. (2004) – idade: 12 anos	SAF	134,3

Foi encontrada por Fearnside (1994) a estimativa de biomassa de 428 t/ha o que é compatível com o estoque de biomassa de um SAF de 32 anos de idade, semelhante ao Talhão D3 da CEPLAC de Medicilândia. Por outro lado, Tsuchiya e Hiraoka (1999) encontram um estoque de carbono de floresta de 289 t/ha o que está próximo de um acúmulo de biomassa de um SAF de 28 anos da BR-230, isto é, aproximadamente o mesmo acúmulo do Talhão D6. Além disso, Santos et al. (2004) estimam a biomassa de SAFs de cacaueteiro de várzea em Cameté no estado do Pará com doze anos de idade e encontra o estoque de 134,3 t/ha. O Talhão Paulo Júlio da CEPLAC de Medicilândia com dez anos de idade acumula 111,83 t/ha. Para a estimativa de biomassa de SAFs da BR-230 a partir das equações usadas nos fornece o acúmulo de biomassa para idade de doze anos de 132,6 t/ha, o que é consistente com o resultado de biomassa para SAFs de Cameté.

8. Resultados e Discussões

Os valores de biomassa da Tabela 9 são estanques, isto é, foram medidos em um sítio com idade determinada e não apresentam equação de biomassa em função do tempo. Portanto, as equações encontradas neste estudo traz mais uma informação relacionando à biomassa acumulada em função do tempo a partir da implantação dos SAFs. Portanto, as equações para cacauzeiros e essências florestais encontradas são equações que em qualquer período de tempo há possibilidade de se estimar não só a biomassa no tempo, mas também a quantidade de biomassa estocada isoladamente em cada espécie dos sistema.

Para a estimativa de Biomassa dos cacauzeiros dos SAFs foi encontrada isoladamente a biomassa dos compartimentos fuste, galhos e folhas, cujos resultados médios são apresentados na Tabela 10. Os galhos contêm a maior parte da biomassa do cacauzeiro com quase dois terços de toda a biomassa da árvore. Não foi levada em consideração neste trabalho a biomassa dos frutos e nem a biomassa abaixo do solo, o que poderia elevar a estimativa da capacidade total de acumular biomassa dos SAFs de cacauzeiro.

Tabela 10. Biomassa para cada Compartimento dos Cacauzeiros da BR-230

Fonte: Elaborado pelo Autor

Fuste	Galhos	Folhas
26,43 %	65,38 %	8,19 %

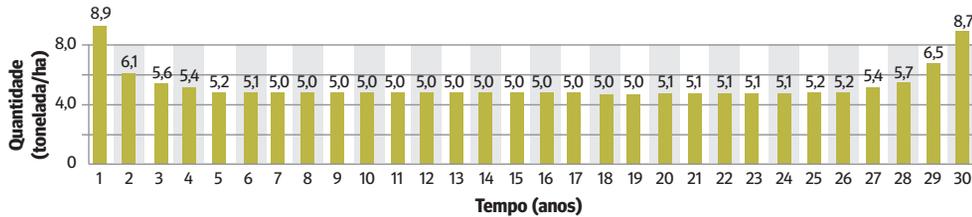
Finalmente, a composição do estoque de carbono dos cacauzeiros e das essências florestais gerou a curva de Estoque de Carbono Total dos SAFs de cacauzeiro da BR-230 para um ciclo de 30 anos. A Taxa de Variação do Estoque de Carbono Total no tempo t de um hectare de SAF de cacauzeiro é representada no Gráfico 21. Além de apresentar o estoque de carbono em cada ano, também foi realizada regressão e encontrou-se a equação 74 que descreve o Carbono Estocado no Tempo (CET) cujo $R^2=0.998$. O Gráfico 21 mostra o Carbono Estocado no Tempo para SAFs da região da BR-230.

$$CET = 4.817 + 0.000485t^2 + 0.000000000000032014 e^t + \frac{4.0413}{t^{1.5}} \quad (74)$$

Portanto, para a quantificação dos benefícios oriundos do mecanismo de compensação define-se o Carbono Estocado no Tempo para um hectare de SAF

Gráfico 21. Carbono Estocado no Tempo (CET) de SAFs de cacaueteiro da Região da BR-230

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)



de cacaueteiro e, que é uma informação inerente ao Benefício Ambiental dos SAFs de cacaueteiro da BR-230. Com isso, a Compensação é relativa ao carbono estocado a cada ano, o que reflete o quanto o SAF pode ser fundamental para o ambiente como uma atividade que traz benefícios para a região. O carbono estocado é de extrema importância, pois se há dados da distribuição da quantidade de estoque por ano do SAF, tem-se a direção fundamental para traçar a relevância do SAF não somente para a dimensão ambiental, mas também, o valor para compor a dimensão social e a econômica. Além disso, como estabelecido pelo ciclo do carbono, este serviço do acúmulo de carbono, não é restrito unicamente à região em que está estabelecido o SAF.

De acordo com o Gráfico 21, a linha de tendência mostra que o Carbono Estocado no Tempo variou de um mínimo de 5,0 toneladas de Carbono por hectare do oitavo ao décimo nono ano até um máximo de 8,9 Toneladas de Carbono por hectare no primeiro ano. A Taxa de variação do Carbono em trinta anos segue uma regra de distribuição de queda de estoque de carbono do primeiro ao sétimo ano, com estabilização nos anos intermediários e, crescimento do estoque anual do vigésimo quinto ao trigésimo ano. Tal distribuição de maior estoque nos primeiros anos é benéfica, pois demonstra a importância da atividade nos anos que compõem a instalação da atividade. Além disso, o aumento de estoque nos últimos anos corrobora com a importância dos SAFs para o estoque de carbono não somente durante os primeiros anos, mas também a grande relevância da atividade próximo do final do ciclo de 30 anos.

Além disso, em vez de usar o Carbono Estocado no Tempo for usada a taxa anual de sequestro de carbono para os SAFs da BR-230 de acordo com equação 63 e do primeiro ao vigésimo quinto ano, a taxa anual de sequestro de carbono terá um valor anual de 5,3 tC/ha, para os trinta anos de atividade o acréscimo é pequeno,

8. Resultados e Discussões

chegando a 5,4 tC/ha por ano. Entretanto, para o caso do uso do Carbono Estocado no Tempo a média dos valores totais é de 5,1 tC/ha por ano, mas os dados refletem ano a ano toda a taxa de variação do estoque de carbono, o que pode ser considerado mais robusto que o uso da taxa anual de sequestro de carbono, permitindo transferir ao mecanismo de compensação valores absolutos no lugar de valores médios o que se aproxima muito mais da realidade do fenômeno.

Para o mecanismo de compensação, o Carbono Estocado no Tempo (*CET*) pode ser eleito como uma das mais importantes variáveis, pois é a razão essencial para o valor da atividade produtiva. Além disso, é muito importante para compor o benefício socioambiental, para sua relação com a externalidade socioambiental positiva.

Para a composição do Benefício Socioambiental foi utilizado não somente o Carbono Estocado no Tempo, como também a produtividade do cacau em SAFs para cada ano e mais o Valor do Carbono Estocado (*VCE*) em US\$/ton, que no caso são demonstrados a seguir o *BSA* para os seguintes valores: US\$ 3.67/tC, US\$ 18.35/tC, US\$ 36.7/tC e US\$ 73.4/tC.

Com os valores de Carbono Estocado no Tempo e da Produtividade do Cacau há condições de compor o Benefício Socioambiental para os SAFs de cacau da BR-230 levando em consideração os estoques de carbono em 30 anos.

A regressão dos dados do *BSA* para *VCE* em US\$ 18.35/tC foi realizada em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*), encontrando-se a equação 80 abaixo em que *Q* está em tonelada e cujo $R^2=0.9834$.

$$BSA = 63.571805 + \frac{56589.462}{Q^2} \quad (75)$$

As equações do *BSA* para *VCE* US\$ 3.67/tC, US\$ 18.35/tC, US\$ 36.7/tC e US\$ 73.4/tC. são respectivamente 0,2 vez, 2,0 vezes e 2,4 vezes a equação 75.

Foram selecionadas variáveis positivas para compor o *BSA*, pois se trata de um ente que reúne atributos favoráveis, assim, em todos os casos, para qualquer valor de *VCE* sempre o *BSA* é positivo. Além disso, o *BSA* foi composto de tal forma que quanto maior o valor do *VCE*, maior será a importância do *BSA* da atividade produtiva dos SAFs de cacau. Portanto, se a atividade aumenta o seu acúmulo de carbono anual, o *BSA* também é acrescido. Portanto, o *BSA* faz convergir os verdadeiros valores dos benefícios ambientais ou o serviço carbono.

De outro lado, como Gockowski e Sonwa (2010) encontraram taxas de variação de carbono para medir o “estoque de carbono médio no tempo” ou *TACS*. A

equação 76 do *BSATACS* foi ajustada por regressão dos dados cujo $R^2=0.974$ para *VCE* de US\$ 18.35/tC. As equações do *BSATACS* para *VCE* US\$ 3.67/tC, US\$ 36.7/tC e US\$ 73.4/tC são respectivamente 0,2 vez, 2,0 vezes e 2,4 vezes a equação 76. O *BSATACS* foi calculado para o TACS de 5,3 tC ha^{-1} por ano estimado para os SAFs da BR-230 em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*).

$$BSATACS = 78.739839 + \frac{11775.18}{Q^2} \quad (76)$$

Logo, tanto para o *BSA* quanto para o *BSATACS* há a rotina para compor a Externaldade Socioambiental Positiva para os SAFs da BR-230. Apesar das equações do *BSA* e do *BSATACS* serem diferentes, porém suas curvas refletem resultados bem próximos, o que corrobora com a afirmação de que o modelo tem substância para formar ou produzir o mecanismo de compensação.

Após terem sido encontrados os valores para o *BSA* e para o *BSATACS*, isto é, foi criada a curva que define este Benefício que está alicerçado no Carbono Estocado pela atividade produtiva, se promoveu a oportunidade da existência da Externaldade Socioambiental Positiva para os SAFs de cacau.

O instrumento de mercado do cacau pode ajudar no estabelecimento da valoração do mecanismo de compensação a partir do mercado local do cacau. Assim, o contexto de mercado para o produtor rural que mantém atividade produtiva rentável na Amazônia, isto é, SAF de cacau que gera renda foi estabelecida com a estimativa do *BMP* e do *CMP* de mercado local de cacau. Portanto, a dimensão econômica está proeminente no fato de uma variável econômica compor este instrumento.

Na situação ou no caso de não termos o *BSA*, o que é o caso atual dos produtores da BR-230, há uma divergência entre os benefícios privados e os benefícios sociais. Desse modo, a alocação de recursos em um mercado tão somente baseado em enfoque de custos e benefícios privados será ineficiente quando visto numa perspectiva social mais ampla, isto é, quando a dimensão ambiental é levada em consideração junto com as dimensões social e econômica. Desta forma, a dimensão ambiental está atrelada a dimensão econômica, pois a externalidade socioambiental é inserida pelo Mercado. A dimensão ambiental também se relaciona com a dimensão social, pois nesta situação há uma externalidade socioambiental da conduta do produtor rural ao disponibilizar serviços ambientais livremente.

Os resultados para a equação 65 da demanda é apresentado na Tabela 11. Os sinais dos coeficientes das variáveis estão em concordância com o esperado para a

8. Resultados e Discussões

demanda de cacau. O intercepto da equação da demanda tem sinal positivo o que é plenamente concordante com a teoria. A relação entre preço e quantidade demandada foi negativa, ou seja, mostra uma relação inversa entre o preço do produto e a quantidade demandada do mesmo.

A variável Renda é não significativa (Prob.=0.5369), com isso o efeito desta variável não influencia no consumo. A variável Dummy introduzida no modelo representa adequadamente os efeitos diferenciais de fenômenos que não têm captação física e são produzidos pelo comportamento dos agentes (econômicos) devido, por exemplo, certificação do produto. A variável do preço do açaí envolve uma relação de “substitutibilidade” por gosto e preferência como substituto da amêndoa de cacau.

De outro lado, os resultados para a equação 66 da oferta é apresentado na Tabela 12. Para o resultado dos sinais dos coeficientes ou parâmetros das variáveis estão todos de acordo com as teorias mercado.

O intercepto da equação da oferta apresenta sinal positivo o que é plenamente concordante com a teoria. No lado da oferta, encontrou-se uma relação positiva entre as variáveis “quantidade” e “preço” do cacau, pois a preços maiores o produtor tende a ofertar mais do seu produto como causa da expectativa de obter lucro. O coeficiente da variável salário rural foi negativo, indicando que um incremento no salário, que representa o custo de produção, induz diminuição da oferta do produto, *ceteris paribus*. O crédito rural por unidade de área da lavoura apresenta sinal negativo demonstrando que havendo aplicação de crédito para a agricultura, exceto cacau, há valorização das outras atividades produtivas com possível decréscimo da atividade produtiva do cacau. A Quantidade de cacau defasada encontra-se com valor entre zero e um (0.792089), o que demonstra a convergência para o equilíbrio a longo prazo, isto é, uma boa safra no ano t-1 (ano anterior) pode criar uma boa expectativa para o ano t (ano posterior).

O Gráfico 22 mostra As curvas para o *BMP*, *CMP* e *CMS* para *BSA* com $VCE=US\$73.40$.

O Gráfico 23 mostra as curvas para o *BMP*, *CMP* e *BSATACS* com $VCE=US\$73.40$.

Para o caso dos SAFs de cacau da BR-230 sem o *BSA* tem-se um equilíbrio de mercado ineficiente. Existem externalidades socioambientais positivas dos serviços sociais e ambientais representadas pelo estoque de carbono dos SAFs e que foram materializadas na redução do custo social privado e gerando a curva de externalidade socioambiental positiva. Portanto, há de se internalizar estas externalidades para haver eficiência econômica da atividade produtiva.

Tabela 11. Resultados da equação da demanda de Cacau

Fonte: Elaborado pelo Autor

	Variável Dependente: QCAC ^D (Quantidade de cacau)			
	Coefficiente	Desvio Padrão	Estatística - t	Probabilidade
Constante	45255.72	10612.40	4.264420	0.0002
Preço do Cacau	-4.650582	1.811909	-2.566675	0.0155
Renda	-0.532983	0.853156	-0.624719	0.5369
Variável Dummy	12315.02	3517.812	3.500761	0.0015
Preço do Açaí	21.67104	11.09246	1.953674	0.0601
R-quadrado	0.908281	Média da variável dependente		35856.40
R-quadrado Ajustado	0.883823	Desvio Padrão var. dependente		8731.600
Desvio Padrão da Regressão	2976.150	Soma dos quadrados dos resíduos		1.33E+08
Prob. (Estatística - F)	1.443377			

Tabela 12. Resultados da equação da oferta de Cacau

Fonte: Elaborado pelo Autor

	Variável Dependente: QCACO (Quantidade de cacau)			
	Coefficiente	Desvio Padrão	Estatística - t	Probabilidade
Constante	3338.558	24249.41	0.137676	0.8914
Preço do Cacau	4.191380	2.667758	1.571125	0.1266
Salário Rural	-484.8694	1284.982	-0.377336	0.7086
Crédito Rural da Lavoura	-0.021987	0.007427	-2.960230	0.0060
Quantidade de Cacau (t-1)	0.792089	0.169711	4.667289	0.0001
R-quadrado	0.850421	Média da variável dependente		35856.40
R-quadrado Ajustado	0.810533	Desvio Padrão var. dependente		8731.600
Desvio Padrão da Regressão	3800.675	Soma dos quadrados dos resíduos		2.17E+08
Prob. (Estatística - F)	1.387235			

A curva de Benefício Marginal Privado para a atividade produtiva dos SAFs de cacauero reflete os benefícios privados, pois no ponto de equilíbrio privado temos que a quantidade é $Q_e=35.978$ e $P_e= 3.935,74$ que reflete a quantidade e preço por tonelada que leva a um equilíbrio de ótimo privado. Porém, o equilíbrio de

8. Resultados e Discussões

Gráfico 22. Curva do BMP, CMP e CMS para BSA com VCE=US\$73.40

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

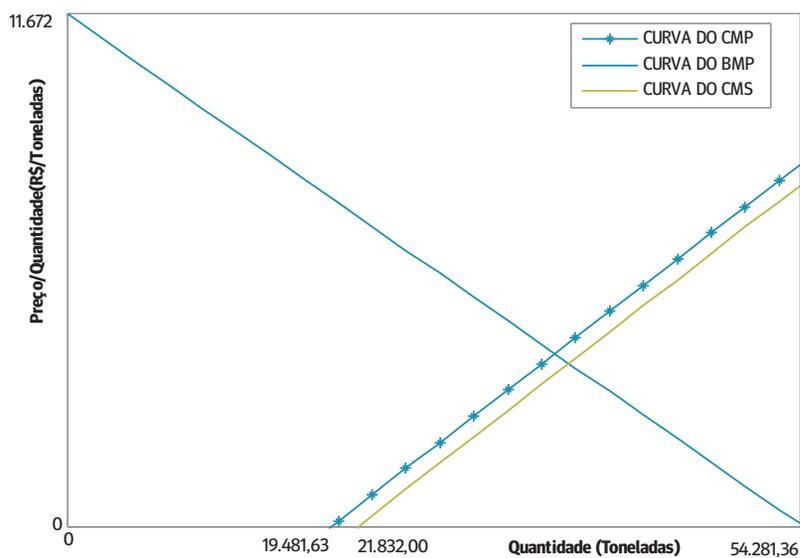
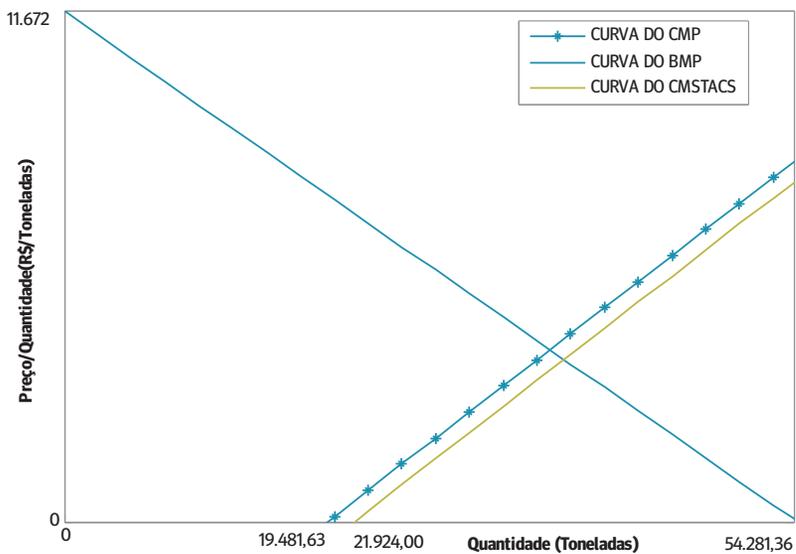


Gráfico 23. Curva do BMP, CMP e CMSTACS para BSATACS com VCE=US\$73.40

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)



ótimo privado não reflete os benefícios sociais, pois no ótimo social Q_s , inclui-se os benefícios dos serviços ambientais da atividade produtiva e, portanto, o ganho da sociedade com a conservação do ambiente.

As Tabelas 13 (*BSA*) e 14 (*BSATACS*) mostram os valores das coordenadas dos pontos $K(Q_s, P_s)$ e $L(Q_s, P_b)$, além dos valores do subsídio para estimativa para os seguintes valores de *VCE*: US\$ 3.67/tC, US\$ 18.35/tC, US\$ 36.70/tC e US\$ 73.40/tC.

O valor de US\$ 18.35/tC (equivalente ao valor de US\$ 5.0/tCO₂) é um valor padrão utilizado pelo Fundo Amazônia para o primeiro período de captação de contribuições para as emissões evitadas no ano calendário de 2006 que se iniciaram em 2008 e contribuirá para o alcance das metas da PNMC, em especial, o objetivo no 4: redução de 42% da taxa de desmatamento no período 2006-2010. Este valor de US\$ 18.35/tC é um dos valores estratégicos para o estudo do mecanismo de compensação,

Tabela 13. Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSA*

Fonte: Elaborado pelo autor

<i>VCE</i> (US\$/t)	Q_s (t)	P_s (R\$/t)	P_b (R\$/t)	<i>ESP</i> = Externalidade (R\$/t)
3.67	3.6040,00	3.950,60	3.922,56	28,04
18.35	3.6287,00	4.009,50	3.869,30	140,20
36.70	3.6596,00	4.083,20	3.802,80	280,40
73.40	3.7214,00	4.230,70	3.669,90	560,80

Tabela 14. Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSATACS*

Fonte: Elaborado pelo autor

<i>VCE</i> (US\$/t)	Q_s (t)	P_s (R\$/t)	P_b (R\$/t)	<i>ESP</i> = Externalidade (R\$/t)
3.67	36.042,00	3.951,13	3.922,0	29,13
18.35	36.299,00	4.012,40	3.866,7	145,65
36.70	36.620,00	4.089,00	3.797,7	291,30
73.40	37.262,00	4.242,10	3.659,5	582,60

8. Resultados e Discussões

pois já usado serve como parâmetro para compor a compensação pela manutenção dos serviços ambientais na Amazônia e conseqüentemente para uma estratégia de REDD.

Para o *BSATACS* os valores da Externalidade Socioambiental Positiva são muito próximos quando comparados com os valores da Externalidade Socioambiental Positiva para o *BSA*, por exemplo, enquanto para o *VCE* de US\$ 18.35/tC para *BSATACS* a externalidade é de R\$145,65/t, para o *BSA* o valor da externalidade é de R\$140,2/t, o que é uma variação de cerca de 4% entre os dois tipos de benefícios. Desta forma, apesar da externalidade para *BSATACS* ser um valor que pode ser usado para representar o benefício do Carbono Estocado nos SAFs da BR-230, a proposta do modelo usando o subsídio com o *BSA* é mais conservadora e, ainda leva em consideração o Carbono Estocado em cada ano isoladamente e não a média do Carbono Estocado em trinta anos.

Para qualquer valor de *VCE* em Toneladas de Carbono ou em Toneladas de Dióxido de Carbono pode-se compor a *ESP* o que remete a sua respectiva externalidade que inclui os serviços sociais e ambientais (equação 77 e 78).

$$ESPTC = 7,64VCEtC \quad (77)$$

$$ESPTCO_2 = 28,04VCEtCO_2 \quad (78)$$

Portanto, é linear a lei que rege tanto a relação da tonelada de carbono tC como a tonelada de dióxido de carbono relativo a Externalidade Socioambiental Positiva para a atividade produtiva, isto é, com uma equação do primeiro grau representando o mecanismo de compensação do serviço social e ambiental do carbono estocado nos SAFs da BR-230.

Para a Política de Externalidade Socioambiental Positiva (Subsídio) para os SAFs de cacaueteiro da BR-230, o Excedente do Consumidor (área A+B) é de R\$139.167.581,14. O Excedente do Produtor (área C+D), por sua vez, é de R\$109.097.984,69. As Tabelas 15 e 16 apresentam o Incremento do Excedente do Consumidor e do Produtor e o Benefício Social Líquido para os valores de *VCE* para *BSA* e *BSATACS* respectivamente.

Pelo fato dos compradores pagarem um preço mais baixo, a variação do excedente do consumidor é de $\Delta EC=C+F$. Além disso, como os produtores recebem agora um preço mais alto, a variação do excedente do produtor é de $\Delta EP=B+E$. O Benefício Líquido gerado pela incorporação da externalidade socioambiental é representado pela área $F+H$.

Após ser encontrada a partir do modelo proposto a lei que rege a relação entre o Valor do Carbono estocado e o Subsídio aos SAFs de cacaueteiro da BR-230, há possibilidade de encontrar os valores do mecanismo de compensação para diferentes valores de subsídio, assim, houve a internalização da externalidade socioambiental a partir da estimativa e quantificação do Carbono que é um valor proposto para a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação.

O Valor da Compensação Financeira para os SAFs de cacaueteiro da BR-230 é a composição do valor da externalidade socioambiental positiva em R\$/t e do Carbono Estocado no Tempo (*CET*) em toneladas por hectare no fluxo de trinta anos.

Havendo uma compensação na forma de um benefício externo ofertado aos produtores rurais de SAFs haverá mais renda para as atividades produtivas que conservam e preservam os serviços ambientais, e com isso, trará mais interesse aos produtores rurais para a conservação do ambiente de SAFs de cacaueteiro da BR-230.

Tabela 15. Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para BSA (R\$)

Fonte: Elaborado pelo autor

VCE (US\$/t)	Incremento do Excedente do Consumidor (C+F) R\$	Incremento do Excedente do Produtor (B+E) R\$	Benefício Social Líquido (F+H) R\$
3.67	474.598,62	535.093,74	142.867.101,44
18.35	2.400.643,30	2.665.133,20	139.019.960,28
36.70	4.823.993,78	5.369.024,52	134.012.990,91
73.40	9.728.680,64	10.794.356,16	123.193.117,48

Tabela 16. Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para BMETACS (R\$)

Fonte: Elaborado pelo autor

VCE (US\$/ton)	Incremento do Excedente do Consumidor (C+F) R\$	Incremento do Excedente do Produtor (B+E) R\$	Benefício Social Líquido (F+H) R\$
3.67	494.777,40	494.724,60	131.837.233,86
18.35	2.495.002,04	2.493.779,03	130.555.452,95
36.70	5.010.713,96	5.005.828,34	128.843.126,51
73.40	10.115.908,80	10.096.571,76	124.635.392,51

8. Resultados e Discussões

A informação do Gráfico 24 mostra o Mecanismo de Compensação para o valor de Externalidade Socioambiental de R\$ 28,04/t ($VCE=US\$ 3.67/t$) para trinta anos. Este mecanismo varia de um mínimo de R\$ 140,20/ha a um máximo R\$ 249,56/ha no primeiro ano.

Para um hectare de SAF o valor da externalidade socioambiental para o modelo encontrado foi de R\$ 28,04/t. No Gráfico 24 temos o Valor da Compensação Financeira em R\$ para a atividade produtiva dos SAFs de cacaueteiro da região da Transamazônica para um hectare no fluxo de trinta anos.

O Gráfico 25 contém a informação sobre o Mecanismo de Compensação para o valor da externalidade socioambiental de R\$ 140,20/t ($VCE=US\$ 18.35/t$) para trinta anos. Este mecanismo varia de um mínimo de R\$ 701,00/ha a um máximo de R\$ 1247,78/ha no primeiro ano.

O Gráfico 26 contém os resultados do Mecanismo de Compensação para a externalidade socioambiental de R\$ 280,40/t para trinta anos. Este mecanismo varia de um mínimo de R\$ 1402,00 a um máximo de R\$ 2495,56 no primeiro ano.

O Gráfico 27, adicionalmente, traz a informação sobre o Mecanismo de Compensação para o valor de externalidade socioambiental de R\$ 560,80/t para trinta anos. Este mecanismo varia de um mínimo de R\$ 2.804,00 a um máximo de R\$ 4.991,12 no primeiro ano.

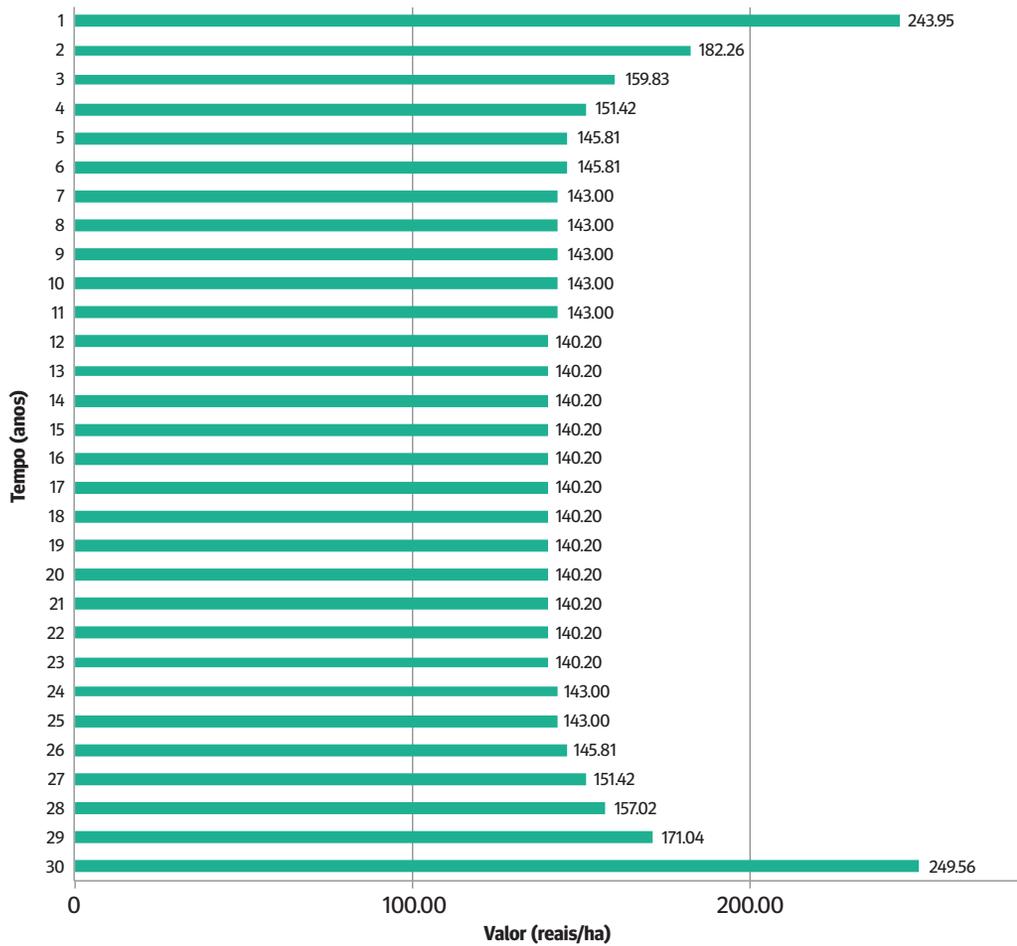
Para todos os casos, o mecanismo de compensação é composto pelo carbono estocado no tempo e o valor da externalidade socioambiental que é relativa ao carbono estocado para um hectare de SAF de cacaueteiro da BR-230. Para todas as situações do Mecanismo de Compensação, os valores mais altos estão no primeiro e no último dos trinta anos, e há estabilização do valor do Mecanismo em anos intermediários.

Assim, o Valor Presente Líquido da atividade produtiva para um hectare de SAFs de cacaueteiro para trinta anos sem o mecanismo de compensação é mostrado no Gráfico 28. De outra forma, o Valor Presente Líquido com o mecanismo de compensação para a externalidade socioambiental de R\$ 28,04/t, R\$ 140,20/t, R\$ 280,40/t, e R\$ 560,80/t para um hectare são mostrados na Gráfico 29, Gráfico 30, Gráfico 31 e Gráfico 32 respectivamente. Para todas as situações temos o câmbio de $US\$/R\$\text{=}1,85$.

O critério de avaliação econômica utilizado foi o do VPL. A análise econômica teve como finalidade avaliar a viabilidade econômica com a inserção da receita do mecanismo de compensação a partir dos diferentes subsídios. Assim, o VPL representa a diferença entre receitas e custos com uma determinada taxa de desconto que no nosso modelo foi usada a de 4% ao ano.

Gráfico 24. Mecanismo de compensação para ESP de R\$ 28,04/t

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



8. Resultados e Discussões

Gráfico 25. Valor da Compensação Financeira para *ESP* de R\$ 140,20/t

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

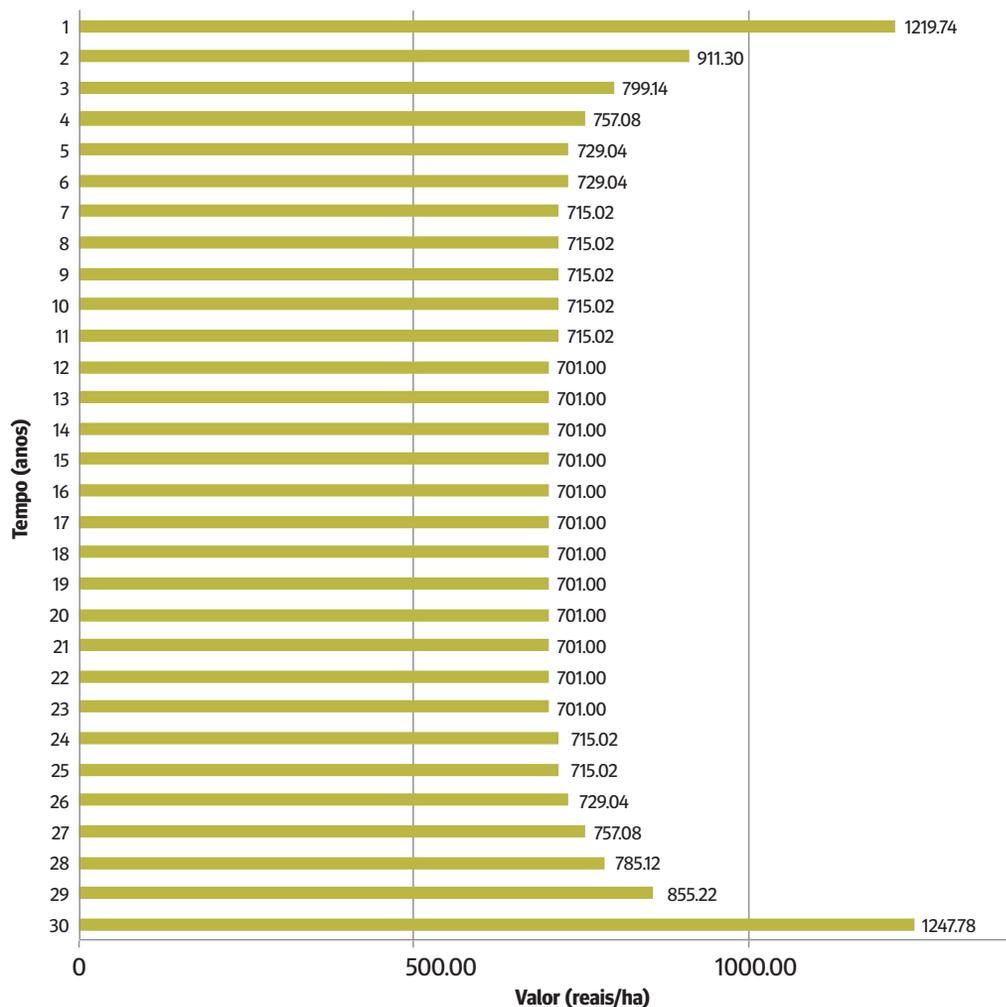
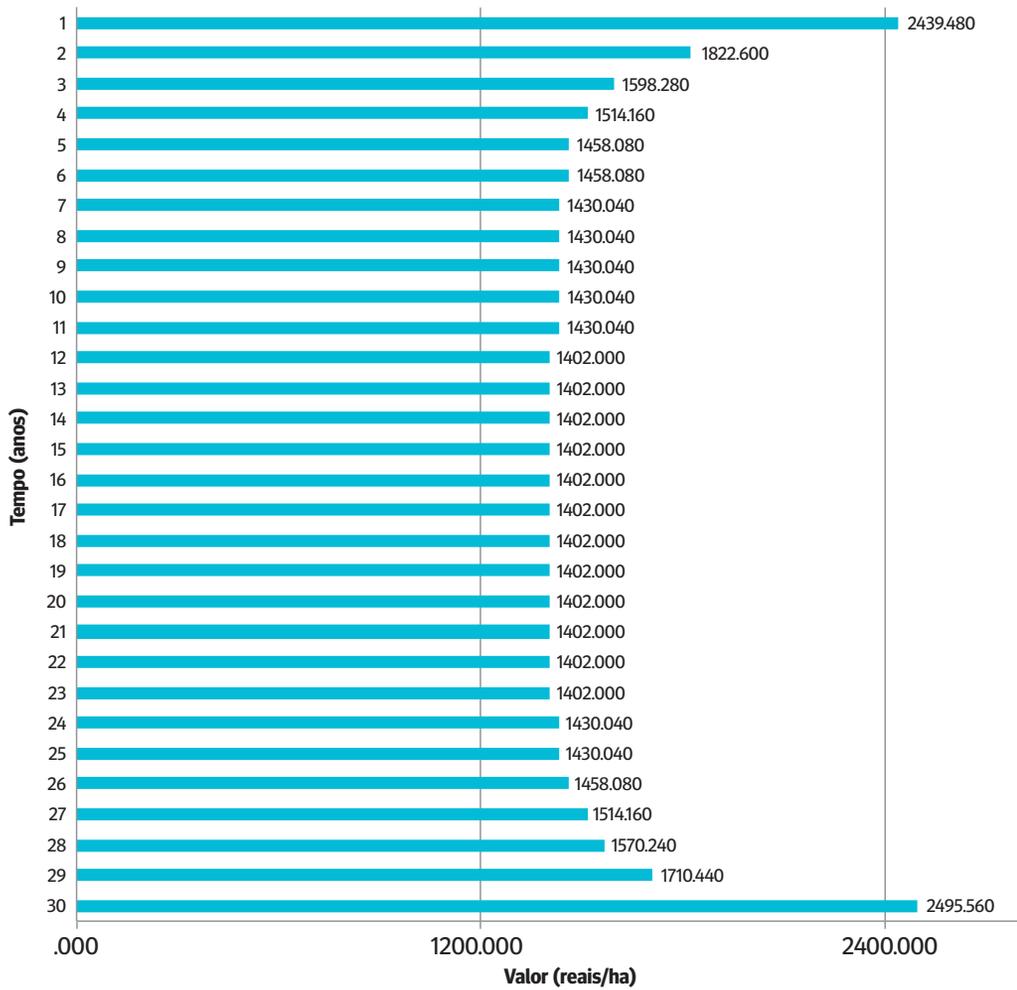


Gráfico 26. Mecanismo de compensação para *ESP* de R\$ 280,40/t

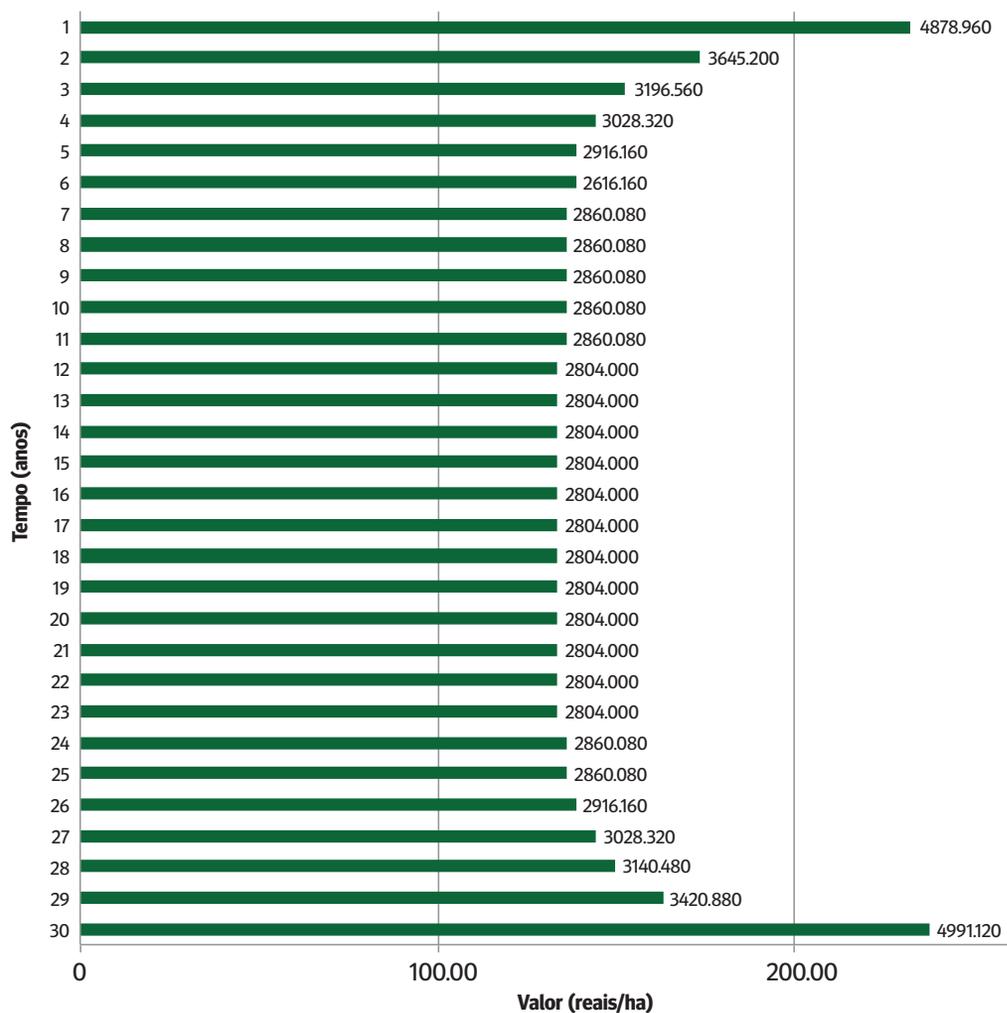
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



8. Resultados e Discussões

Gráfico 27. Mecanismo de compensação para ESP de R\$ 560,80/tC

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)



Os valores anuais a partir de Almeida et al. (2010) são demonstrados no Gráfico 28 sem o mecanismo de compensação. Para este caso temos nos quatro primeiros anos da atividade um VPL negativo e do terceiro ao trigésimo ano valores positivos decrescentes.

Para os valores de externalidade socioambiental de R\$ 28,04/t e R\$ 140,20/t também temos nos quatro primeiros anos o VPL negativo. Além disso, do quinto ao vigésimo sétimo valores um decréscimo, mas a partir do vigésimo oitavo ano há uma retomada de crescimento por conta do Mecanismo de Compensação.

Por outro lado para o valor de subsídio de R\$ 280,40/t, a partir do quarto ano da atividade obtem-se o valor positivo do VPL (R\$470,3) permanecendo os anos anteriores com valor negativo de VPL. Portanto, se o valor da tonelada do Carbono Estocado for de US\$ 18.35 (US\$ 10.0/tCO₂) no quarto ano o VPL será positivo, isto é, as receitas totais vão superar as despesas totais neste ano.

O VPL para externalidade socioambiental de R\$ 280,40/t (VCE = US\$ 10.00/t) para cada hectare e por ano para a atividade produtiva representa uma receita nos três primeiros anos da atividade que faz com que um VPL negativo sem mecanismo de compensação se torne uma grande contribuição para diminuir os primeiros anos de grande custo para o produtor rural. Para estes casos, a partir do sexto ano o VPL apresenta valor superior a R\$ 2.800,00.

Para a externalidade socioambiental de R\$ 560,80/t (VCE = US\$ 20.00/t) para cada hectare e por ano para a atividade produtiva, em todos os trinta anos, o VPL é positivo, com o ápice no trigésimo ano (R\$ 5.448,40).

Na Tabela 17 é apresentado o VPL para diferentes valores de externalidade socioambiental. O valor total do VPL sem mecanismo de compensação em trinta anos é de R\$ 14.296,00. Se com o mecanismo de compensação for praticado o valor de VCE de US\$ 5.00/tCO₂, por exemplo, nos trinta anos de atividade o produtor rural terá 60% a mais de VPL para aplicar na área com SAF e para manter a atividade produtiva na região da BR-230. Por outro lado, se com o mecanismo de compensação for praticado o valor de VCE de US\$ 10.00/tCO₂, por exemplo, teremos o VPL aumentado em mais de 320%, isto é, para este valor do Carbono Estocado nos trinta anos de atividade produtiva há mais que o triplo de VPL para ser contabilizado como compensação dos serviços ambientais, principalmente o serviço carbono na atividade produtiva dos SAFs de cacaueteiro da BR-230.

Portanto, a atividade já é viável sem o mecanismo de compensação, entretanto com o mecanismo de compensação se reduz o saldo negativo dos primeiros quatro anos e há uma injeção de mais recursos nos anos posteriores. Inclusive, nos últimos

8. Resultados e Discussões

Gráfico 28. VPL para SAFs de cacaueteiro para um período de trinta anos sem mecanismo de compensação

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

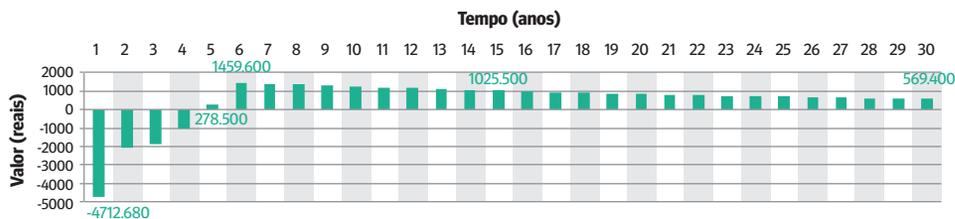


Gráfico 29. VPL para SAFs de cacaueteiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R\$ 28,04/t

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

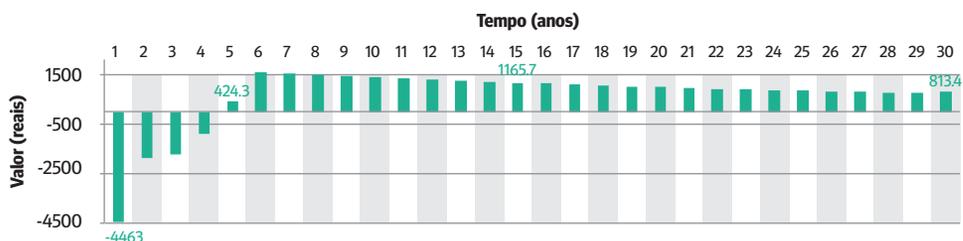


Gráfico 30. VPL para SAFs de cacaueteiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R\$ 140,20/t

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

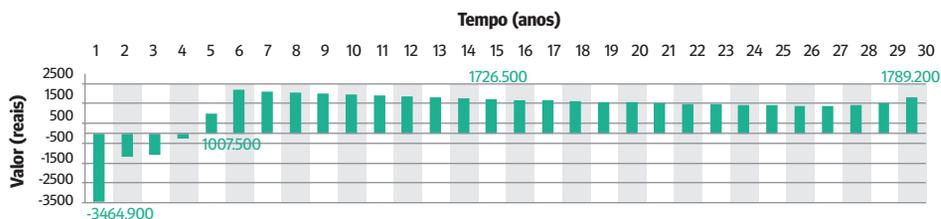


Gráfico 31. VPL para SAFs de cacauero para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R\$ 280,40/t

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

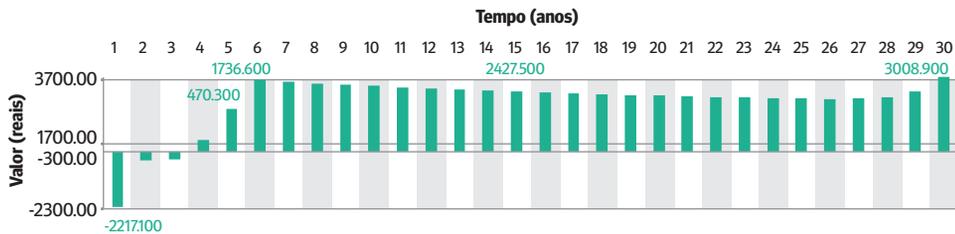


Gráfico 32. VPL para SAFs de cacauero para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R\$ 560,80/t

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

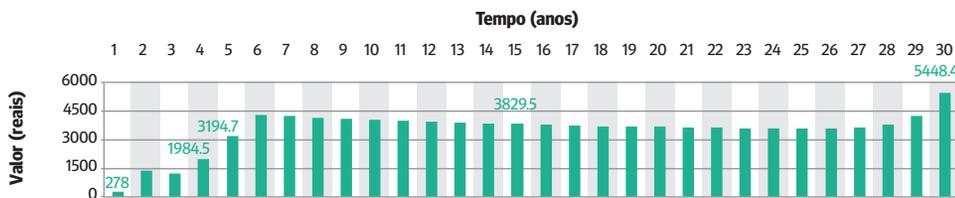


Tabela 17. Valor Presente Líquido para diferentes Compensações

(câmbio US\$/R\$ = 1,85) Fonte: Elaborado pelo autor

VCE (US\$/tCO ₂)	-	1.00	5.00	10.00	20.00
Externalidade Socioambiental (R\$/t)	-	28,04	140,20	280,40	560,80
Total VPL R\$ (30 anos)	14.296,80	18.883,20	37.233,50	60.169,30	106.043,80
VPL com subsídio/ VPLsem subsídio	-	1,3209	2,6044	4,2089	7,4178
% VPL com subsídio/ VPLsem subsídio	-	32,09	160,44	320,89	641,78

8. Resultados e Discussões

Tabela 18. Relação de Área, Rendimento e Carbono para municípios da BR-230

Fonte: Elaborado pelo autor

Município	Área plantada (ha)	Rendimento médio em (t/ha)	Carbono estocado médio por ano TACS (t/ha)	Carbono estocado médio/quantidade de amêndoas
Altamira	3900	0.8	5.3	6.625
Anapu	2860	0.65	5.3	8.15
Brasil Novo	3445	0.8	5.3	6.625
Medicilândia	21145	1.0	5.3	5.3
Uruará	7530	0.535	5.3	9.9

anos há um aumento do VPL, o que colabora com o capital inicial para um novo investimento para a manutenção da área ou começo de uma implantação de novo SAF de cacaueteiro. Portanto, este retorno representa um benefício da compensação financeira para um início de investimento na atividade dos SAFs de cacaueteiro da BR-230 para manter os serviços ambientais dos SAFS de cacaueteiro.

Para cada município da região da BR-230 foram encontrados os valores para a Área plantada e o Rendimento médio em Toneladas (amêndoas/ha). A partir destes valores e do Carbono estocado médio por ano TACS em Toneladas por hectares foi encontrada a relação entre Carbono estocado médio e o rendimento médio em amêndoas apresentado na Tabela 18.

O município de Anapu tem a menor área plantada, enquanto que Medicilândia tem a maior área plantada dentre os municípios estudados. A razão entre Carbono estocado médio e o rendimento médio em amêndoas mostra que para o município de Uruará temos o valor de 9.9 com a relação alta. De outro lado, para o município de Medicilândia temos o menor valor com 5.3.



Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, C. M. V. C. et al. **Implantação do caucueiro em sistemas agroflorestais**. Brasília-DF. [s.n.], 2010.
- ANDERSON, A. B. **Redução de emissões oriundas do desmatamento e degradação florestal (REDD): desafios e oportunidades**. [S.l.];s.n.] 2009.
- ANGELSEN, A. et al. **Reduções de Emissão do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD): Relatório de Avaliação de Opções**. 2009.
- BALBINOT, R. Ajuste de equações alométricas para araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. utilizando análise de componentes principais conjuntamente com análise de regressão. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 39, n. 2, p. 232-237, 2009.
- BARROS, A. V. L. et al. Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de tome-açu, estado do Pará. *Ciência & Desenvolvimento*. Belém, v. 5, n. 9. Jul./dez. 2009.
- BARTELT, D.; KOCH, J.; TOURINHO, M. M. Anbau von Acai (Euterpe oleracea) und Kakao (Theobroma sylvestre) in Primärwäldern der varzeas am rio Tocantins (Brasilien/Para). *Forstarchiv*, [S.l.], v.71, n.6, p. 250-256. 2000.
- BASTOS, N. L. M. **Inventário florestal na Cia. Suzano de Papel e Celulose**. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2, 1984, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPEF, 1984. p.11-26
- BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*. [S.l.], v. 14, n.2. 1982.
- BROWN S.; LUGO A. E. **Biomass of tropical forests: A new estimate based on forests volumes**. [S.l.; s.n.], p.1290-1293. 1984.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, [S.l.], v. 35, n. 4, p. 881-902. 1989.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciência*. [S.l.], n. 17, p. 8-18. 1992.
- BROWN, S.; IVERSON, L. R. Biomass estimates for tropical forests. *World Resources Review*, [S.l.], n. 4, p. 366-384, 1992.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**. [S.l.]: FAO; Rome, 1997. Forestry Paper 134
- BROWN, S. L.; SCHOEDER, P.; KERN, J. S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 123, n. 1-3, p. 81-90, 1999.
- BROWN, D.; BIRD, N. **The REDD road to Copenhagen: Readiness for what?** [S.l.]: Overseas Development Institute. 2008. Opinion
- CALDEIRA, K. **Long-term consequences of continued carbon dioxide emission to the atmosphere**. Ken Caldeira. Department of Global Ecology, Carnegie Institution. In: Seventh Carbon Dioxide Conference – Boulder, Colorado, EUA. Setembro 25-30, 2005.
- CALLAN, S.C.; THOMAS J.M. **Environmental economics and management: theory, policy, and applications**. Thomson South-Western. [S.n.], 2007.
- CALVI, M. F. **Fatores de adoção de sistemas agroflorestais por agricultores familiares do município de medicilândia, Pará**. 2009. 121 f. Dissertação (mestrado) – Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Agricultras Amazônicas, Belém, 2009.
- CAMPOS, C. P. **Emissões históricas de CO₂ da mudança do uso da terra para agricultura e pastagem e a contribuição dos países para a mudança do clima – a proposta do Brasil para a convenção do clima**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.
- CARDOSO, E. R. **Subsídio – um Instrumento Econômico de Política Ambiental: Usos e Limitações**. [S.l.]; SOBER, 2008.

Referências Bibliográficas

- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)** - Brasília, DF: [s.n.], 2008.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **REDD NO BRASIL: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal – REDD** - Brasília, DF: Centro de Gestão de Assuntos Estratégicos, 2011.
- CHAMBERS, J. Q. et al. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], n.152, p.73-84. 2001.
- CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Ecologia**, [S.l.], n. 145, p. 87-99, 2005.
- CLARK, D.B.; CLARK, D.A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 137, n. 1-3, p. 185-198, 2000.
- COUTO, H. T. Z. **Euações de volume e peso para estimar biomassa de Eucalyptus**. In: SIMPO-SIO ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL. 1983, São Paulo. CONVÊNIO CESP/IPEF, 1983. Relatório final. São Paulo, CESP, p.38-58. 1983.
- COUTO, H. T. Z. Sistemas integrados de levantamentos florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, IPEF, p.121-7. 1984.
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **Revista Ipef**, n. 37: p. 33-44. 1987.
- CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, [S.l.], v. 5, n.1, mar, 1988.
- CUNIA, T. R. Construction of tree biomass tables by linear regression techniques. In: ESTIMATING TREE BIOMASS REGRESSION AND THEIR ERROR. Proceedings of the Workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of Forest inventory estimates. USDA. **Forest Service**, p. 27-36. Gen Tech. Rep. NE-117. 1986.
- CURLIN, J.W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERRG, C. T. , C. B. DAVEY. **Tree growth and forest soil**. [S.l.]: Oregon state University Press, p. 313-326. 1970.
- DASGUPTA, Partha. The Environment as a commodity. **Oxford Review of Economic Policy**, [S.l.], v. 6, n.1, p.51-67, 1990.
- DINIZ, M. J. T. **A Dinâmica das inovações nas empresas do pólo industrial de Manaus: um novo momento relacionado aos constrangimentos ambientais a partir do ano 2000**. 2008: 294 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.
- DIXON, R.K. et al. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. **Science**, Washington, D. C., v. 263, p. 185-190, 1994.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2 ed. New York: J. Wiley & Sons. 1981. 709 p.
- DUBOIS, J. Sistemas agroflorestais na Amazônia: Avaliação dos principais avanços e dificuldades em uma trajetória de duas décadas. In: **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 171 – 271. 2009.
- ENGEL, V. L. **Introdução aos sistemas agroflorestais**. Botucatu: FEPAF. 1999. 70p
- ELLIS, J.; BOSI, M. “Options for project emission baselines”. [S.l.]: OECD and IEA. 1999. Information paper
- ELLIS, J. MISSFELDT, F. BOSI M. PAINULY, J. **Possibilities for standardized baselines for JI and the CDM**. Report from the UNEP/OECD/IEA Workshop on Baseline Methodologies. 2001.
- FAN, S. et al. A large terrestrial carbon sink in north America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide models. **Science**, Washington, D. C., n. 282, p. 386-387, 1998.
- FANG J.Y. et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. **Science**. n. 292, p. 2320–2322, 2001.
- FANG, J. Y.; WANG, Z. M. Forest biomass estimation at regional and global levels, with especial reference to China’s forest biomass. **Ecological Research**, Tsukuda, n. 16, p. 587-592, 2001.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil’s amazon forest and the global carbon problem. **Interciência**. v.10, n. 4, p. 179-186. 1985.

- FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazônia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 1997. v. 90, n. 1-3, p. 59-87. 1997.
- FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras, In.: Seminário Emissão e Seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto Alegre. **Anais... CVRD**, Rio de Janeiro. p. 95-124. 1994.
- FEARNSIDE, P.M. Agroforestry in Brazil's Amazonian development policy: The role and limits of a potential use for degraded lands. In: M. Clüsenner-Godt & I. Sachs. **Brazilian Perspectives on Sustainable Development of the Amazon Region**. Paris: UNESCO, 1995. 311 p.
- FEARNSIDE, P. M. **Sistemas Agroflorestais na política de desenvolvimento da amazônia brasileira: papel e limites como uso para áreas degradadas**. [S.l.: s.n.], 1996.
- FEARNSIDE, P. M. **Mudanças climáticas e a floresta amazônica**. [S.l.: s.n.], 2004.
- FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na amazônia brasileira: história, índices e consequências**. [S.l.:s.n.], 2005.
- FOX, C. et al. **A. Agricultura familiar e mecanismo de desenvolvimento limpo é possível?** [S.l.: s.n.], 2007.
- FRONDIZI, I. **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio/FIDES. 2009. 131p.
- GOCKOWSKI, J.; SONWA D. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO₂ emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the guinea rain forest of west africa. [S.l.: s.n.], 2010.
- GRECO, F. M.; MARQUES P. V.; DA ROCHA, W. A. S. **Análise quantitativa de projetos MDL na região amazônica**. [S.l.]: SOBER. 2008.
- GUEDES, B. et al. **Estudo da biomassa florestal numa floresta aberta de miombo no distrito de Bárúé, Manica, Moçambique**. Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2001. Relatório das atividades de julho/2001.
- HALL, R.E.; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações**. São Paulo. Pioneira Thomson Learning, 2003.
- HARRIS, JONATHAN M. **Environmental and natural resource economics: a contemporary approach**. [S.l.: s.n.], 2000.
- HIGUCHI, N. et al. Tabela de volume para povoamento de *Eucalyptus grandis* plantado no município de Várzea Grande (MT). **Floresta**. [S.l.], v.10, n. 1, p. 43-47. 1979.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais... Rio de Janeiro: CVRD**, p. 125-145. 1994.
- HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, n. 28, p. 153-165, 1998.
- HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, set./dez., p. 295-304, 2004.
- HOMMA, A. K. O. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 19, n.54, p. 115-135. 2005
- HOUGHTON, R. A. et al. "The flux of carbon for terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux". In Tellus 39B, pp122-139. 1987.
- HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais... Rio de Janeiro: CURD**. p. 38-76. 1994.
- HOUGHTON, J. T. et al. **Climate change 1995 – the science of climate change: contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
- Mapas Interativos. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- Cidades**. [S.l.: s.n.], 2011.
- IPCC. **Climate change: The Science of climate Change**. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom. 1995.
- IPCC. **Climate change: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assess-

Referências Bibliográficas

- ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom. 2001.
- IPCC. **Climate change: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. 2007.
- IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.** Hayama Institute for Global Environmental Strategies (IGES), ISBN 4-88788-003-0. 2003.
- JACOBS, M. **Economía verde – medio ambiente y desarrollo sostenible.** – Bogotá: Ediciones Unian-des, 1995 (1ª Ed. Inglesa, 1991), 1995. 494 p.
- JOOS, F. et al. An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake, *Tellus*, 48B, 397–417, 1996.
- KEOHANE, N.O.; OLMSTEAD, S.M. **Markets and the environment**, Washington. Island-Press. 2007
- KLINGE, H. et al. The vegetation of a seasonal varzea forest in the lower Solimões river, Brazilian Amazonia. *Acta Amazonica*, v. 25, n. 3-4, p. 201-220. 1995.
- KOEHLER, E. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C. R. **As Florestas e o carbono.** (Ed.). Curitiba, p. 251-264. 2002.
- KRAPFENBAUER, A.; ANDRADE, F. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS.: Inventário de Biomassa. In: **Pesquisas austro-brasileiras 1973-1983 sobre araucaria angustifolia, podocarpus lamberti e eucalyptus saligna.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, p. 16-29. 1983
- LAZARUS, M., KARTHA, S., BERNOW, S. **Key issues in benchmark baselines for the CDM: aggregation, stringency, cohorts, and updating.** Boston. Tellus Institute. 2000.
- LEHTONEN, A. et al. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For Ecol Manage.* [S.l.], n. 188, p. 211–224. 2004.
- LEVY, P. E. et al. Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in great britain forestry. [S.l.], n. 77, p. 421–430. 2004.
- LOETSCH, F. et al. **Forest inventory.** Berlin: BLV. 1973. 469p. v.2.
- MCKINSEY&COMPANY. Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. [S.l.: s.n.], 2009.
- MANSFIELD, E. **Microeconomia: teoria e aplicação.** Rio de Janeiro: Campus. 2006. 481 p.
- MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, p. 197-221. 1994.
- MARTINEZ-YRIZAR, A. et al. Aboveground phyto-mass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 8, p. 87-96, 1992.
- MELO, A. C. G.; SILVA NETO, P. J.; CORRÊA, C. A. **Cacaueiros em sistemas agroflorestais.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira Superintendência do Desenvolvimento da Região Cacaueira no Estado do Pará. Folha Técnica nº 2. 2011.
- MICHAELOWA, A. **Project-specific, benchmark, top-down approaches for baselines and additionality: a comparison,** paper prepared for the UNFCCC Technical workshop on Mechanisms, [S.l.: s.n.], 1999.
- MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. **Tropical deforestation and climate change.** [S.l.]: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) and Environmental Defense. 2005.
- MOUTINHO, P. et al. Reducing carbon emission by slowing deforestation: REDD initiatives in Brazil. In *Avoided Deforestation: prospects for mitigating climate change.* Palmer & Engel (Ed.). Swiss Federal Instituto of Technology. SERIES: Routledge Explorations in Environmental Economics. 2009.
- NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 3, n. 2, p. 97-128. 1985.
- NEPSTAD, D. et al. **Reduzindo as emissões de carbono oriundas do desmatamento e da degradação da floresta amazônica brasileira: os custos e benefícios.** [S.l.: s.n.], 2008.
- NEPSTAD, D. et al. **Custos e benefícios da redução das emissões de carbono do desmatamento**

- e da degradação (REDD) na amazônia brasileira. [S.l.: s.n.], 2009.
- NOGUEIRA, E. M.; NELSON B. W; FEARNSIDE, P. M. **Biomassa das copas das árvores na estimativa de biomassa florestal: diferença do percentual entre venezuela e amazônia central.** [S.l.: s.n.], 2004.
- OGAWA, H.; KIRA, T. Methods of estimating forest biomass. Primary productivity of Japanese forests. Productivity of terrestrial communities. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 16, p. 15-24. 1977.
- PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças/ Gerência de Base de Dados Estatístico do Estado. **Estatística Municipal.** [S.l.: s.n.], 2011.
- PARDÉ, J. Forest Biomass. **Forestry Abstract Review Article.** [S.l.], v. 41, n. 8, p. 343-362. 1980.
- PARKER, C. et al. **The Little REDD+ Book.** [S.l.: s.n.], 2009.
- PÁSCOA, F. et al. **Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o pinheiro bravo.** In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMÍA FORESTAL. 18-20 septiembre. 2004, Barcelona.
- PAULA NETO, F.; RIBEIRO, J. C.; VALENTE, O. F. Tabela de volume para *Eucalyptus grandis*. **Revista Ceres**, Viçosa, n. 22, p. 212-222, mai./jun, 1975.
- PAULA NETO, F. Estimativa do volume comercial para *Eucalyptus microcorys* em regime de alto fuste na região de Coronel Fabriciano-MG. **Brasil Florestal**, [S.l.], v. 9, n. 34, p. 57-61, abr./jul, 1978.
- PAULA NETO, F. Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus* spp. segundo o método de regeneração na região de José de Melo-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 56-70, 1983.
- PEREIRA, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.4, p.521-526, 1997.
- PIDWIRNY, M. **"The Carbon Cycle": fundamentals of physical geography**, 2 ed. 2006. Disponível em: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>. Acesso em: ago. 2010.
- PIGOU, A. C. **The economics of welfare.** London: MacMillan, 1920.
- PINDICK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia.** São Paulo. Makron Books, 1994.
- PORRO, R.(Org.) **Alternativa agroflorestal na amazônia em transformação.** Brasília, DF. EMBRAPA. 2009. 825 p.
- REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão: teoria e aplicações em manejo florestal.** Viçosa: UFV/DEF/SIF. Apostila. 1993. 232 p.
- ROCHA, M. T. et al. **Projetos Florestais no MDL: as definições e modalidades adotadas na COP 9 (Decisão 19/ CP9).** [S.l.]: CEPEA, 2004.
- ROSA, L. P; RIBEIRO, S. K. "The present, past, and future contributions to global warming of CO2 emissions from fuels". **Climatic Change**, [S.l.], v. 48, n. 2-3, p. 289-308. 2001.
- RUSSO, R. O. **Mediciones de biomassa em sistemas agroflorestales.** Turrialba, Costa Rica. CATIE, 1983. 27 p.
- SAINT-ANDRÉ, L. et al. **Quantification, understanding and prediction of carbon cycle, and other GHG gases in Sub-Saharan Africa.** Sixth Framework Programme of European Commission Priority 1.1.6.3: Global Change and Ecosystems STREP (Specific Targeted Research Project). 2007.
- SALATI, E. Emissão X seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 15-37. 1994.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba, 2002. p. 119-140.
- SANTANA, A.C. **Métodos quantitativos em economia: elementos e aplicações.** Belém: UFRA. 2003. 484p.
- SANTILLI, M., P. et al. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. **Climate Change.** [S.l.], n. 71, p. 267-276. 2005.
- SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira.** 121 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, M. G., 1996.
- SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cameté, Pará. **Acta Amazônica.** v. 34, n. 1, p. 1 – 8. 2004.
- SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. **Forest biomass.**

Referências Bibliográficas

- The Hague: Martinus Nijhoff, 1982. 151 p.
- SEDJO, R. A. Temperate Forest ecosystem in the global carbon cycle. *Ambio*. [S.l.], v. 21, p. 274-277, 1992.
- SHAFFER, G.; SARMIENTO, J. "Biogeochemical cycling in the global ocean 1. a new, analytical model with continuous vertical resolution and high-latitude dynamics". *J. Geophys. Res.*, v. 100, n. 2, p. 2659—2672. 1995
- SILVA, J. N. M.; ARAÚJO, S. M. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro, na floresta nacional do Tapajós. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 8/9, p. 16-25., 1984.
- SILVA, J. A. A. *Análise de equações volumétrica para a construção de tabelas de volume comercial para Eucalyptus spp., segundo a espécie, região e método de regeneração*. 1977, 93p. Dissertação (Mestrado). 1977.
- SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large forest biomass estimation. *Europe Journal Forest Research*. [S.l.], February. 2006.
- SOUSA, R. M. D. *Externalidades*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Economia e Gestão. Mestrado em Economia e Política da Energia e do Ambiente. Disciplina de Política Energética. Apostila. 2000
- SOUZA, C. L.; PONZONI, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/LANDSAT para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE, 1998. 1 CD-ROM. 1998.
- SOUZA, M. T. S.. Rumo à prática empresarial sustentável. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v.33, n.4, p.40-52, jul./ago.1993.
- SOUZA, P. F. M. *Metodologias de monitoramento de projetos de MDL: uma análise estrutural e funcional* [Rio de Janeiro] (COPPE/UFRJ, D.Sc.,Planejamento Energético, 2005) Dissertação (Mestrado). 2005.
- SOUZA, R.O.R.M et al. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. V.16, n.9, p.999-1005. 2012.
- SPURR, S. H.; BARNES, B. V. *Ecologia Florestal*, México: [S.l.], 1986. 690 p.
- STIGLITZ, J. E.; WALSH, C. E. *Introdução à microeconomia*. [S.l.]: Campus. 2002.
- THIOLLAY, L. J. M. The role of traditional agroforests in the conservation of raiis Forest bird diversity in Sumatra. *BioScience*. Washington, DC, v. 4, p. 715 – 722, 1995.
- TSUCHIYA, A.; HIRAOKA, M. Forest biomass and wood consumption in the lower course of the Amazon: a case study of the Urubuera Island. *Acta Amazônica*, v. 29, n. 1, p. 79-95. 1999.
- VEIGA, R. A. A. *Equações volumétricas para Eucalyptus saligna Smith em ocasião de primeiro corte*. Botucatu. 174p. 1972.
- VEIGA, R. A. A.; BRASIL, M. A. M.. Peso de matéria seca e volume de Eucalyptus propinqua Deane ex Maiden - equações. *Boletim Técnico: Instituto Florestal*. São Paulo, v. 35, n. 2, p. 73-84, dez. 1981.
- VEIGA, R. A. A. Uso de equações de volume em levantamentos florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba, IPEF, p.93-102. 1984.
- VIANA, V. M. *Finnancing REDD: meshing marketswith government funds*. [S.l.: s. n.], 2009.
- VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÚBY, P. *Biomass quantification in a seasonal deciduous forest in Itaara, RS, Brazil*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425. 2006.
- VANCLAY, J.K. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.
- WATZLAWICK, L. F. et al. O papel do sensoriamento remoto nos estudos de carbono. In: SANQUETA, C. R. et al. (Ed.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: [s. n.], 2002. p. 215-235.
- WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, C. L. C.; SANTOS, R. T.. Estimativa de Biomassa e Carbono em Plantios de *Araucaria Angustifolia* (Bertol.) Kuntze Utilizando Imagens do Satélite Ikonos II. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 2, p. 209-219, 2004.
- WHARTON, E.H.; GRIFFITH, D.M.. Estimating total forest biomass in Maine, 1995. *Resour. Bull. NE-142*. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, **Forest Service**, Northeastern Research Station. 1998. 50 p.
- WIRTH, C et al. Dynamik der kohlenstoffvorräte in den waldern thuringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes "Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls". *Max-Planck Institute for Biogeochemistry*, Jena, p. 328, 2003.

Anexo

Dados do modelo econométrico do mercado de cacau

Não foram disponibilizados os dados das variáveis PCACC E SRURAL por serem dados que não podem ser publicados por cláusula de sigilo da fonte FGV.

Ano	QCAC	PCAC	PACAI	Renda	PBOI	CRLAV	PCCJU	VD
1990	29131	2686,89	451,20	4595,92	109,12	72934,99	1312,65	0
1991	28075	2686,89	451,20	4595,92	109,12	72934,99	1312,65	0
1992	29428	2983,52	410,00	4731,82	100,15	86537,82	914,18	0
1993	33124	2692,20	430,00	4628,48	98,77	45877,41	736,00	0
1994	34482	2993,10	342,50	4741,15	100,37	72538,83	2147,15	0
1995	29445	3287,20	321,20	4977,23	106,09	320775,04	2289,97	0
1996	32171	2973,65	290,00	5273,31	90,03	175864,36	1172,14	0
1997	30826	2831,71	365,90	5976,75	65,57	139841,43	1125,41	0
1998	32635	3575,22	371,00	6038,88	68,13	78863,56	684,40	0
1999	30527	4166,65	365,00	6167,15	70,06	151977,70	1097,99	0
2000	28278	4294,37	373,00	6462,01	73,84	298801,30	1606,33	0
2001	29028	3342,04	395,00	6202,12	69,97	207731,46	1362,35	0
2002	34069	3923,74	419,00	6385,06	80,50	123276,05	1167,11	0
2003	31524	4379,69	465,50	6591,09	72,01	98950,75	1285,32	0
2004	32804	4525,76	457,00	6228,65	66,50	249573,87	917,87	0
2005	38119	4846,83	499,50	6475,34	65,71	321059,99	1103,94	0
2006	36595	4208,77	545,00	6881,88	63,96	213891,75	1083,46	0
2007	43207	3604,89	578,00	7651,36	59,00	224333,05	1092,40	1
2008	52105	4236,90	604,00	7807,10	65,41	204929,99	974,60	1
2009	55522	4528,35	634,80	8138,09	83,15	164011,61	934,60	1
2010	55164	5259,41	657,00	8274,05	79,50	179251,66	906,67	1
Fontes	IBGE 2011	Agrianual 2011	IBGE 2011	FGV 2011	Anualpec 2011	IBGE 2011	IBGE 2011	

ISBN 978-85-87827-27-2



9 788587 827272 >



JOÃO AUGUSTO PEREIRA NETO

Doutor em Desenvolvimento Sustentável – NAEA/UFPA. Mestre em Geofísica – UFPA. Graduado em Física – UFMS. Atualmente é professor da Universidade Federal Rural da Amazônia. É pesquisador associado do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM. Possui experiência na área de Gestão, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento sustentável, recursos hídricos, gestão municipal e políticas públicas.

E-mail para contato: joao.augusto@ufra.edu.br



MARCOS XIMENES PONTE

Doutor em Engenharia/Energia ITA. Estágio de Pós-doutorado na University of Missouri USA – Economia Agrícola. Professor do Programa de Doutorado Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido do NAEA–UFPA e no Programa de Doutorado Sociedade Natureza e Desenvolvimento da UFOPA. Foi reitor da UFPA 1994/1997. Atualmente pro-reitor de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação da Universidade Federal do Oeste do Pará; é membro da coordenação e pesquisador do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM. Possui experiência na área de Economia com ênfase em Economia dos Recursos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão sustentável, energia, análise de ciclo de vida e estratégia regional, temas nos quais já orientou 15 teses de doutorado.

E-mail para contato: ximenes@ufpa.br



ANTÔNIO CORDEIRO DE SANTANA

Doutor em Economia Rural, Mestre em Economia Rural e eng. agrônomo. Atualmente é professor dos cursos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal Rural da Amazônia, onde orientou dissertações de mestrado e teses de doutorado e publicou livros sobre cadeia produtiva, mercado, agronegócio, competitividade sistêmica, arranjos produtivos locais, sistemas agroflorestais e agricultura familiar. É líder do grupo de pesquisa em Cadeias Produtivas, Mercado e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. É pesquisador bolsista de produtividade do CNPq. Foi agraciado com os seguintes prêmios: Edson Potsch Magalhães de melhor tese de doutorado, Rui Miller Paiva de melhor artigo publicado na Revista de Economia e Sociologia Rural, título honorífico de Honra ao Mérito pelos relevantes serviços prestados ao agronegócio do estado do Pará, Honra ao Mérito pela significativa produção científica e mérito acadêmico e o Diploma do Mérito conferido pelo CREA-PA.

E-mail para contato: acsantana@superig.com.br

PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO



PARCERIA

