UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS - NAEA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO TRÓPICO ÚMIDO - PDTU

JOÃO AUGUSTO PEREIRA NETO

ESTOQUES DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAUEIRO COMO SUBSÍDIOS A POLÍTICAS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

Belém
2012

JOÃO AUGUSTO PEREIRA NETO

ESTOQUES DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAUEIRO COMO SUBSÍDIOS A POLÍTICAS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

Tese de doutorado apresentada ao Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, para obtenção do Título de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental, pelo Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ximenes Ponte
Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Cordeiro de Santana

Belém
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca do NAEA/UFPa)

Pereira Neto, João Augusto.

Estoques de Carbono em Sistemas Agroflorestais de Cacaueiro como Subsídios a Políticas de Serviços Ambientais / João Augusto Pereira Neto; Orientador, Marcos Ximenes Ponte - 2012; Co-orientador, Antônio Cordeiro de Santana – 2012.

212 f.: il., 29 cm

Inclui bibliografias

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2012.

1. Carbono. 2. Subsídio. 3. Serviço Ambiental. 4.Mecanismo de Compensação. I. Ponte, Marcos Ximenes, Orientador. II. Santana, Antônio Cordeiro de. III. Título.

CDD 21 ed. XXX.XXXXXX

JOÃO AUGUSTO PEREIRA NETO

ESTOQUES DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAUEIRO COMO SUBSÍDIOS A POLÍTICAS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

Tese de doutorado apresentada ao Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, para obtenção do Título de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará.Orientador: Prof. Dr. Marcos Ximenes Ponte. Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Cordeiro de Santana

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

_____
Prof^{o}. Dr. Marcos Ximenes Ponte
NAEA/UFPa – Orientador

Prof^{o}. Dr. Antônio Cordeiro de Santana
UFRA – Co-orientador

Prof^{o}. Dr. Josep Pont Vidal
NAEA/UFPa - Examinador

Prof^{o}. Dr. Indio Campos
NAEA/UFPA – Examinador

Prof^{o}. Dr. Sérgio Luiz de Medeiros Rivero
UFPa - Examinador Externo

Prof^{a}. Dra. Marcia Jucá Teixeira Diniz
UFPa – Examinador Externo

Resultado:_____

Belém
2012

“IL MOTO É CAUSA D’OGNI VITA”

Leonardo Da Vinci

AGRADECIMENTOS

Primeiramente desejo enormemente agradecer ao Professor Marcos Ximenes Ponte pelo desafio que me foi colocado e pelo conhecimento transmitido, responsabilidade, amizade e caráter. O orientador sempre me recebeu e não mediu esforços para me orientar, seja em sua residência ou no local de trabalho, refletindo assim, o profissionalismo de sempre e, que seu exemplo deve ser seguido como um modelo de orientador por todos.

Além disso, agradeço ao Professor Antonio Cordeiro de Santana por toda experiência, vivência e conhecimento transmitido e pelas correções e sugestões aos modelos e pelo suporte teórico e de modelagem que contribuíram com o resultado alcançado.

Além do mais, agradeço ao Pesquisador Alfredo Kingo Oyama Homma da EMBRAPA pela colaboração e sugestões como um todo, o que aprimorou muito o conteúdo e a presentação do trabalho.

Não posso deixar de agradecer as seguintes instituições: UFRA pelo apoio institucional, UFPa pela oportunidade do curso, IPAM pelo apoio incondicional principalmente nos trabalhos de campo, PETROBRÁS pelo apoio financeiro para o trabalho de campo, CEPLAC pelo apoio com informações de campo e demais informações.

Além disso, desejo agradecer a contribuição dos seguintes professores: Tereza Ximenes, Josep Pont Vidal, Leonilde Rosa, Antonio Vinícius Barbosa e Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza. Estes direta ou indiretamente colaboraram com o resultado do trabalho.

Além do mais, agradeço aos seguintes profissionais: Ingrid Sinimbu e Lucimar do IPAM, Gesta Melo da CEPLAC de Belém e Ronaldo Cordovil da Estação da CEPLAC de Medicilândia.

Finalmente, agradeço e ofereço todo o esforço a minha filha Ana Rita Pereira Pereira.

RESUMO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) de cacaueiro da BR-230 além de ser uma alternativa para a recuperação de áreas desmatadas e degradadas da Amazônia são capazes de integrar floresta e agricultura proporcionando serviços ambientais como a manutenção da biodiversidade, o ciclo da água e o estoque de carbono. Porém, a lógica econômica do mercado de cacau não leva em consideração as falhas de mercado, sobretudo não internaliza as externalidades positivas dos serviços ambientais, principalmente o carbono dos Sistemas Agroflorestais de cacaueiro da BR-230. Portanto, o produtor rural não é compensado por este esforço em manter o serviço ambiental carbono em sua atividade. Assim, neste trabalho apresentamos um mecanismo de compensação com uma metodologia para o REDD para atividades produtivas a partir do estudo do Custo Marginal Privado e do Benefício Marginal Privado do mercado de cacau do Estado do Pará e, usando parâmetros da atividade produtiva dos SAFs de cacaueiro da BR-230, como o Carbono Estocado no Tempo para compor o Benefício Socioambiental. Este Benefício Socioambiental é composto pela Produtividade da Atividade, Valor do Carbono Estocado e primordialmente pelo Carbono Estocado no Tempo dos SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos. Do estudo resultou a ferramenta do Benefício Socioambiental para solucionar os problemas da falha de mercado para a implantação do REDD para o produtor rural da SAF, mecanismo de compensação baseado na política de externalidade socioambiental positiva justificado pela Taxa Pigouviana. Portanto, o mecanismo de compensação apresenta uma visão de integração entre as dimensões social, econômica e ambiental como lógica diferente para os produtores rurais de SAFs da rodovia Transamazônica que promove benefícios para a conservação e preservação sem desmatamento e sem degradação para que o produtor continue perpetuando a conservação possibilitando um acréscimo na renda do produtor rural no período onde há maior custo da atividade e nenhuma receita de retorno e, nos últimos anos como forma de investimento de uma renovação da área em uso com um novo plantio ou com a manutenção de uma área antiga ou implantação de nova área de SAF. Desta forma, este mecanismo de compensação é um importante fator no financiamento de um novo modelo de desenvolvimento da Amazônia com uma política de REDD.

Palavras-chave: Carbono. Subsídio. Serviço Ambiental. Mecanismo de Compensação.

ABSTRACT

Cocoa Agroflorestry Systems (AFS) of the BR-230 road in addition to being an alternative to the recovery of deforested and degraded areas of the Amazon are able to integrate forest and agriculture providing environmental services such as the maintenance of biodiversity, the water cycle and the carbon stocks. However, the economic logic of market of cocoa does not take into consideration the market failures, especially not internalize the positive externalities of environmental services, mainly cocoa Agroforestry systems carbon of the BR-230 road. Therefore, the farmer is not compensated for this effort in maintaining the environmental service carbon in your activity. Thus, in this paper we present a compensation mechanism with a methodology for the REDD to productive activities from the study of the Marginal Private Cost and Marginal Private Benefit of the cocoa market in the Satate of Pará, using parameters of the productive activity of cocoa AFSs of the BR-230 road, as the Carbon stocked in time to compose the Socioenvironmental Benefit. This Socioenvironmental Benefit is composed by the Productivity of the activity, the value of Carbon Stocked and primarily by the Carbon Stocked in time of cocoa AFSs for a period of thirty years. As a result of the study we have the the Socioenvironmental Benefit tool to solve the problems of market failure for the deployment of REDD to the farmers of AFS, this compensation mechanism is based on a Positive Socioenvironmental Externality policy justified by Pigouviana Tax. Therefore, the compensation mechanism presents a vision of integration between the social, economic and environmental dimensions as different logic to farmers of AFSs of transamazonian highway that promotes benefits for conservation and preservation without deforestation and without degradation to which the farmer to keep perpetuating the conservation allowing an increase in income of farmers in the period where there is greater activity cost and no revenue return and in the last years as a form of investment for a renewal of the area in use with a new planting or maintenance of an old area or new area deployment of AFS. Thus, this compensation mechanism is an important factor in the financing of a new development model of Amazon with a REDD policy.

Keywords: Carbon. Subsidy. Environmental Service. Compensation Mechanism.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapa 1 - Regiões de Integração do Estado do Pará 34

Mapa 2 – Municípios da região da BR–230 35

Mapa 3 – Mapa de vegetação do Estado do Pará 36

Mapa 4 – Mapa de vegetação da Região de estudo 37

Mapa 5 - Mapa de solos do Estado do Pará 38

Mapa 6 – Mapa de solos da Região de estudo 39

Mapa 7 – Estações Pluviométricas do Estado do Pará 40

Mapa 8 – Intensidade de precipitação com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 15 anos para o Estado do Pará 41

Esquema 1 – Conversão de Volume em Biomassa 69

Esquema 2 - Ciclo do Carbono 93

Esquema 3 – Ciclo global do carbono nos anos 1990 95

Esquema 4 – Estrutura do modelo de ciclo do carbono de Berna 96

Fluxograma 1 – Método de determinação da Compensação Financeira 147

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais Países com atividades de MDL 99

Gráfico 2 - Atividades de Projetos de MDL no Brasil por tipo de GEE 100

Gráfico 3 - Projetos de MDL distribuídos na Região Amazônica até dezembro de 2009 102

Gráfico 4 - Meta do governo brasileiro para reduzir os índices do desmatamento até 2020 116

Gráfico 5 – Produtividade dos SAFs de Cacaueiro 159

Gráfico 6 – Benefício Marginal Privado e Custo Marginal Privado 163

Gráfico 7 – Subsídio do Mecanismo de Compensação do REDD 165

Gráfico 8 – Custos Nominais de Implantação e Manutenção de SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos 167

Gráfico 9 – Receitas Nominais Anuais de SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos 167

Gráfico 10 - Curva da Biomassa (Ton) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 10 anos de idade da BR–230 para 5 cm ≥ DAP < 18 cm 169

Gráfico 11 – Curva da Biomassa (Ton) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 28 anos de idade da BR–230 para 5 cm ≥ DAP < 27 cm 170

Gráfico 12 – Curva da Biomassa (Ton) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 32 anos de idade da BR – 230 para 5 cm ≥ DAP < 30 cm 171

Gráfico 13 – Curva da Biomassa para essências Florestais para dap < 60 cm 172

Gráfico 14 – Curva da Biomassa para essências Florestais para 60 cm ≥ dap < 148 cm 172

Gráfico 15 – Curva da Biomassa (toneladas) em função do tempo (anos) para cacaueiros de SAFs da BR–230 173

Gráfico 16 – Curva da Biomassa (toneladas) em função do tempo (anos) para Essências Florestais de SAFs da BR–230 174

Gráfico 17 – Curva da Biomassa Total (toneladas) em função do tempo (anos) de SAFs da BR–230 175

Gráfico 18 – Curva do Carbono (toneladas) em função do tempo (anos) para cacaueiros de SAFs da BR–230 175

Gráfico 19 – Curva do Carbono (toneladas) em função do tempo (anos) para essências florestais de SAFs da BR–230 176

Gráfico 20 – Curva do Carbono Total (toneladas) em função do tempo (anos) de SAFs da BR–230 176

Gráfico 21 – Carbono Estocado no Tempo (*CET*) de SAFs de cacaueiro da Região da BR–230 180

Gráfico 22 – Curva do *BMP, CMP* e *CMS* para *BSA* com *VCE*=US$73.40 185

Gráfico 23 – Curva do *BMP, CMP e CMSTACS* para *BSATACS* com *VCE*=US$ 73.40 186

Gráfico 24 - Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 28,04/t 190

Gráfico 25 - Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 140,20/t 191

Gráfico 26 - Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 280,40/t 192

Gráfico 27 - Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 560,80/t 193

Gráfico 28 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos sem mecanismo de compensação 194

Gráfico 29 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 28,04/t 195

Gráfico 30 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 140,20/t 195

Gráfico 31 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 280,40/t 196

Gráfico 32 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 560,80/t 196

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de População e Área da Unidade Territorial 35

Tabela 2 - Abordagens principais na classificação dos sistemas agroflorestais (e práticas) 46

Tabela 3 – Equações para Biomassa Total Acima do Solo de BROWN et al. (1989) 83

Tabela 4 – Equações para Biomassa Total Acima do Solo 84

Tabela 5 - Classes de diâmetro de árvores abatidas 85

Tabela 6 – Estimativa de grandes Depósitos de Carbono 94

Tabela 7 - Parâmetros do modelo do ciclo de carbono 97

Tabela 8 - Projetos de MDL no Brasil até dezembro de 2009 100

Tabela 9 – Linha de Base estabelecida pela PNMC 119

Tabela 10 – Níveis de produtividade estimados para espécies consortes em SAFs 158

Tabela 11 - Estimativa de Biomassa dos SAFs de cacaueiro da BR-230 (t/ha) 178

Tabela 12 - Estimativa de Biomassa para diferentes ambientes na Amazônia (t/ha) 179

Tabela 13 – Biomassa para cada Compartimento dos Cacaueiros da BR-230 180

Tabela 14 - Resultados da equação da demanda de Cacau 184

Tabela 15 - Resultados da equação da oferta de Cacau 185

Tabela 16 – Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSA* 187

Tabela 17 – Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSATACS* 187

Tabela 18 – Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para BME (R$) 189

Tabela 19 – Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para BMETACS (R$) 189

Tabela 20 - Valor Presente Líquido para diferentes Compensações (câmbio US$/R$ = 1,85) 197

Tabela 21 – Relação de Área, Rendimento e Carbono para municípios da BR-230 198

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEMC	Associação Brasileira das Empresas do Mercado de Carbono
AF	Agroflorestal
ALBRÁS	Alumínio Brasileiro S.A.
BEF	Biomass Expansion Factor
BEs	Equações de Biomassa
BEs	Biomass Equations
BF	Fator de Expansão
BFs	Fatores de Expansão
BM	Benefício Marginal
BME	Benefício Marginal Externo
BMP	Benefício Marginal Privado
BMS	Benefício Marginal Social
BR – 230	Rodovia Transamazônica
BSA	Benefício Socioambiental
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDM	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
CDM	Clean Development Mechanism
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CERUPT	Certified Emission Reduction Unit Procurement Tender
CH_4	Metano
CO_3	Carbonato
CO_2	Dióxido de carbono
COP	Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas

CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
CM	Custo Marginal
CMP	Custo Marginal Privado
c. p.	Ceteris Paribus
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
DNA	ácido desoxirribonucleico
ESP	Externalidade Socioambiental Positiva
EUA	Estados Unidas da América
FAO	Food and Agriculture Organization
FEB	Fator de Expansão de Biomassa
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIS	Geographic Information System
GPG	Guia de Boas Práticas
GWP	Global Warning Potencial
GWP	Potencial de Aquecimento Global
HCO_3	Bicarbonato
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísitica
ICCO	Organização Internacional do Cacau
ICRAF	Centro Mundial Agroflorestal
ICRAF	International Council for Research in Agroforestry
IDESP	Instituto de Desenvolvimento Econômico Social e Ambiental do Pará
IFC	Inventário Florestal Contínuo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

JI	Implementação Conjunta
LULUCF	Land Use, Land-use Change and Forestry
LULUCF	Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
$MTCO_2$	Milhões de Toneladas de CO_2
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
N_2O	Óxido Nitroso
ONU	Organização das Nações Unidas
PPCAD-PA	Plano de Prevenção, Controle e Alternativas ao Desmatamento do Estado do Pará
PCF	Prototype Carbon Fund
PIN	Programa de Integração Nacional
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
ppm	Partes por milhão
Pró-Ambiente	Programa de Crédito Ambiental do Governo Federal
PRODES	Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas
RADAM	Radar da Amazônia
RADAMBRASIL	Radar da Amazônia Brasil
RCEs	Reduções Certificadas de Emissão
REBRAF	Rede Brasileira Agroflorestal
RECA	Projeto de Reflorestamento Econômico, Consorciado e Adensado
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação
RNA	ácido desoxirribonucleico
SAF	Sistema Agroflorestal
SAFs	Sistemas Agroflorestais

SBSTA	Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TAGB	Total Aboveground Biomass
TAGB	Biomassa total acima do solo
TD	Taxas de Desmatamento anuais
TDM	Taxa de Desmatamento Médio
VCE	Valor do Carbono Estocado
VOB	Volume da casca e do tronco da base da arvore até o primeiro ramo
TACS	Estoque de Carbono Médio no Tempo
UGI	União Geográfica Internacional
UNFCCC	United Nations Framework on Climate Change Convention
WD	Volume médio ponderado da densidade da madeira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DOS SAFS DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA 34

2.1 LOCALIZAÇÃO, POPULAÇÃO E ÁREA 34

2.2 VEGETAÇÃO 35

2.3 SOLOS 37

2.4 CLIMA 39

2.5 HIDROGRAFIA 42

3 SISTEMAS AGROFLORESTAIS - CONCEPÇÕES 44

3.1 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CACAUEIRO DO ESTADO DO PARÁ (BR-230) 47

4 AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS 52

4.1 BIOMASSA VEGETAL 53

4.2 DADOS DE INVENTARIO FLORESTAL 55

4.3 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME 56

4.3.1 Métodos Diretos para Determinação de Volume 56

4.3.2 Métodos Indiretos para Estimativa de Volume 57

4.4 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA 62

4.4.1 Métodos Diretos para Determinação de Biomassa 63

4.4.2 Métodos Indiretos para Estimativa de Biomassa 65

4.4.2.1 Método do Fator de Expansão de Biomassa (BEF) 67

4.4.2.2 Método de Equações Alométricas 76

4.4.2.3 Estimativa de Biomassa por Sensoriamento Remoto 87

5 MDL, REDD E EXTERNALIDADE 90

5.1 O CICLO DO CARBONO 91

5.2 O INCENTIVO DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) 97

5.3 MECANISMO DE COMPENSAÇÃO POR DEGRADAÇÃO E DESMATAMENTO EVITADO 104

5.4 PRINCÍPIOS RELACIONADOS ÀS EMISSÕES DE CARBONO (LINHA DE BASE E ADICIONALIDADE) 111

5.4.1 Linha de Base 112

5.4.2 Adicionalidade 120

5.5 O MECANISMO DE COMPENSAÇÃO DO REDD 121

5.5.1 O Modelo de Mercado 122

5.5.2 O Modelo de Oferta 124

5.5.3 O Modelo de Demanda 126

5.5.4 O Equilíbrio de Mercado 127

5.5.5 Eficiência Alocativa 128

5.5.6 Medidas de Bem Estar 131

5.5.7 As Falhas de Mercado 132

5.5.8 Falhas de Mercado e Problemas Ambientais 134

5.5.9 O Bem Público e a Qualidade Ambiental 135

5.5.10 As Externalidades e os Problemas Ambientais 136

5.5.11 Soluções Convencionais para Problemas Ambientais 140

5.5.12 Problemas Ambientais e Soluções de Mercado 141

5.5.13 Externalidades Ambientais 142

6 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA, METODOLOGIA E TÉCNICAS 146

6.1 BIOMASSA E CARBONO DOS SAFS DA BR – 230 148

6.2 EXTERNALIDADE SOCIOAMBIENTAL DOS SAFS DA BR-230 157

6.3 POLÍTICA DE COMPENSAÇÃO SOCIOAMBIENTAL PARA OS SAFS DO PARÁ 160
6.4 EXTERNALIDADE SOCIOAMBIENTAL, REDD E VPL 166

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 168

8 CONCLUSÃO 199

9 REFERÊNCIAS 203

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Esta proposta de tese tem como ponto principal a análise de estoque de carbono de Sistemas Agroflorestais (SAFs) e a remuneração a agricultores que mantêm os serviços ambientais quantificados pelo carbono estocado tendo em vista a reposição deste estoque de carbono por SAFs em áreas que foram desmatadas e/ou degradadas para um período de trinta anos. Esta remuneração por carbono estocado é uma compensação financeira na forma de um subsídio a partir do mercado de cacau e da quantificação e monetarização do valor do carbono. Desta forma, os SAFs de cacaueiro vão garantir o acúmulo de carbono em suas espécies e contribuir para a manutenção do balanço do ciclo de carbono na região Amazônica.

O processo contrário ao da emissão de carbono ou emissão de gases que tenham carbono em sua composição é o seqüestro de carbono, com seu estoque, por exemplo, nas florestas, que é um processo natural de retirada de gás carbônico da atmosfera. O processo de retirada de gás carbônico da atmosfera acontece essencialmente nos oceanos e florestas. Nas florestas, o carbono é estocado essencialmente nos vegetais e principalmente nas espécies florestais. Como as florestas ocupam um terço de toda a área do planeta, elas exercem um papel importante no ciclo do carbono. Entretanto, após a revolução industrial está sendo intensivamente emitido novamente a atmosfera o carbono estocado proveniente do petróleo, carvão mineral, gás natural e madeira. Os três primeiros são usados largamente para geração de energia para as indústrias. Entretanto, o grande estoque de carbono da madeira é proveniente de florestas e, no nosso caso, da Floresta Amazônica, que sofre desmatamento e degradação, diminuindo assim este potencial depósito de carbono. Sabemos que reduzir a emissão de gases sem sacrificar o desenvolvimento é uma dificuldade para enfrentar as mudanças climáticas no Globo proveniente da emissão de carbono, pois a grande maioria das emissões de gases é gerada para produção de energia, pela atividade industrial e pela a agricultura e pecuária.

As principais fontes de emissão de Gases de efeito estufa (GEE) no mundo segundo o relatório de MCKINSEY&COMPANY (2009) são: setor industrial,

edificações, tratamento de resíduos, energia, transporte, agricultura, pecuária e setor florestal.

No Brasil, os setores que menos emitem GEE são edificações, tratamento de resíduos, energia e transporte. De outra forma, as principais fontes de emissão de GEE brasileiras são os setores de agricultura, pecuária e setor florestal.

Baseado nestes dados verifica-se que temos fontes de pequenas emissões, como edificações e tratamento de resíduos. Por isso, o maior desafio é ter uma grande diminuição de emissões nos setores com maior porcentagem de emissão de GEE na Amazônia, pois são os setores que emitem sobremaneira na região, que são a agricultura, a pecuária e o setor florestal. Assim, os maiores emissores devem ser tratados com mais severidade e com propostas de efetiva redução de GEE. Tais emissões devem ser reduzidas para se atingir um decréscimo das emissões com mais abatimento dos GEE.

Além do mais, após mostrarmos os setores com maiores emissões, devemos verificar, por outro lado, os setores com maiores oportunidades de abatimento dos GEE. Por isso, para o abatimento de emissões para os setores de energia e transporte MCKINSEY&COMPANY (2009) apontaram o que poderia se esperar para 2030 citado como "O potencial de abatimento nesses setores soma 72 $MTCO_2$ e, correspondendo a 4% do potencial total do abatimento do Brasil". Além disso, segundo MCKINSEY&COMPANY (2009) para 2030 "As iniciativas de abatimento para esses setores industriais somam 130 $MTCO_2$ e, correspondendo a 7% do potencial de abatimento do país [...] As iniciativas de abatimento no setor de tratamento de resíduos representam 3% do potencial de redução do país, e estão principalmente concentradas em reciclagem de lixo e aproveitamento de gases de aterros sanitários". Assim, os setores de energia, transporte, setores industriais e setor de tratamento de resíduos somam juntos cerca de somente 14% do potencial de abatimento de GEE do Brasil. Desta forma, a porcentagem de abatimento para 2030 (MCKINSEY&COMPANY, 2009) nos setores de energia, transporte, setor industrial e setor de tratamento de resíduos estão abaixo de um quarto do total de emissões de GEE para o Brasil como um todo.

Tanto as maiores emissões quanto as mais promissoras oportunidades de abatimento de emissões de GEE estão nos setores de agricultura, pecuária e setor florestal, e que a análise de MCKINSEY&COMPANY (2009) indicam que "A maior

parcela vem, no entanto, do setor florestal. O desmatamento, principalmente do bioma Amazônia, é a maior fonte de GEE do Brasil sendo responsável por 55% das emissões atuais. Esse percentual deve cair para 43% em 2030, partindo-se da premissa de que o volume desmatado se mantém na média histórica dos últimos 10 anos, em linha com o caso de referencia do Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) lançado em 2008. A eliminação do desmatamento até 2030 representa 72% das oportunidades de abatimento brasileiras".

Assim, o aumento das emissões de Carbono das florestas nas formas de CO_2 e CH_4 e seu conseqüente aumento na atmosfera, tem potencial de contribuir para as mudanças climáticas no Globo, principalmente pelo fato de nem todo o carbono proveniente do desmatamento da floresta ser transformado em CO_2 e muito menos ser absorvido para gerar floresta novamente por recrescimento e/ou renovação de capoeira. Assim, com o passar do tempo, há um decréscimo do carbono da floresta por degradação e desmatamento. Esta diminuição do carbono na Floresta Amazônica é a cada dia maior, pois as taxas de degradação e desmatamento na Amazônia têm crescido a cada ano.

O desmatamento na Amazônia é uma das conseqüências da mudança do uso da terra. Desta forma, o uso da terra e as mudanças do uso da terra estão modificando o cenário de absorção e de emissão de Dióxido de Carbono (CO_2) da Amazônia. Fearnside (2004) cita que o uso da terra e a mudança do uso da terra na Amazônia contribuem para mudanças climáticas globais em diversas maneiras. Na Amazônia, atualmente, o uso da terra e a mudança do uso da terra mais aplicada pelos setores da pecuária, agricultura e setor florestal são o desmatamento e a degradação, seja para criar novas áreas para pecuária e agricultura, seja pelas queimadas ou pelo apelo econômico junto a exploração madeireira.

Além de proporcionar alterações no próprio local de geração de GEE, as mudanças climáticas também podem provocar alterações e atingir regiões fora daquela no qual foi gerada a emissão de GEE. Conforme Fearnside (2004), "Mudanças climáticas afetadas pelo desmatamento incluem a diminuição de chuvas devido à diminuição da reciclagem de água, sobretudo na época seca. A água reciclada pela floresta amazônica também faz uma contribuição substancial às chuvas no centro-sul do País nos meses de dezembro e janeiro, que é a época crítica para recarga das represas hidrelétricas naquela região. Desmatamento também faz uma contribuição ao

aquecimento global. Em 2002, considerando a estimativa oficial preliminar da taxa de desmatamento de 25,5 mil km^2/ano e valores medianos para gases-traço, as emissões líquidas comprometidas (i.e., já descontada o recrescimento e capoeiras) totalizaram 450 milhões de toneladas de carbono - uma quantidade astronômica. Gases são liberados pelo desmatamento através da queima e decomposição da biomassa, pelos solos, pela exploração madeireira, pelas hidrelétricas, pelo gado e pelas queimadas recorrentes de pastagens e de capoeiras".

> A floresta amazônica brasileira permaneceu completamente intacta até o início da era moderna do desmatamento, com a inauguração da rodovia Transamazônica, em 1972. Os índices de desmatamento na Amazônia vêm aumentando desde 1991 com o processo de desmatamento num ritmo variável, mas rápido. 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. O comércio da carne bovina é apenas uma das fontes de renda que faz com que o desmatamento seja lucrativo. A degradação da floresta resulta do corte seletivo, dos incêndios (facilitados pelo corte seletivo) e dos efeitos da fragmentação e da formação de borda. A degradação contribui para a perda da floresta. Os impactos do desmatamento incluem a perda de biodiversidade, a redução da ciclagem da água (e da precipitação) e contribuições para o aquecimento global (FEARNSIDE, 2005).

No principio da década de 1970, a floresta amazônica brasileira ocupava uma área total de 4,18 milhões de km^2. Atualmente o desmatamento acumulado já ultrapassa 650 mil km^2 − 15% de sua extensão original −, uma área maior que a França e quase o dobro da Alemanha (SOARES FILHO et al., 2009).

Um grande problema para o Brasil e, sobretudo para a Amazônia é qual ou como deve ser a forma de atuar para mitigar o desmatamento e a degradação de novas áreas em que ainda existem florestas. Além disso, qual deve ser a estratégia usada para se tentar recuperar ou reflorestar áreas degradadas ou desmatadas. Aliás, a pergunta vai mais além destas expectativas e ao mesmo tempo está contida nas duas anteriores que é como o produtor rural poderia estocar carbono em áreas anteriormente degradadas e desmatadas pelo uso intensivo para a pecuária, agricultura e em áreas somente degradadas e desmatadas sem comprometer sua renda e seu lucro, mantendo os serviços ambientais e sem avançar em novas áreas remanescentes com floresta.

Dentro desta perspectiva, a atividade produtiva da pecuária não poderá se enquadrar, pois o estoque de carbono do pasto é muito baixo. O ideal seria a tentativa de repor o carbono da atmosfera novamente em carbono das folhas, galhos, fuste e raízes

das árvores da Amazônia, repondo por reflorestamento o estoque para se ter um máximo de potencial para todas as áreas degradadas e desmatadas, retornando a taxas de carbono comparadas há décadas atrás na Amazônia. Além do mais, uma outra alternativa é o pousio, entretanto não é uma atividade produtiva.

Portanto, atualmente, não há uma forma real, usada na prática, que está dando certo ou tem potencialidade para mitigar tal problemática do desmatamento e da degradação na Amazônia. Por isso, as alternativas de estoque de carbono para a região da floresta Amazônica estão em um contexto complexo e devem ser implementadas para potencial substituição de padrões de uso da terra já há décadas utilizados e com altas taxas de degradação e desmatamento e baixo estoque de carbono. Além do mais, muitas propostas para a Amazônia com alto nível de estoque de carbono necessitam de alto capital inicial para sua implementação e assim é raramente aplicada e promove a desesperança para a utilização de atividades que não sejam as já tão utilizadas atividades produtivas da pecuária e da agricultura de monocultura que tanto renovam as causas da degradação e do desmatamento.

Uma proposta com potencialidade para substituir as áreas com desmatamento e/ou degradação com manutenção de estoque de carbono são os SAFs.

Neste estudo estamos interessados nos SAFs de cacaueiro da BR-230, pois além de gerar renda ao agricultor, promove a manutenção da biodiversidade, realizando a ciclagem da água na região e manutenção de nutrientes no solo, também tem a função de estocar carbono retirando-o da atmosfera reduzindo o efeito estufa e, assim, garantir os serviços ambientais.

Sistemas agroflorestais representam uma forma de uso para áreas desmatadas tornando-se preferível agronômica, social e ambientalmente às pastagens que atualmente dominam o uso da terra na Amazônia brasileira [...] Os sistemas agroflorestais devem ser encorajados para desempenhar o seu devido papel no desenvolvimento da região (FEARNSIDE, 1996).

Os SAFs por si só, independentemente do seu papel em potencial na recuperação de terra degradada, são de fato muito atraentes. Assim, o SAF pode ser uma solução com potencialidade e promissora para áreas já desmatadas na Amazônia. Além disso, as áreas desmatadas e degradas da Amazônia tem potencial para ser ocupada com os Sistemas Agroflorestais para sua recuperação, retorno social, econômico e ambiental para o desenvolvimento da região e conseqüente estoque de carbono.

Segundo Nair (1985) os Sistemas Agroflorestais devem ser classificados, dentre outras coisas, de acordo com sua estrutura, função, adaptabilidade e nível. Além disso, exemplifica alguns casos de SAFs em todo o mundo. Assim, de acordo com a classificação de NAIR (1985), podemos dizer que os SAFs da BR–230, ou Rodovia Transamazônica, podem ser considerados e classificados como Sistemas Agroflorestais agrosilviculturais de produção comercial de cacau, coincidente, de sombra, tropical úmido de terra firme.

O cultivo do cacaueiro na Amazônia reúne aspectos que, geralmente, são considerados nas abordagens analíticas sobre sustentabilidade da agricultura, a saber: I) Eficiência técnica, II) Importância social, III) Sustentabilidade econômica, Coerência ecológica (ALMEIDA et al., 2010).

O cacaueiro por ser tolerante a sombra é cultivado em associação com outras espécies, que lhe fornecem sombreamento provisório e definitivo. Essa forma de cultivo o caracteriza como um dos modelos agroflorestais clássicos e mais utilizados no mundo (MELO; SILVA NETO; CORREA, 2011).

> Quanto as vantagens de se cultivar cacaueiro em SAFs temos: vantagens econômicas, ambientais e sociais. Econômicas: aumento da produção e da receita; várias receitas durante o ano; aumento da fertilidade do solo, através da decomposição da matéria orgânica que melhora as suas características químicas, físicas e biológicas; redução do custo de implantação do sistema. Ambientais: proteção contra erosão e degradação dos solos; conservação de espécies arbóreas, nascentes, cursos d'água e encostas; formação de corredores ecológicos. Sociais: emprego de mão-de-obra fixa; redução do êxodo rural e melhoria do padrão de vida da família (MELO; SILVA NETO; CORREA, 2011).

Além destes benefícios e vantagens podemos enumerar tantos outros como: contribuição para a evapotranspiração da região contribuindo para o ciclo da água, o benefício para todo o contexto social das famílias dos produtores rurais da região que mantêm o cerne da família na região e diminui os fluxos de materiais pela contribuição da maximização do consumo de bens e serviços locais. Além disso, há o serviço de estoque de carbono que se enquadra em um serviço ambiental.

Para regiões com cobertura florestal predominante e com taxas de desmatamento significativas, como é o caso do Território da Transamazônica, a previsão de formas de pagamento por serviço ambiental carbono são fundamentais, alem da definição de fontes de recursos para o uso dessas ferramentas econômicas. Para isso é fundamental a

complementação da legislação para regulamentação por pagamento por serviço ambiental, ainda bem distante de uma definição rápida para induzir trajetórias produtivas de menor impacto ambiental e social (SANTANA, 2009).

Portanto, este trabalho sugere uma forma de modelo com a contribuição de uma ferramenta de medida por pagamento de serviço ambiental a partir das falhas de mercado.

Uma grande oportunidade para gerar renda e emprego seria levar em conta a recuperação de áreas desmatadas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, considerando como crédito de carbono, em vez do enxadrezamento da floresta amazônica por multinacionais (HOMMA, 2005).

Logo, se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um mecanismo aplicado para redução de GEE em larga e pequena escala no mundo para solucionar os problemas de desmatamento e degradação na Amazônia, por que não empregá-lo no caso dos SAFs da BR-230?

Essa colocação deve ser seguida de uma explicação: foi na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) que foi debatido o MDL, que está entre as políticas de redução das emissões de GEE.

As potenciais aplicações dos projetos para o MDL são por setores:

a) Fontes alternativas de energia
b) Recursos hídricos, matas ciliares e compensação ambiental
c) Eficiência energética
d) Planejamento urbano para a redução de emissão de combustíveis;
e) Manejo sustentável de resíduos industriais urbanos e rurais; e
f) Reflorestamento

Os dados de dezembro de 2009 no mundo demonstram que os países que estão entre os principais atores que participam das atividades no âmbito do MDL são a China, A Índia e o Brasil. No Brasil, a redução de GEE pelo uso do MDL para florestas está sendo pouco utilizada.

O projetos de MDL no Brasil para redução de GEE mais implementados são os de redução de gases que contem carbono em sua composição. Por exemplo, 64% dos projetos de MDL no Brasil até 2009 foram para reduzir metano (CH_4).

O número de projetos de MDL no Brasil até dezembro de 2009 demonstra que o maior número de projetos está no setor de energia, enquanto que o número de projetos

de reflorestamento é baixíssimo. Desta forma, no Brasil o setor de reflorestamento não é um dos mais procurados para se implementar projetos de MDL apesar da grande quantidade de carbono que se pode estocar em uma floresta ou em um reflorestamento de áreas desmatadas.

No Brasil, as atividades do projeto de MDL mais predominantes estão no setor energético, com liderança do Estado de São Paulo, que não é estado Amazônico, apesar da área da Amazônia Legal ser mais da metade do país. O tipo de projeto de MDL de co-geração do bagaço da cana em usinas de açúcar e álcool é o mais comum no Brasil, em que as usinas estão concentradas em sua maioria em São Paulo. O estado de Minas Gerais é o segundo lugar no ranking do mercado de carbono, seguido do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, do Paraná e de Goiás.

Por região, Norte e Nordeste são as que têm menor representatividade no ranking de projetos de MDL. Mesmo com todo o potencial de estoque de carbono em reflorestamento de áreas desmatadas e degradadas da Amazônia.

Da mesma forma que no Brasil a distribuição das atividades de MDL está concentrada no setor de energia, também na Amazônia mais da metade dos projetos se concentra neste setor. O estado que mais concentra projetos de MDL na Amazônia é o Estado de Mato Grosso. O Pará é o terceiro no ranking dos estados da Amazônia com projetos de MDL, contabilizando dois projetos, um com produção de metais e outro usando resíduos da madeira serrada para geração de energia. Desta forma, a conclusão é que não há interesse de se implantar projetos de MDL na Amazônia, pois durante todo este tempo de vigência do MDL temos uma quantidade diminuta de projetos no Pará, além disso, não há nenhum projeto de MDL para reflorestamento tanto no Estado do Pará quanto na Amazônia.

Desta forma, não houve a obtenção de alcance florestal do MDL na Amazônia. Além de termos na Amazônia poucos projetos de MDL, não há nenhum projeto de reflorestamento desta modalidade na região, inclusive o MDL não abrange áreas já implantadas com atividades produtivas ou com floresta. Portanto, um novo mecanismo de incentivo aos produtores rurais que garantem os serviços ambientais na região Amazônica deve ser implementado, este baseado na preservação e na substituição de áreas degradadas e desmatadas por atividades rentáveis, como os SAFs de cacaueiro. Tal mecanismo deve ser implantado em áreas desmatadas e degradadas para redução de emissões de carbono, e no caso particular exposto neste trabalho, o mecanismo de

compensação é baseado no mercado de cacau do Estado do Pará e no seqüestro de carbono por SAFs de cacaueiro na rodovia BR-230. O Mecanismo denominado Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) é baseado na externalidade positiva da garantia dos serviços ambientais representado fundamentalmente pela absorção de carbono e implementado como uma externalidade socioambiental positiva aos produtores rurais para contribuir ou ajudá-los a permanecer ou manter a família na região da BR-230.

> 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. Um dos caminhos mais promissores para se chegar a tal desenvolvimento é aquele atualmente em debate no âmbito da UNFCCC e identificado pela sigla REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal). Se um mecanismo de REDD for implementado, os países em desenvolvimento que se disponham a adotá-lo e que comprovem reduções de emissões de GEE resultantes do desmatamento em seus territórios poderão obter incentivos positivos ou compensações financeiras. A expectativa é de que este regime estimule uma nova economia mundial de baixa emissão que contemple os esforços para proteção florestal e redução de emissões por desmatamento (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011).

Portanto, apesar de várias vantagens do cultivo do cacaueiro em SAFs e de sua produção e, diante de vários benefícios, dentre eles os econômicos, sociais e ambientais, neste trabalho somente será levado em consideração o benefício do carbono estocado no tempo, isto é, o serviço ambiental carbono e o dimensionamento de um mecanismo de compensação que contribuirá ainda mais para a sustentabilidade da atividade produtiva.

Este mecanismo econômico necessita de uma ferramenta econômica para ser implantado. Assim, o REDD para os SAFs da BR–230 pode ser tratado, contabilizando o carbono estocado e sugerido um Subsídio ou Externalidade Socioambiental Positiva para os agricultores e, portanto, tornando neste caso, um desenvolvimento rural de baixa emissão de carbono com a criação de um mecanismo de compensação para atividades produtivas que garantem os serviços ambientais.

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 a composição florística destes SAFs da BR–230, temos o cacaueiro como espécie principal e as essências florestais ou espécies sombreadoras definitivas que compõem o SAF de

cacaueiro variam muito. Calvi (2009) encontrou, além do cacaueiro como espécie principal, cento e cinquenta e seis combinações diferentes de SAFs e cento e onze espécies vegetais identificadas nos SAFs de cacaueiro somente no município de Medicilândia.

Assim, neste trabalho apresentamos um mecanismo de compensação com uma metodologia para o REDD para atividades produtivas a partir do estudo do Custo Marginal Privado e do Benefício Marginal Privado do mercado de cacau do Estado do Pará e, usando parâmetros da atividade produtiva dos SAFs de cacaueiro da BR-230, como o Carbono Estocado no Tempo para compor o Benefício Socioambiental.

Para o estudo do estoque de carbono dos SAFs, primeiramente devem ser identificados e classificados os SAFs para posteriormente escolher a forma como será determinado ou estimado a biomassa, que no caso dos SAFs da BR–230, temos o cacaueiro como espécie mais abundante em que na sua maioria o espaçamento é de 3mx3m e as essências florestais podem estar em diferentes espaçamentos (12mx12m, 15mx15m, 18mx18m e outros). Assim, se determina ou estima a biomassa do cacaueiro e se estima a biomassa das essências florestais.

A partir da determinação e/ou estimativa da biomassa dos SAFs de cacaueiro da BR–230 para várias idades temos condições de traçar a curva de crescimento de biomassa no tempo e, a partir daí, encontrar o estoque de carbono total dos SAFs para qualquer idade. Para cada idade de SAF temos um incremento de biomassa a cada ano, com o conseqüente aumento do carbono estocado e a crescente valorização dos serviços ambientais com o decorrer do tempo. Portanto a taxa de variação do estoque de carbono total foi encontrada para trinta anos da atividade produtiva e chamada de Carbono Estocado no Tempo.

Para a estimativa de biomassa e carbono dos SAFS de cacaueiro da BR-230 utilizamos o método direto para os cacaueiros e o método das equações alométricas para as essências florestais dos SAFs. O trabalho de campo para estimar o carbono dos SAFS de cacaueiro foi realizado na Estação da CEPLAC de Medicilândia.

Os serviços ambientais de SAFs são quantificados neste caso pela capacidade de estocar carbono. Estes SAFs desenvolvem a região da BR–230 cuja conseqüência é a baixa emissão de carbono. Assim, este desenvolvimento rural de baixa emissão de carbono, ou REDD, é um mecanismo econômico ou um comércio de emissões oriundo da conservação florestal.

O mecanismo de compensação, ou REDD, para os agricultores de SAFs da Transamazônica, é proposto com o estudo da dinâmica do mercado de cacau, a partir dos dados das quantidades ofertadas e demandadas no Estado do Pará. Assim, o nosso debate é sobre os direitos de propriedade da atmosfera e suas regras nas falhas ambientais de mercado. Desta forma, podemos apresentar uma solução política que pode ser usada por governos como resposta as falhas de mercado para internalizar externalidades positivas de problemas ambientais. Portanto, as falhas de mercado para tratar o desmatamento e a degradação podem ser solucionadas através da ferramenta da externalidade socioambiental que nos remete a Taxa Pigouviana que deve ser tratada a partir do Mercado de Cacau Local restrito ao Estado do Pará, com o Custo Marginal Privado (*CMP*), o Benefício Marginal Privado (*BMP*) e o Benefício Socioambiental (*BSA*) para compor o Custo Marginal Social (*CMS*). 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 (*CET*) e com o Valor do Carbono Estocado (*VCE*).

Agora, neste momento deve ser feita uma reflexão do porque 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, pois devem estocar 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.

Há sempre controvérsias sobre a metodologia do estabelecimento da linha de base para os projetos de MDL, fundamentalmente em projetos que envolvem a conversão de carbono atmosférico em carbono de biomassa vegetal. Essencialmente, a linha de base para projetos de MDL florestais passam pelo 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 do projetos de MDL sempre causou muito debate e incertezas, portanto, apresentamos neste trabalho uma metodologia para REDD a partir do Benefício Socioambiental 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 de cacaueiro da BR-230. Tal metodologia é

diferente daquela que leva em consideração a adicionalidade ou a linha de base histórica que pode ser nacional ou regional, mas leva em consideração a redução de emissão doméstica proporcionada por um ator do processo de redução de emissões que neste caso é o constituído pelo SAF de cacaueiro da BR-230 que estoca carbono nas espécies vegetais.

A importância e o mérito da metodologia está em três variáveis da atividade e muito mais que isso, está alicerçada na real taxa de carbono estocado da atividade produtiva. Perceba que de posse da informação do *BSA* da atividade, seja ela uma floresta ou uma atividade produtiva rentável, como os SAFs de cacaueiro 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 cacaueiro em área de desmatamento de acordo com a metodologia do MDL? Portanto com a metodologia do REDD a atividade de quem realmente pratica o estoque de carbono e outro serviço ambiental 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 devido valor dos que preservam com a manutenção do serviço carbono para a busca da sustentabilidade.

A metodologia da análise de Externalidade Socioambiental é baseada no Carbono Estocado no Tempo por SAFs de cacaueiro 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.

Portanto, a atividade econômica e as questões ambientais e sociais andam sempre juntas como uma alternativa para solucionar o problema da degradação e do desmatamento na Amazônia.

> O REDD poderá trazer divisas importantes para o Brasil. O país se encontra suficientemente preparado e numa posição privilegiada de modo a aproveitar todo o potencial que este novo mecanismo econômico oferece. As experiências como a do Fundo Amazônia, somadas à aprovação pelo Congresso Nacional da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que estabeleceu, pela primeira vez, metas nacionais de redução de emissões de GEE, incluindo aí aquelas para o desmatamento amazônico e no cerrado, demonstram o quanto o país está pronto para absorver uma nova lógica econômica intermediada pelo mecanismo de REDD. Ainda, o Brasil mantém um sistema de monitoramento por satélite, operado pelo INPE, que o coloca

> na vanguarda da tecnologia que poderá auxiliar na medição e verificação de novos desmatamentos e, assim, aferir de modo robusto reduções no ritmo de destruição de suas florestas. Finalmente, o engajamento de diferentes setores da sociedade brasileira na discussão de um regime nacional de REDD, somados aos esforços dos estados amazônicos em estabelecer seus próprios planos e metas de redução de desmatamento, reforçam a tese de que o país tem enorme potencial para implementar uma nova lógica econômica baseada na baixa emissão de carbono (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011).

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 da externalidade socioambiental positiva para criação do mecanismo de compensação foi baseado no Custo Marginal Social, Benefício Marginal Privado e Custo Marginal Privado. Portanto, para cada valor de Carbono Estocado em Toneladas é estabelecido um valor de externalidade socioambiental positiva e associação ao seu respectivo mecanismo de compensação.

De todas estas asserções acima, advêm os seguintes questionamentos:

a) Quanto carbono pode ser estocado por Sistemas Agroflorestais Rentáveis Economicamente e transformados em biomassa na Amazônia?
b) Qual a remuneração de estoque de carbono de um SAF?
c) Há alguma forma de contribuição pecuniária ou compensação para os SAFs na Amazônia para que sua implantação e manutenção sejam economicamente viáveis?
d) Quanto de compensação financeira por estoque de carbono deve ter um SAF para ser economicamente viável?
e) Qual o valor de uma externalidade socioambiental positiva 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?
f) Pode ser desenvolvida uma nova metodologia no qual sua métrica seja a da absorção do carbono estocado no tempo?

Dentre os fatores de escolha de SAFs, não somente estão os que dão retorno mais rápido, mas aqueles que sejam mais sustentáveis, com considerável estoque de

carbono e que devam pleitear o desenvolvimento social, econômico e ambiental da região. Como uso da terra, os Sistemas Agroflorestais devem ser reconhecidos como um uso de considerável estoque de carbono que pode desempenhar um significativo papel nos projetos e planos de desenvolvimento na Amazônia.

Primeiramente, um dos motivos da exploração com desenvolvimento com SAFs em áreas degradadas e desmatadas na Amazônia é a não concorrência ou competição com a exploração não sustentável da floresta nativa pelos madeireiros. Alem do mais, não só a renda gerada com a produção dos SAFs deve ser levada em consideração, mas também, a retirada de CO_2 da atmosfera e conseqüente estoque de carbono na biomassa dos cultivares.

Certos itens não serão abordados neste trabalho como o mercado para mercadoria dos SAFs, pois não será levado em consideração se a implantação dos SAFs não deve ser usada como uma desculpa para o 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. Finalmente, os obstáculos econômicos de mercado para tornar os SAFs atraentes serão deixados de lado.

O que será tratado são análises de carbono estocado de Sistemas Agroflorestais para encontrar o mecanismo de compensação. Além do mais, qual a externalidade socioambiental positiva para carbono estocado tendo em vista a reposição de estoque de carbono por SAFs em áreas já desmatadas e/ou degradadas. Além disso, serão apresentados os estudos preliminares para auxiliar a implementação da ferramenta da externalidade socioambiental positiva para SAFs na Amazônia.

O trabalho objetiva investigar o Carbono Estocado no Tempo e criar a metodologia para o mecanismo de compensação de Sistemas Agroflorestais de cacaueiro da BR-230 para sustentabilidade da atividade produtiva. Além disso, analisar a remuneração de estoque de carbono para os SAFs para avaliar se a atividade é rentável economicamente, entender a dinâmica do carbono estocado no tempo para os SAFs para classificar a relevância da atividade dentro da qualidade serviço ambiental, verificar se a atividade proporciona o fornecimento de elementos sociais, ambientais e econômicos para a geração de alternativas para áreas degradadas e desmatadas na região Amazônica, definir a partir do Carbono Estocado um referencial metodológico para o REDD em

atividades produtivas na Amazônia e, dimensionar a externalidade socioambiental positiva a partir do mercado de cacau do Estado do Pará e do carbono estocado de SAFs para os agricultores da BR-230 para a busca da sustentabilidade da atividade.

Esta tese é composta por oito capítulos. No primeiro capítulo temos uma introdução ao problema de estudo, questionamentos e objetivos. O capitulo dois trata da área de estudo com todas as características da região. São proporcionados neste capítulo informações sobre clima, vegetação, solo e intensidade de chuvas. O capitulo três dedica-se aos SAFs, principalmente os SAFs da Transamazônica. O quarto capítulo mostra métodos de determinação e estimativa de volume, biomassa e carbono vegetal e apresenta a metodologia aprovada pela *United Nations Framework on Climate Change Convention /Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC/CCNUCC)* em 2005 do *Clean Development Mechanism (CDM)* do guia de boas práticas (GPG) do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*

No quinto capítulo é apresentado o processo do ciclo do carbono na atmosfera, os números do fracasso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para o setor de reflorestamento na Amazônia e o Mecanismo de Compensação de Redução de Emissões por Degradação e Desmatamento Evitado, além disso, a teoria sobre falhas de mercado, externalidades e a teoria para a composição da externalidade socioambiental positiva a partir do mercado. No capítulo seis são mostrados as técnicas, a metodologia e os métodos para a composição do Mecanismo de Compensação a partir da externalidade socioambiental positiva e do Valor do Carbono Estocado. Assim, são mostrados a partir do mercado local de cacau, isto é, para o Estado do Pará a metodologia para se encontrar as equações para o Custo Marginal Privado, o Benefício Marginal Privado, o Benefício Socioambiental e o Custo Marginal Social que são componentes que formam a externalidade socioambiental positiva para os SAFs de cacaueiro da BR-230. Além do mais, é mostrada a compensação por serviços ambientais com o auxílio do Valor Presente Líquido dos SAFs de cacaueiro com e sem a implementação da externalidade socioambiental positiva.

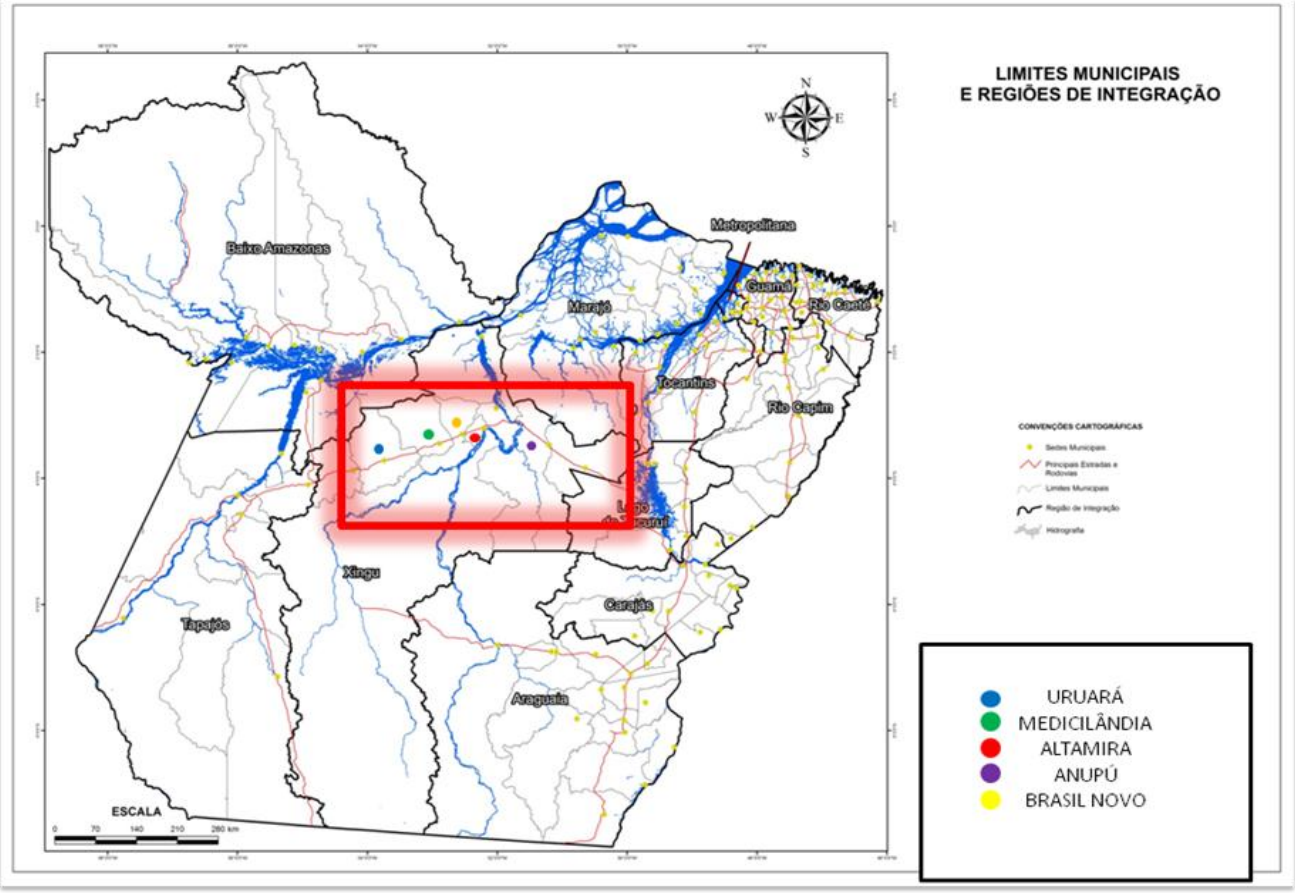
No capítulo 7 são apresentados os resultados e discussões sobre o método para construção do Benefício Socioambiental ou a medida de quantificação do REDD para compor o mecanismo de compensação financeira para SAFs da BR-230 para diferentes valores de externalidade socioambiental positiva e a relação entre o Valor Presente Líquido com o Mecanismo de Compensação e o Valor Presente Líquido sem o

Mecanismo de Compensação para trinta anos de atividade produtiva. No capítulo 8 apresentamos as principais conclusões do estudo.

2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DOS SAFS DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA

Neste capitulo é tratado a localização e as características da região onde foi realizado o estudo. O objeto do estudo abrange os municípios de Altamira, Medicilândia, Brasil Novo, Uruará e Anapú no Estado do Pará, conforme o Mapa 1.

Mapa 1 – Regiões de Integração do Estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

2.1 LOCALIZAÇÃO, POPULAÇÃO E ÁREA

Nesta região todos os municípios são atravessados e suas sedes municipais encontram-se sob a BR-230 ou Rodovia Transamazônica. Todos os municípios estudados sofrem a influencia da bacia do Rio Xingu, isto é, se este não atravessa suas terras, este sofre influencia de pelo menos um de seus afluentes.

Mapa 2 – Municípios da região da BR–230.

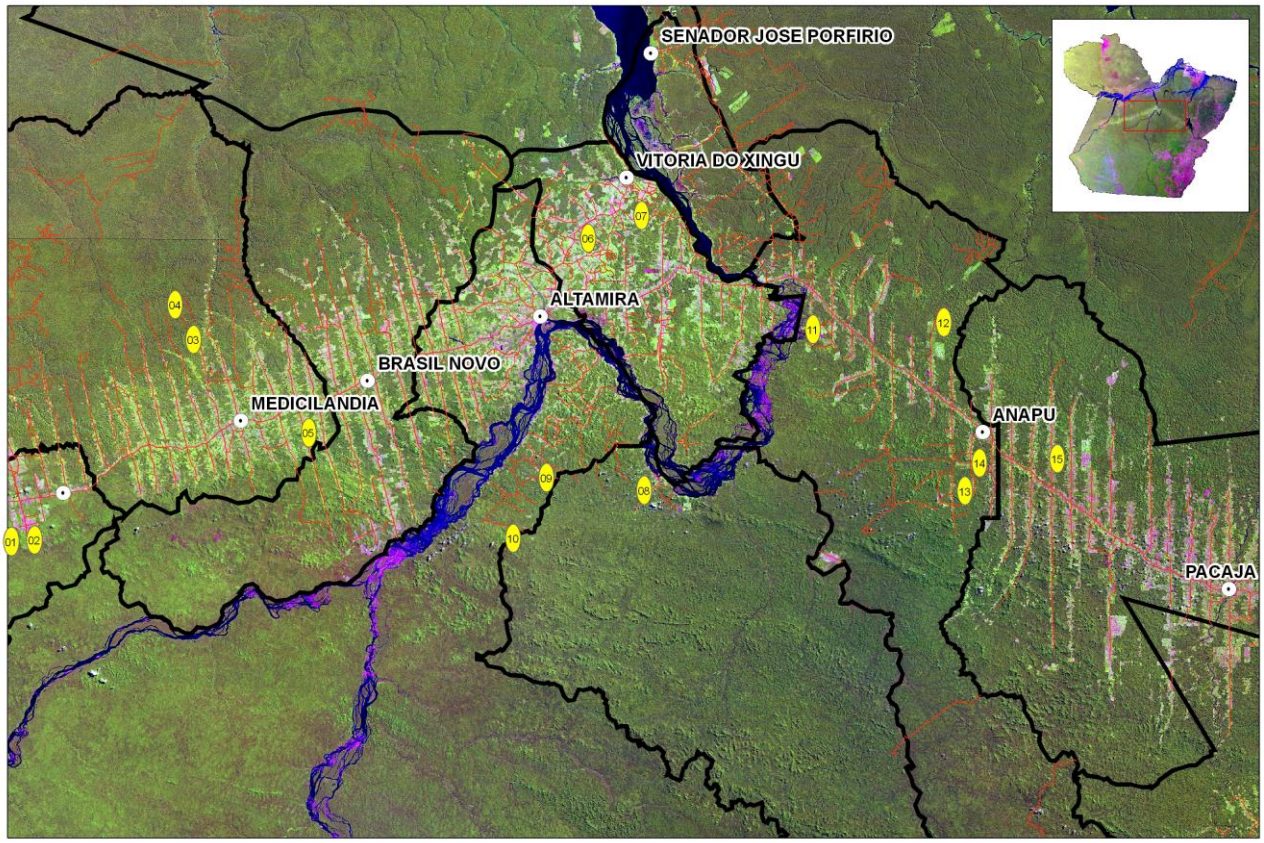


Tabela 1 – Dados de População e Área da Unidade Territorial

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

Fonte: IBGE (2011)

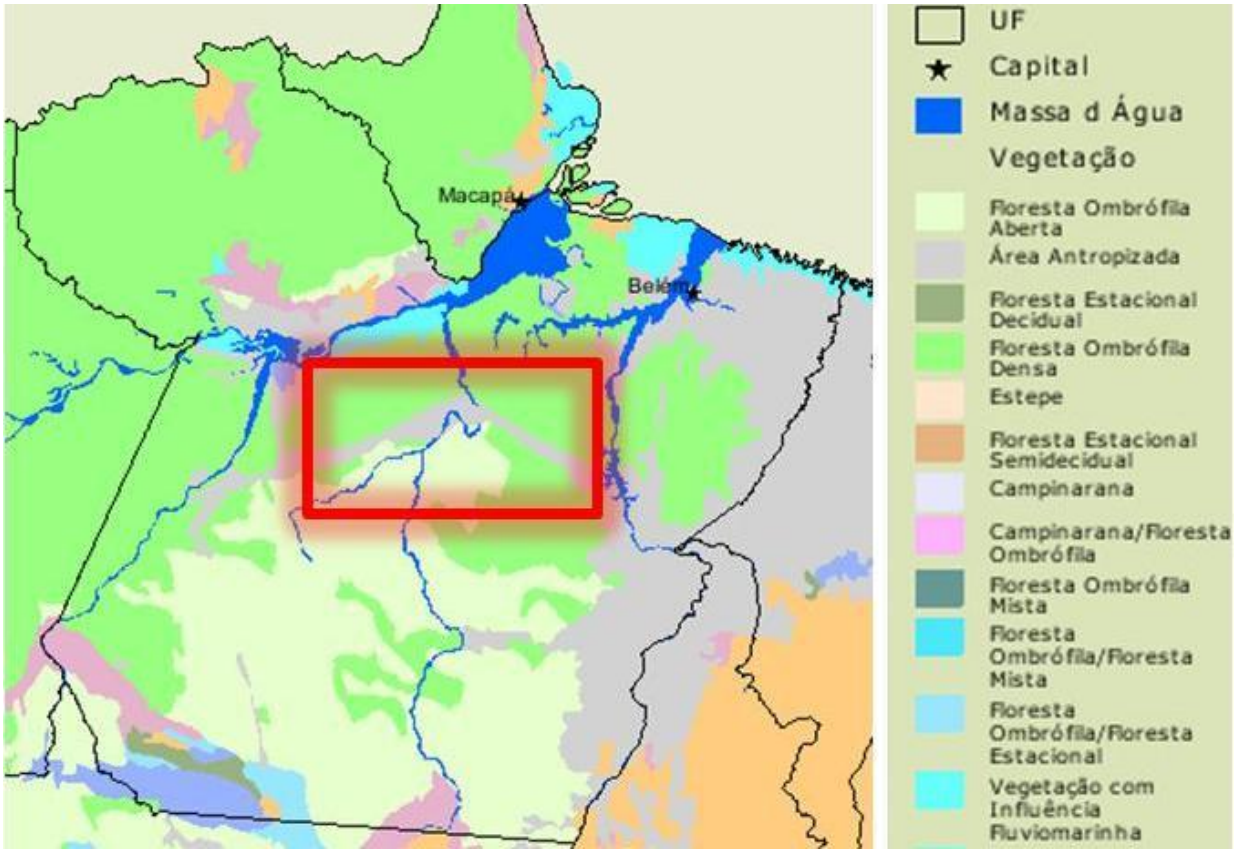
2.2 VEGETAÇÃO

A vegetação da área de estudo é predominantemente Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e Área Antropizada conforme visto no Mapa 3.

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).

Mapa 3 - Mapa de vegetação do Estado do Pará.



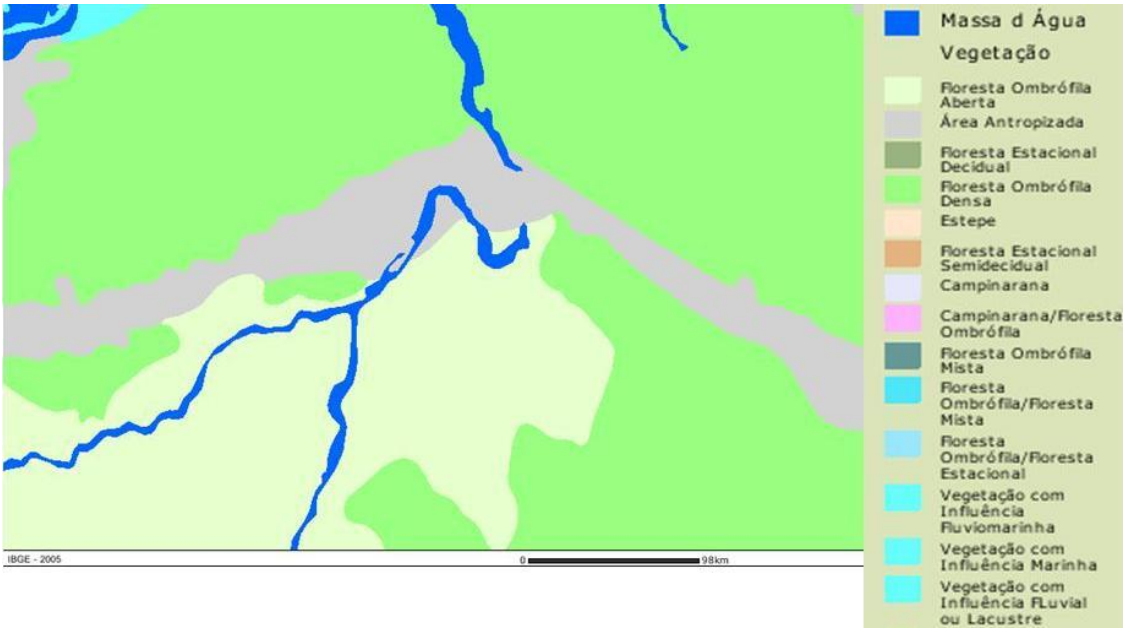
Fonte: IBGE (2010)

> Para Altamira, predomina no Município a Floresta Aberta latifoliada (cipoal) e a Floresta Aberta Mista (Cocal), na sub-região da superfície arrasada do Médio Xingu/Iriri. No baixo Iriri, encontra-se a Floresta Densa submontana em relevo dissecado e ao norte do Município, próximo à sede, encontra-se a Floresta Densa dos Terraços em mata ciliares da sub-região dos altos platôs paleozóicos do Para/Amapá, já bastante alterada pelo desmatamento, incrementado a partir do programa de Colonização das margens da rodovia Transamazônica. Nessa área, o predomínio é o da Floresta Secundária intercalada com tratos cultivados com pastagens de cana-de-açúcar, cacau e cultivos de subsistência (PARÁ, 2011).

Entretanto, para o 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).

Mapa 4 - Mapa de vegetação da Região de estudo.



Fonte: IBGE (2010)

2.3 SOLOS

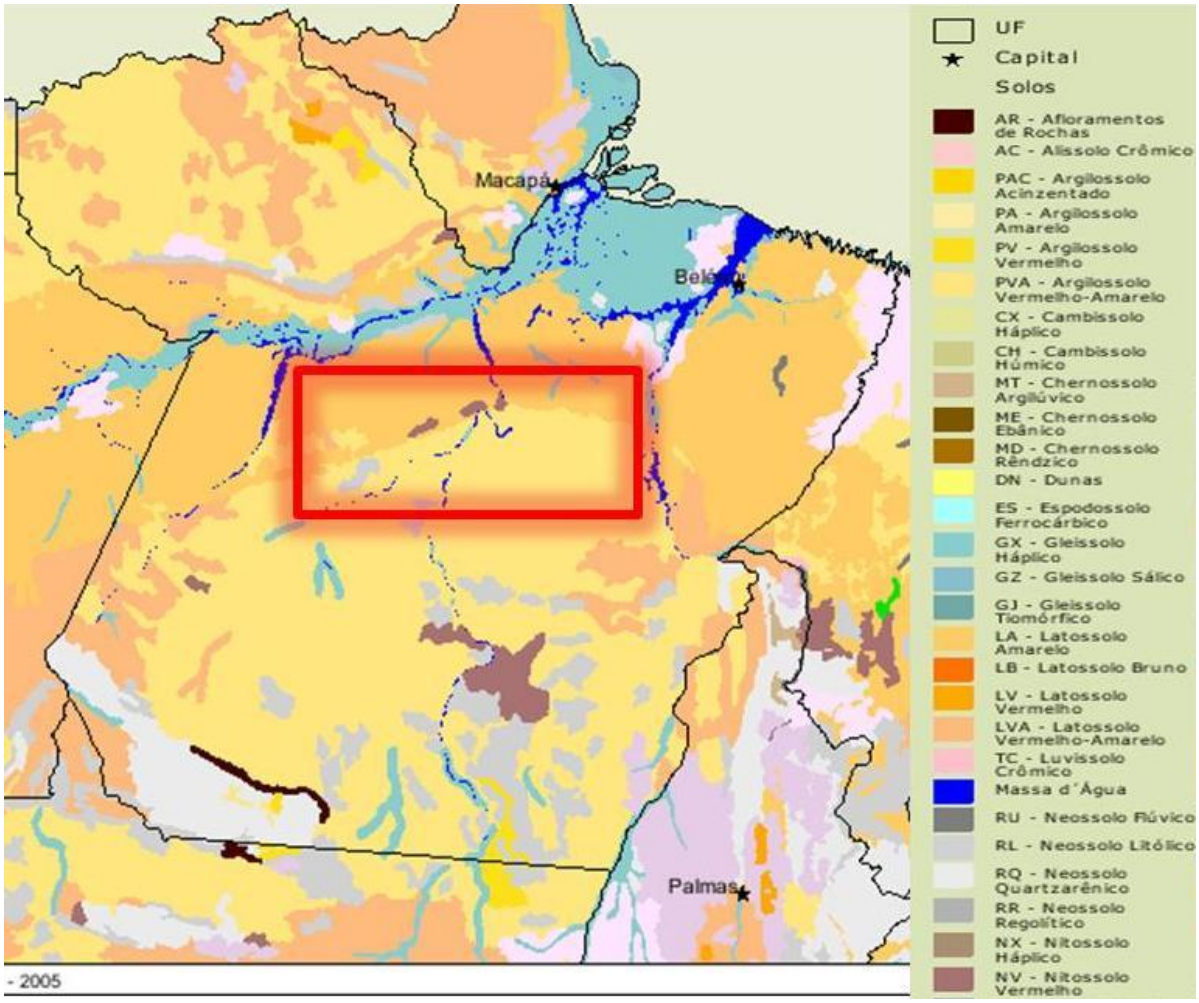
Em geral os solos da região são predominantemente compostos por Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Vermelho.

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).

Para Altamira, várias classes de solos predominam no Município. Grandes manchas de Latossolo Amarelo texturas médias e argilosas; Latossolo Vermelho-Amarelo texturas média e argilosa; Podzólico Vermelho-Amarelo texturas média e argilosa e equivalente 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 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. Solos Litólicos distróficos textura indiscriminada e afloramentos rochosos.

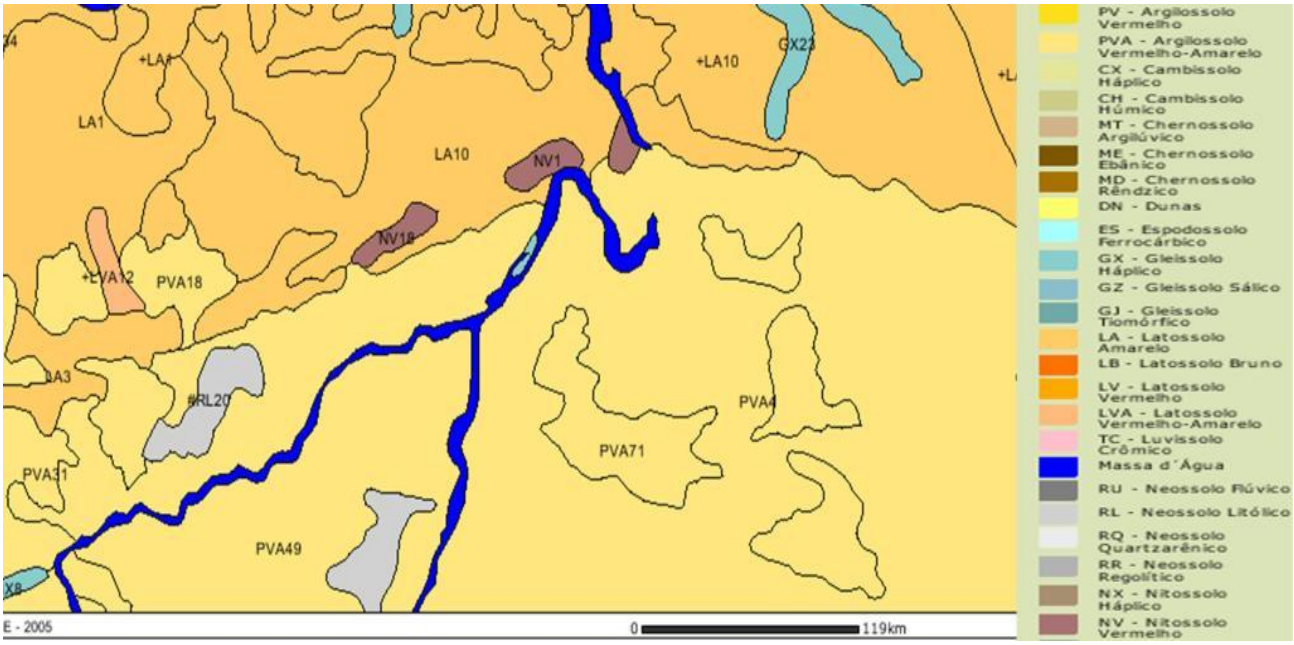
Mapa 5 - Mapa de solos do Estado do Pará.



Fonte: IBGE (2010)

Os solos do Município de Medicilândia são representados, em maior percentagem, 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).

Mapa 6 - Mapa de solos da Região de estudo



Fonte: IBGE (2010)

2.4 CLIMA

Para as características climáticas da região são levadas em consideração os dados das estações do Mapa 7. Para esta distribuição de Estações, os Municípios de Altamira e Medicilândia congregam como Estações para compor os dados da região em estudo.

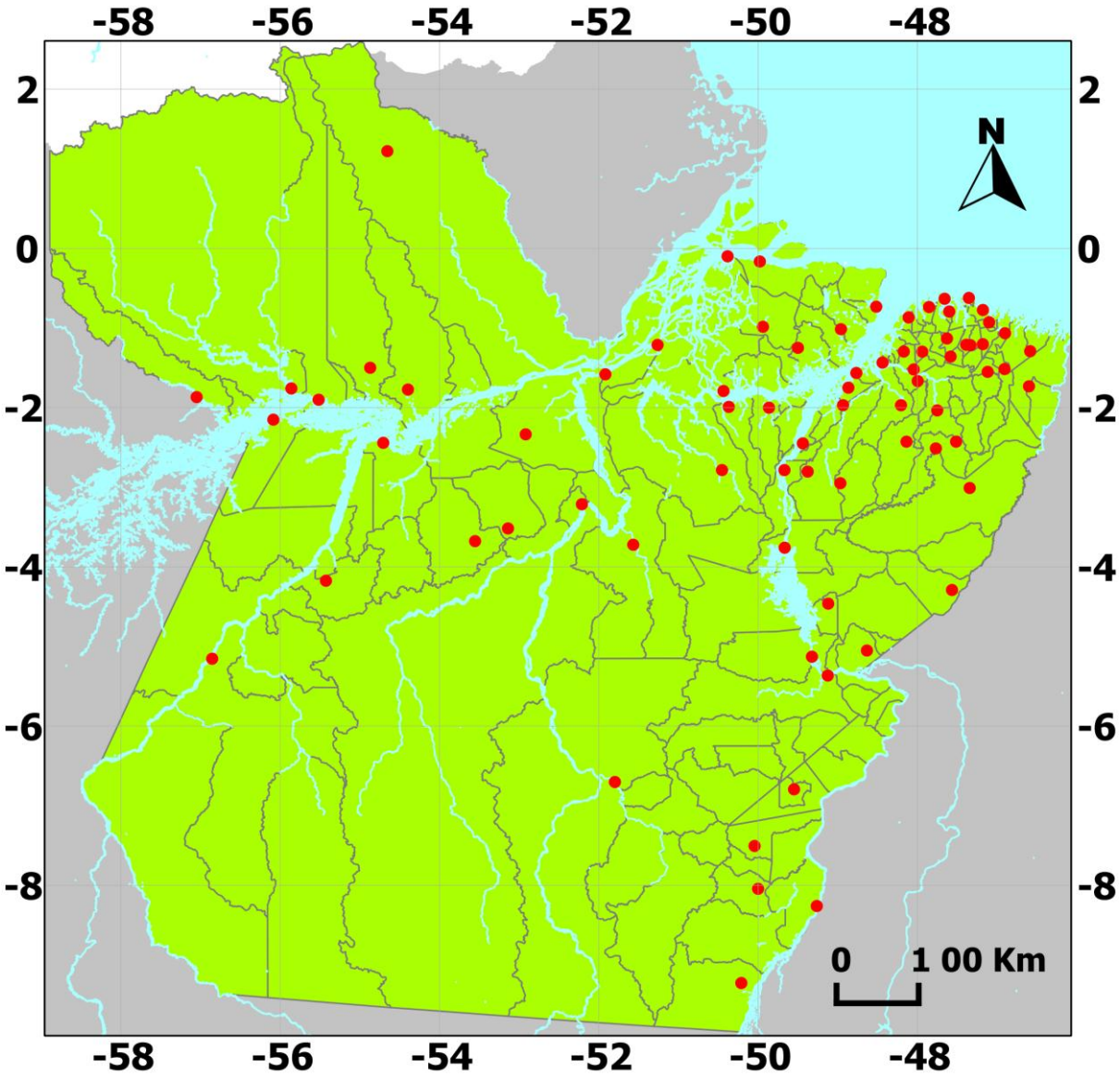
Para Altamira, o clima do município é do tipo equatorial Am e Aw, da classificação de Köppen. O primeiro, predominante na parte norte do município, apresenta temperaturas medias de 26º C, e precipitação anual, girando em torno de 1.680 mm, sendo que os meses mais chuvosos vão de dezembro a maio e, os menos chuvosos, de junho a novembro. O segundo - ao sul e o Aw - em virtude da extensão do Município, passa por uma transição até alcançar o tipo savano. O excedente de água ocorre entre fevereiro e abril e a maior deficiência, em setembro (PARÁ, 2011).

A Agência Nacional de Águas (ANA) tem um Sistema de Informações Hidrológicas com 74 estações pluviométricas no Estado do Pará. O Mapa 7 indica a posição das estações por município no Estado.

Além do mais, para Medicilândia, as características climáticas do Município não diferem muito das de sua região. A temperatura do ar é sempre elevada, com média

térmica anual de 25,6ºC e mínima de 22,5ºC. 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 coincide com 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 5º C, entre as médias do mês mais quente e do mês menos quente (PARÁ, 2011).

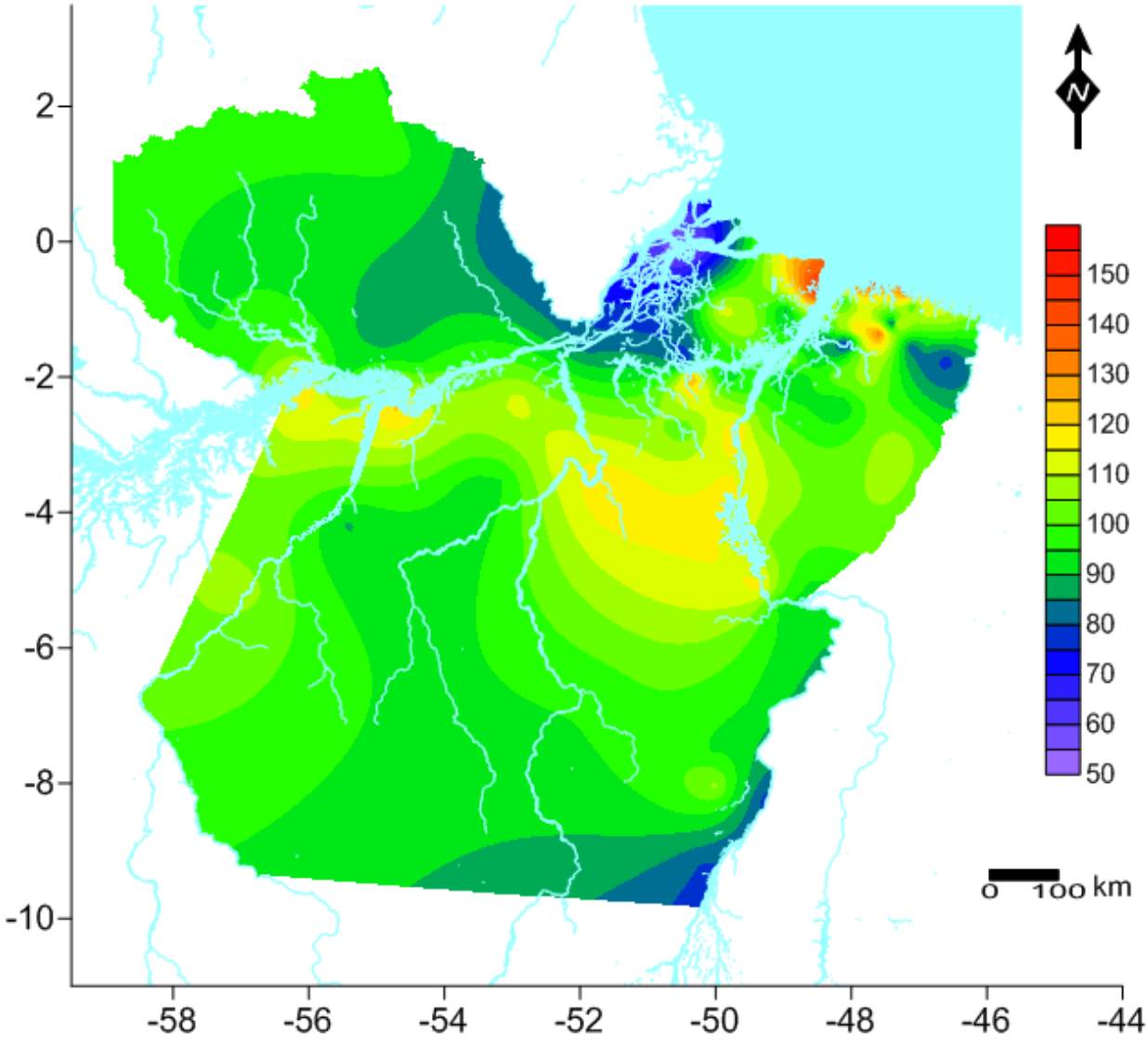
Mapa 7 - Estações Pluviométricas do Estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

O Mapa 8 mostra a Intensidade de Precipitação com duração de 30 minutos e tempo de retorno de quinze anos para o Estado do Pará.

Mapa 8 - Intensidade de precipitação com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 15 anos para o Estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

Além disso, em Brasil Novo, as chuvas concentram-se mais no período que vai de fevereiro a abril. O período menos chuvoso vai de julho a novembro, sendo agosto e setembro os meses de menor incidência pluviométrica (IBGE, 2011).

> As características climáticas do Município de Uruará não diferem muito das de sua região. A temperatura do ar é sempre elevada, com média térmica anual de 25,6ºC e valores médios para a máxima de 31ºC e para a mínima de 22,5ºC. 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 coincide

> com os meses de dezembro 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 18ºC. Tem uma estação seca de pequena duração e amplitude térmica inferior a 5ºC entre as médias do mês mais quente e do mês menos quente. O excedente de água do solo, segundo o balanço hídrico, corresponde aos meses de fevereiro a julho, com excedente de mais de 750 mm, sendo março o mês de maior índice. A deficiência de água intensifica-se entre agosto e dezembro, sendo setembro o mês de maior carência, ao se constatar menos de 90mm (PARÁ, 2011).

Para o 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 $mm.h^{-1}$.

A intensidade de chuva para a região de estudo varia de 90 a 120 $mm.h^{-1}$.

2.5 HIDROGRAFIA

> Para a hidrografia do município de Medicilândia, destaca-se, a leste, o rio Jarauçú, em seu trecho de nascente, juntamente com os seus afluentes da margem esquerda, o igarapé Panatecaua e o rio Penatecua, este com seu afluente pela margem direita, o igarapé Cearense. Separando os municípios de Medicilândia e Prainha, ao norte, está o rio Jurupari, que é o desaguadouro de uma importante bacia, cujo principal formador ainda é desconhecido. As bacias desses rios pertencem, em sua totalidade, ao município de Medicilândia. Separando Medicilândia do município de Uruará, a oeste, aparecem os rios Curuá do Sul, Uruará e seus afluentes, o rio Magu e o Igarapé Onça (PARÁ, 2011).

Além disso, a hidrografia predominante para Brasil Novo é constituída pelo rio Xingu e seus afluentes, o rio Iriri, e um conjunto de igarapés com significativo potencial energético, entre os quais, figuram os igarapés Belo, Arrependido, Anta e o Jurucu, além do Igarapé Penetecal, que delimita o novo município com o município de Medicilândia (IBGE, 2011).

Além do mais, para Uruará, a hidrografia do Município é representada, praticamente, por uma única Bacia, a do rio Curuá do Sul, que, juntamente, com seu principal afluente da margem direita, o rio Uruará e seu afluente e subafluente, rio Magu e o igarapé Onça, fazem o limite natural norte-nordeste com Medicilândia (PARÁ, 2011).

> Também, para Altamira, o principal rio é o Xingu que, na porção nordeste do município, o atravessa no sentido sul-norte. Recebe inúmeros rios e igarapés, sendo o mais importante o rio Iriri afluente da margem esquerda que desagua no Xingu, antes da volta grande, a cerca de 80 Km da sede. A bacia do Iriri, com sua extensa rede de drenagem, confere ao Município um grande potencial natural, além de servir de vias de penetração interior. Os principais afluentes do rio Iriri pela margem esquerda são o Curuá, Catete, Criché e Riozinho do Amfrisio e, pela margem direita, os rios Iriri Novo, Ximxim,

> Riozinho Jucatã, Carajaí e Novo. O curso encachoeirado dos rios dessa bacia reflete a grande área de formações cristalinas. Pela margem direita do rio Xingu, na área do Município destaca-se os rios: Ituna, que serve de limite parcial a noroeste com o município de Senador José Porfirio; o Ipiaçava e os igarapés Piranhaquara, Ipiseuna, São Jose e outros (PARÁ, 2011).

3 SISTEMAS AGROFLORESTAIS – CONCEPÇÕES

O estudo do estoque de carbono em SAFs da BR–230 (Rodovia Transamazônica) requer o conhecimento do tipo de SAF mais implantado nesta região.

> 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 excludentes. 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).

O aproveitamento dos recursos naturais do plantio de árvores com cultivos agrícolas devem ser interligados e a exclusão entre agricultura e floresta, que há anos foram tidas como sem interseção, tem o potencial para uma aproximação, isto é, as convivências sustentáveis entre a produção - neste caso especifico, não mais de monoculturas na região com SAFs - e o estabelecimento do elemento lenhoso, com benefícios a sustentabilidade do ecossistema, gerando uma situação de inclusão, para uma utilização de comportamento dos componentes dos SAFs e suas trajetórias sucessionais que garantam a sua sustentabilidade. A integração das culturas deve gerar não somente desenvolvimento social e econômico, mas também vários benefícios ambientais e dentre eles a absorção de carbono pelas espécies florestais, para ser tratado como um combate não só a degradação, mas também as áreas já desmatadas.

O interesse nos Sistemas Agroflorestais para a Amazônia está muito mais além da utilização de sistemas para uso da terra e para a mudança de uso da terra para o combate ao desmatamento e a degradação já existente. Estamos falando de sistemas de uso da terra que também permitam um papel ou função com um expressivo estoque de carbono em suas culturas, com a mitigação das emissões de carbono para a atmosfera, concomitante com interações econômicas e ambientais, com proposta de reflorestamento de áreas anteriormente desmatadas e degradadas, sem deixar de lembrar as limitações para o uso de SAFs.

> O freio sobre desmatamento, teoricamente desempenhado pelos sistemas agroflorestais, se deve a capacidade do sistema tanto em atender as ambições para aumentar a renda financeira como também em satisfazer a demanda do mercado pelos produtos florestais. Os agricultores pioneiros na Amazônia têm uma demanda praticamente sem limites para bens materiais, em contraste com algumas populações tradicionais que praticam agricultura itinerante (FEARNSIDE, 1995).

Fearnside (1995) cita que os sistemas agroflorestais representam uma forma de uso para áreas desmatadas tornando-se preferível agronômica, social e ambientalmente às pastagens que atualmente dominam o uso da terra na Amazônia brasileira. Embora florestas nativas não devam ser derrubadas para implantar estes sistemas, muito pode ser feito para melhorar as agroflorestas. Alcançar os benefícios sociais em potencial exigirá uma definição clara dos critérios para selecionar os beneficiários dos sistemas agroflorestais. Condições econômicas precisam ser criadas para remoção das atrações aos usos da terra concorrentes, não-sustentáveis, tais como as pastagens, e aumentar a lucratividade dos sistemas agroflorestais. A avaliação de propostas para projetos agroflorestais deve usar critérios que coloquem pesos apropriados sobre as funções ambientais e sociais e que não eliminem os projetos por causa do longo prazo antes do começo dos retornos econômicos. O lugar dos sistemas agroflorestais precisa ser definido no contexto da política geral de desenvolvimento regional.

> 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).

As abordagens principais na classificação dos sistemas e nas práticas agroflorestais estão na Tabela 2.

Tabela 2. Abordagens principais na classificação dos sistemas agroflorestais (e práticas)

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, especialmente os florestais)		Função (Papel e/ou saída dos componentes, especialmente os florestais)	Adaptabilidade agroecológica/ ambiental	Nível socioeconômico e de manejo
Natureza dos componentes	Disposição dos componentes			
Agrossilvicultura (culturas e arvores incluindo arbustos/árvores e árvores) **Silvipastoril** (pastos/animais e árvores) **Agrossilvipastoril** (culturas, pasto/animais e árvores) Outros (lotes de árvore multiuso, apicultura com árvores, aqüicultura com árvores, etc)	**No Espaço (Espacial)** Densos mistos (quintais agroflorestais) Mistos esparsados (i.e.: na maioria dos sistemas de árvores nas pastagens) Largura (tamanho da largura maior que uma árvore) Limite (arvores nas bordas das parcelas/campos) **No tempo (Temporal)** Coincidente, Concomitante, Sobrepostas, Seqüencial (separado), Interpolado	**Função Produtiva** Alimento, Forragem, Lenha, outras madeiras, Outros produtos **Função protetora** Quebravento, Faixa de proteção, Conservação do solo, Conservação da Umidade, Melhoramento do solo, Sombra (para cultura, animais e homem)	**Sistemas em/de** Tropicais úmidos de baixada Trópicais úmido de Montanha (acima de 1200 m i.; e. Andes, Índia, Malásia) Trópicais subúmido de baixada (i. e. zona de savana da África, Cerrado da America do Sul) Trópicos subúmido Montanha (Montanhas Tropicais) (i.e. no Kenia, Etiópia)	**Baseada no nível entrada de tecnologia** Baixo Insumo (Marginal) Médio Insumo Alto Insumo **Baseada nas relações de Custo/beneficio** Comercial Intermediário Subsistência

Fonte: Adaptado de NAIR (1985)

3.1 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CACAUEIRO DO ESTADO DO PARÁ (BR-230)

Na Amazônia, há uma grande quantidade de SAFs que se encontram em terra firme, onde se pratica a agricultura itinerante que é a prática do corte e queima e é o método tradicional de rotação do cultivo, utilizado pelos povos da floresta, como os índios e caboclos.

As culturas anuais na Amazônia, geralmente são feitas por pequenos agricultores pioneiros que migraram de outras regiões do país. Estes agricultores têm a pratica de explorar também a pecuária bovina, a soja e algumas culturas perenes e anuais realizando uma agricultura convencional.

A agricultura convencional aplicada nos ecossistemas Amazônicos está baseada em muitas práticas, dentre eles, a monocultura e o cultivo intensivo do solo. Por isso, o sistema de produção tradicionalmente desenvolvido por pequenos agricultores na Amazônia envolve atividades extrativistas e agrícolas com combinações de culturas e criações de animais tornando a economia da propriedade rural uma economia de subsistência. Assim, os produtos resultantes dessas atividades rurais dos pequenos agricultores na Amazônia, em geral, destinam-se ao consumo familiar e à venda do excedente.

Para contrapor esta lógica, surgiram outras formas de tratar com a terra, como os SAFs, que eliminam o corte e queima e a rotação de culturas, banindo a agricultura itinerante e apresentando um potencial para sustentabilidade com serviços ambientais ao ambiente.

> Na sua grande maioria, com exceção dos quintais agroflorestais, os SAFs praticados hoje na Amazônia são SAFs comerciais, manejados com dois objetivos fundamentais: maior gestão de renda e sustentabilidade. Muitas vezes, o progresso em matéria de sustentabilidade de longo prazo não é satisfatório. São consórcios agroflorestais agregando um número muito limitado de espécies e que, quase sempre, continuam requerendo aplicações de agrotóxicos (DUBOIS, 2009).
>
> Com o ritmo acelerado de desmatamento na Amazônia, pelo menos nas regiões mais afetadas, os problemas de conectividade entre fragmentos florestais causam mais e mais preocupações. A capacidade dos SAFs de servir como corredores ecológicos merece ser considerada com ponderação. Muito depende da composição florística do SAF. SAFs com bom nível de biodiversidade interna funcionarão 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).

Assim, além de maior renda e da sustentabilidade, os SAFs da Amazônia contribuem para a maior composição florística da região com bom nível de biodiversidade interna.

> A Amazônia é uma região onde o cacaueiro é uma espécie nativa e, foi plantado em SAFs não somente em Medicilândia e região, mas também em Tomé-Açu. Em 1970, a Camta nomeou Noboru Sakaguchi (1933 a 2007), imigrante do pós-guerra, formado em Ciências Florestais, pela Universidade de Agricultura de Tóquio, como diretor responsável pela seção de assistência técnica da cooperativa. A primeira tarefa de Sakaguchi foi escolher uma alternativa à pimenta–do-reino. Naquele ano, alguns dos agricultores já mudavam-se para outros locais para evitar a doença da pimenta, o que causava novo despovoamento da colônia. Sakagushi viajou no interior e para fora do Brasil em busca de cultivos e sistemas de produção adequados aos agricultores de Tomé-Açu. Ele encontrou um relatório sobre cacauicultura preparado por um técnico da antiga Companhia Nipônica de Plantação do Brasil, que sobreviveu ao confisco de documentos durante a Segunda Guerra Mundial. Tenho lido atentamente o relatório, Sakaguchi compreendeu as razões do insucesso da companhia; pelas considerações inadequadas ao ecossistema de floresta tropical, à fisiologia das plantas arbóreas nativas, ao ciclo das lavouras, ao mercado de produtos, e ao financiamento aos pequenos produtores. Ele decidiu que o cacau, uma espécie proveniente da Amazônia, seria o melhor cultivo para o local, e recomendou à Camta que plantasse um milhão de pés do hibrido baiano em cinco anos, através de um SAF, aproveitando as covas de pimenta morta. (PORRO, 2009).

Na região da BR-230 ou Rodovia Transamazônica, Calvi (2009) identificou 164 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). 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 maior parte das experiências de SAFs implantadas em Medicilândia está localizada na porção sul do município [...] Trata-se de área de colonização antiga, bastante antropizada, que possui grandes faixas de solos de alta fertilidade natural (Nitossolos) (CALVI, 2009).

Os SAFs têm ganhado bastante expressão 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 (CALVI, 2009).

Calvi (2009) aplicou o sistema de classificação de Nair (1985) e, concluiu que todas as áreas pesquisadas são caracterizadas como SAFs *Comerciais* de *Terra Firme*.

Assim, 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.

[...] percebe-se a ocorrência de SAFs que contêm cacaueiro com palheteira (*Clitoria racemosa*), eretrina (*Erytrina sp.*), gmelina (*Gmelina arbórea*), característicos daqueles preconizados pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) a qual em 1976, condicionou o fornecimento de assistência técnica e crédito aos pequenos produtores da Amazônia que plantassem cacaueiro com espécies sombreadoras especificadas previamente. Com o passar dos anos, os produtores passaram a utilizar outras espécies, incluindo frutíferas e madeireiras, como sombreadoras de cacaueiro. (BARROS et al., 2009).

Os principais fatores que determinam a adoção de SAFs pelos agricultores estão relacionados à ordem econômica e produtiva, sendo a existência de mercado e o aumento da renda os fatores que se destacam para essa adoção. Em oposição, a principal limitação refere-se à insuficiência e baixa qualidade dos serviços de assistência técnica pública oferecida, afetando, diretamente, a produção dos sistemas uma vez que a gestão de SAFs sem acompanhamento técnico poderá reduzir, consideravelmente, a produtividade da lavoura (CALVI, 2009).

É grande a diversidade de espécies florestais e frutíferas utilizadas nos SAFs em Medicilândia, principalmente naqueles que agregam árvores plantadas, regeneração natural e selecionadas em preparo de área para plantio (CALVI, 2009).

Calvi (2009) mostra uma lista completa contendo as espécies florestais, frutíferas e agrícolas, identificadas nos SAFs estudados em seu trabalho na Rodovia Transamazônica (BR-230).

De um total de 63 espécies florestais identificadas, manejadas a partir da regeneração natural, as principais espécies utilizadas na formação dos SAFs, são: ipê, tatajuba, jarana (*Holopixydium jarana*), taperebá, castanha-do-pará, faveira (*Schizolobium amazonicum*), andiroba, mutamba (*Brosimum sp.*), ingá (*Inga sp.*), gameleira (*Ficus calyptroceras*) e amarelão (*Apuleia leiocarpa*) (CALVI, 2009).

Nos SAFs estudados 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, 2009).

Para todos os tipos de classificação de SAFs temos diversas práticas agrícolas atreladas a implantação, manutenção e colheita de SAFs na Amazônia, particularmente na BR–230.

> O itinerário técnico utilizado pelas famílias pode ser subdividido em duas categorias: manejo dos cultivos agrícolas e manejo do componente arbóreo. No primeiro caso, as práticas agrícolas utilizadas são roço, poda, aplicação de herbicida, inseticida químicos e naturais, adubação química e orgânica e capina. O roço (limpeza de área) e a poda são práticas utilizadas por 100% das famílias. A prática da capina, muito utilizada pela agricultura familiar de outras regiões do Estado do Pará, não é uma atividade comum em Medicilândia; apenas duas famílias entrevistadas (2,7%) usam esta técnica. O uso de adubação química na lavoura foi verificado em 38,5% dos estabelecimentos estudados. Não foi identificado nenhum caso onde a adubação foi prescrita a partir de análise de solo, embora em plantios financiados recentes o agente financeiro exija tal procedimento. Quase sempre os adubos são prescritos por vendedores de casas agropecuárias sem habilitação para tal procedimento. Normalmente, é só indicar o tipo de solo, como por exemplo, Terra Roxa ou "terra mista" e já se tem uma formulação de NPK para "formação" e "produção" (CALVI, 2009).

Famílias que possuem lavoura de cacaueiro (nova ou velha), porém em parcela pequena, tem feito pouco uso do adubo devido o alto custo no mercado local. No entanto, as famílias mais capitalizadas, com roças maiores e produtivas, têm hábito de aplicar a adubação anual ou no máximo a cada dois ou três anos, variando em função da cotação do cacau e do preço do insumo no período (CALVI, 2009).

Além das práticas agrícolas dos SAFs, os agricultores constantemente fazem a avaliação de critérios relacionados a seus SAFs para encontrar vantagens como, o aumento da produção, sombreamento da cultura principal, fertilidade do solo e outras.

As famílias estudadas utilizam várias formas para avaliarem seus SAFs, haja vista a heterogeneidade de sistemas encontrados. Dentre as vantagens encontradas nos SAFs o sombreamento se destaca com 24,1% de freqüência, questão esta já esperada por se tratar de um pólo 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%) sendo visualizada como poupança em longo prazo (CALVI, 2009).

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

4 AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A avaliação da biomassa é uma temática antiga, ou ver por exemplo o XV Congresso IUFRO em 1971, o grupo de trabalho sobre estudos de biomassa florestal (SAINT-ANDRÉ et al, 2007, apud BOYSEN-JENSENE MÜLLER, 1927; BURGER 1929).

O acúmulo de biomassa em espécies florestais tem sido apontado como opção para absorção de carbono como tentativa de diminuição da sua concentração na atmosfera.

Várias formas de determinação e estimativa de carbono e biomassa florestal tem sido implementados para varias áreas do globo terrestre de acordo com as várias características da região como clima, tipo de vegetação e outros.

O objetivo deste capítulo é estabelecer a base teórica para a determinação, estimativa ou quantificação do volume, da biomassa, do estoque de carbono fixado e da quantidade de CO_2 sequestrado e estocado nas espécies dos SAFs. Inicialmente, são apresentados os conceitos de biomassa e inventário florestal.

A conceituação de biomassa e de inventário florestal surge para dar suporte no entendimento da variável biomassa e sua importância para a variável Carbono em SAFs no contexto do estoque tanto de biomassa quanto de carbono e sua relação com o desenvolvimento sustentável.

Depois da concepção de biomassa e inventário florestal, são abordados os métodos de determinação e estimativa de volume e de biomassa, conceito de métodos diretos e indiretos para determinação e estimativa de biomassa e suas respectivas variáveis preditoras como, por exemplo, a altura e a densidade da árvore.

O interesse na estimativa de estoque de carbono em SAFs está ligado com a melhora do entendimento da inserção deste tipo de atividade no ciclo do carbono e conseqüente manutenção de carbono na atividade produtiva.

Além disso, será mostrada a metodologia aprovada pela *UNFCCC/CCNUCC* para projetos de atividade de florestamento e reflorestamento que segue o padrão internacional sugerido pela *FAO* e pela *ONU* de estimativa do estoque de carbono na biomassa viva de árvores.

4.1 BIOMASSA VEGETAL

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002).

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

Uma questão fundamental para a analise de carbono em formações florestais é o conceito de biomassa. 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.

A variável biomassa é definida por Brown (1997) como biomassa florestal que abrange também sementes, plântulas, varas, arvoretas e outras formas de vegetação, constituindo assim todo tipo de biomassa. Wharton e Griffith (1998) diferenciaram a biomassa de madeira e a biomassa florestal e definiram biomassa de madeira como os fustes comerciais do estoque de árvores em crescimento e as fontes adicionais de biomassa nestas árvores: casca, galhos, folhagem e o sistema toco-raízes; árvores refugos e árvores mortas.

Para a estimativa de biomassa de vastas áreas de floresta, a biomassa pode ser definida de várias formas. Falando estritamente, 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).

> A biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta, sendo que os componentes de biomassa geralmente estimados são a biomassa viva horizontal acima do solo, composta de árvores

> e arbustos, a biomassa morta acima do solo, composta pela serapilheira e troncos caídos e a biomassa abaixo do solo, composta pelas raízes. A biomassa total é dada pela soma de todos estes componentes (MARTINELLI et al., 1994).

Spurr e Barnes (1986) fazem uma relação entre biomassa e produtividade quanto ao estoque de biomassa em que existe uma relação entre biomassa e produtividade primária, conhecida como acúmulo 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 como biomassa de madeira estão sujeitas ou suscetíveis aos fatores que determinam a produção de biomassa, que dentre eles temos: clima, chuva, fotoperiodismo, latitude, altitude, densidade e idade da floresta. Tais fatores são importantes, não só para a avaliação ou estimativa da biomassa das partes da árvore, como também para avaliação da taxa de variação do crescimento da árvore, principalmente do fuste onde na maioria das vezes encontramos a maior parte da biomassa vegetal.

Russo (1983) relacionou seis fatores que afetam a biomassa e a produtividade: idade do povoamento, variabilidade genética, a 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).

A biomassa (kg/m^2) é um indicador de produtividade (kg/m^2/ano) de um sítio variando com a precipitação, temperatura, latitude e altitude. 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 (GUEDES et al., 2001).

Segundo Curlin (1970) em geral, a distribuição de biomassa da parte aérea das árvores tem a seguinte ordem: fuste > galhos > casca > folhas.

Pereira et al. (1997), estudando a *Acacia mearnsii*, verificaram a distribuição de biomassa na seguinte ordem: fuste > casca > galhos > folhas. A distribuição de biomassa acima do solo das árvores é dependente de vários fatores, dentre eles, a espécie e os fatores edafoclimáticos.

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).

Tanto a biomassa quanto o estoque de carbono são variáveis importantes e necessárias nos estudos do ecossistema, principalmente o Amazônico, pois, além da presença de floresta primária ou secundária, há também, avidades agrícolas e da pecuária ou a integração entre atividades florestais e agrícolas, dentre outras.

A biomassa representa uma das principais variáveis nos estudos do ecossistema (SOMOGYI et al., 2006).

4.2 DADOS DE INVENTARIO 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 a priori, por exemplo, a partir de inventários florestais.

Na Amazônia, a história dos inventários florestais se inicia no século XX, principalmente com o projeto RADAM. O objetivo dos inventários 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).

As estimativas de biomassa e emissão de carbono para a Amazônia brasileira têm sido realizadas a partir de inventários florestais do Projeto RADAMBRASIL (1973-1983), fonte de aproximadamente 90% dos dados, juntamente com os inventários da *FAO* como fonte secundária. Ambos objetivaram estimar o volume comercial de madeira visando subsidiar projetos de exploração comercial. As estimativas do Projeto RADAMBRASIL foram baseadas em aproximadamente 3.000 parcelas de 1 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 seqüestro 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 a priori 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 *Vc*, a altura total *H* ou *Ht*, altura comercial *Hc*, 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 DE VOLUME

O volume de biomassa florestal e sua distribuição são fatores controladores do estoque de carbono global, servindo também como base para a predição futura da mudança climática (SEDJO, 1992; DIXON et al., 1994).

O volume de madeira ou de biomassa das espécies florestais pode ser quantificado de diversas maneiras. Um meio de se determinar o volume é utilizando o método direto a partir do corte ou método destrutivo da população. Por outro lado, uma outra forma de se quantificar o volume de biomassa é a partir da estimativa do volume com o uso do método destrutivo de uma amostra.

Por outro lado, os métodos não destrutivos de estimativa do volume da madeira ou biomassa são chamados de métodos indiretos.

4.3.1 Métodos Diretos para Determinação de Volume

Usando o método direto para a determinação do volume temos: a fórmula de Smalian utiliza a área de seção da base das extremidades do tronco e a altura do tronco

ou do fuste. Assim o volume da seção do fuste é calculado pela equação 1, em que *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.

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

Silva e Araújo (1984) mediram diâmetros com fita diamétrica em seções de dois metros, até a altura comercial, para o cálculo dos volumes reais, seguindo o procedimento de Smalian.

Couto e Bastos (1987) selecionaram árvores e foram coletadas as seguintes variáveis: *DAP* e altura total com e sem casca de cada torete nos quais a árvore será desdobrada e a cubagem das árvores foi feita pelo método de Smalian, originando as seguintes variáveis por árvore: volume sólido para celulose com casca, volume sólido para celulose sem casca, volume sólido para energia com casca.

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 um 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.

4.3.2 Métodos Indiretos para Estimativa de Volume

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.

> 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. 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 (COUTO; BASTOS, 1987).

Uma limitação na utilização de dados de inventário para a estimativa de volume é o fato das possíveis variáveis independentes terem um domínio restrito a uma faixa, por exemplo, a um mínimo de DAP ou a uma faixa de variação de DAP. Silva e Araújo (1984) desenvolveram uma equação de volume para qualquer espécie e para diâmetro variando de 15 cm a 45 cm, utilizável na Floresta Nacional do Tapajós.

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 daquele 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). A implementação destas novas equações de volume foram definidas a partir de equações volumétricas disponíveis para a Floresta Nacional do Tapajós, para árvores com diâmetros a partir de 45 cm desenvolvidas por Silva et al. (1985), pois não havia uma estimativa para árvores com diâmetros menores. 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, 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):

$$1) V = b_0 + b_1 d^2 \quad \text{(Kopezky-Gerhrhardt)} \tag{3}$$

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

$$3) \ln V = b_0 + b_1 \ln d \quad \text{(Husch)} \tag{5}$$

$$4) \ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 (1/d) \quad \text{(Brenac)} \tag{6}$$

> Foi selecionado por Silva e Araújo (1984) o modelo de Kopezky-Gehrhardt: V = - 0,0994 + 9,1941 x 10^{-4} x 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 freqüência 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 (*Syx*); alto valor de *F*; baixo valor para a soma de quadrados do resíduo e boa distribuição dos resíduos padronizados (DRAPER; SMITH, 1981).

Atualmente, nos sistemas de inventário florestal é imprescindível o estudo detalhado de equações volumétricas visando dar representatividade às informações sobre o volume de madeira que será obtido. Estas pesquisas necessitam de base cadastral de informações e recursos computacionais compatíveis com os níveis de precisão almejados (COUTO; BASTOS, 1987).

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 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 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 freqüente, 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) apresentam modelos de equações de volume comercial de *Eucalyptus microcorys* em regime de alto fuste na região de Coronel Fabriciano.

Higuchi et al. (1979) apresentam Tabela de volume para povoamentos de *Eucalyptus grandis*, plantado no município de Várzea Grande (MT) com 5 anos de idade.

Paula Neto et al. (1975) produziram uma equação de volume para *Eucalyptus grandis* plantado na região de Viçosa.

Veiga e Brasil (1981) testaram vários modelos de "equações de volume para *Eucalyptus propinqua* com 5 anos de idade plantado na região de Itupeva e MogiGuaçu, SP.

Além disso, estudos sobre a influência do método de regeneração (talhadia e alto fuste) nos modelos e parâmetros das equações de volume são apresentados por Paula Neto (1983).

Couto (1983) estudou a influência dos espaçamentos sobre os modelos de equações de volume para *Eucalyptus urophylla, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna*, com 2,5 anos de idade.

Silva (1977) estudou diversos modelos de equação de volume para diferentes espécies de *Eucalyptus*, métodos de regeneração (talhadia e alto fuste).

Um dos primeiros estudos envolvendo a geração de equações de volume para cada situação florestal (espécie, idade, local, ciclo, rotação, etc.) foram realizados 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. 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 m^3 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

Segundo Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os estudos para quantificação de biomassa florestal estão divididos em métodos diretos (ou determinação) e métodos indiretos (ou estimativas). As estimativas de biomassa podem ser realizadas a partir de dados de inventários já existentes ou de inventários a serem realizados na região de interesse de 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. No uso do método direto temos a quantificação da biomassa com o corte da árvore, podendo ser determinados 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 material 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 se obterem estimativas de mudança de estoque de biomassa para vastas áreas de florestas são baseadas principalmente em informação de inventário florestal tanto quanto vários fatores, referindo-se a fatores de biomassa, ou equações de biomassa, que transformam dados de diâmetro, altura ou volume em estimativas de biomassa (SOMOGYI et al., 2006).

4.4.1 Métodos Diretos para Determinação de Biomassa

> A quantificação da biomassa de uma árvore pode ser feita por dois métodos: direto e indireto. O método direto implica a derrubada da árvore para a determinação exata de seu peso e medidas. As determinações de biomassa em árvores utilizando o método direto são imprescindíveis para um primeiro conhecimento das características da espécie de interesse. Porém, tão logo se obtenha um número significativo de determinações, podemos lançar mão dos métodos indiretos, tais como os modelos de regressão. Utilizando esse método, é possível abranger grandes extensões florestais e reduzir significativamente a magnitude dos recursos financeiros necessários para esse tipo de trabalho (BALBINOT, 2009).

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 biomassa 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, historia do uso da terra, condições climáticas e edáficas e de topografia (BROWN; LUGO, 1992).

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 à 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.

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 especifico ao invés do da árvore especifica. 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 liquens) (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. Observe também que 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 menos 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 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 a 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:

$$B = P \times BF \tag{7}$$

em que *B* é a biomassa (massa seca das plantas, t ou kg), *P* um parâmetro padrão disponivel (por exemplo, volume da árvore, m^3) 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≥190t/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* (m^3/ha) e a densidade da madeira (t/m^3).

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 a equação 8.

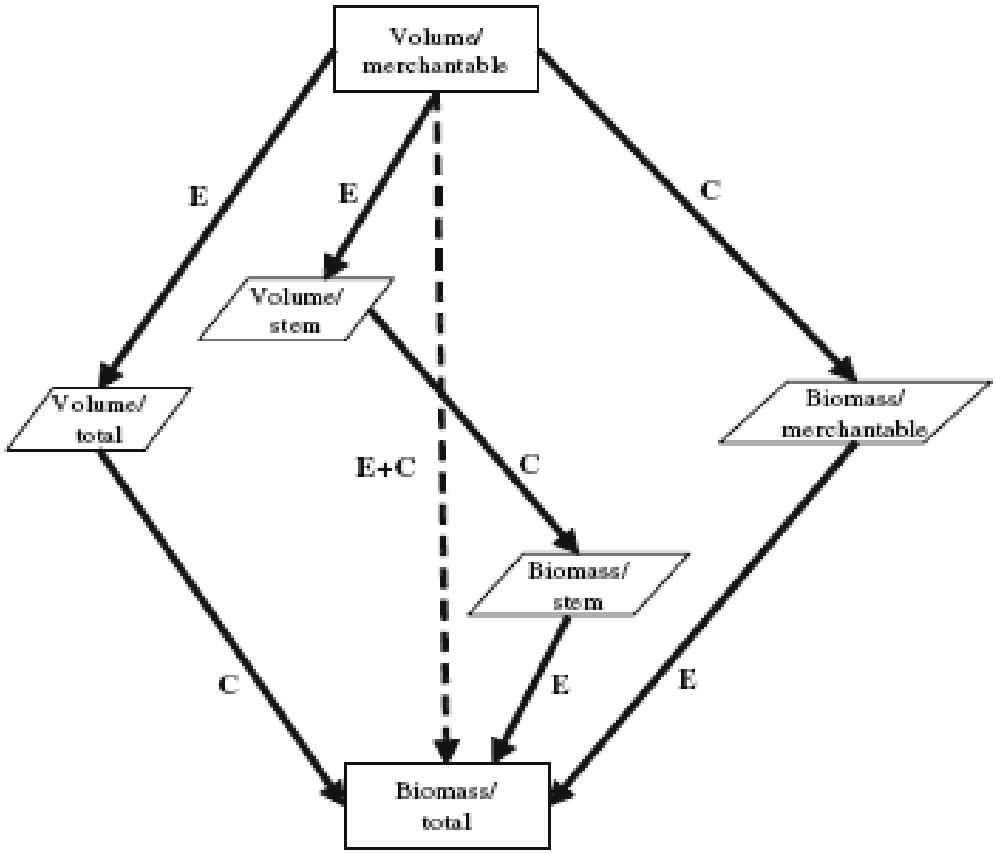
O *BEF* proposto por Brown et al. (1989) foi obtido pela relação entre a biomassa total das árvores e a biomassa dos fustes. Brown et al. (1989) estimou a biomassa total das árvores a partir da equação Biomassa seca = 0,0899 $(D^2 * H * S)^{0,9522}$ onde *D*=diâmetro, *H*=altura total da árvore e *S*=densidade da madeira.

> Note que existem muitos termos usados para estes fatores de expansão de biomassa na literatura. Provavelmente o mais freqüentemente utilizado nome é fator de expansão de biomassa (*BEF*). No entanto, *BEF* é apenas um tipo de fator de biomassa. Um fator a ser usado para estimar a biomassa pode ou não pode expandir, mas ele sempre converte a árvore disponível ou o parâmetro padrão, a menos que este parâmetro seja algum tipo de biomassa. O termo fator de biomassa é para ser usado para se referir a qualquer fator que pode ser usado isoladamente ou em combinação com outros fatores para estimar a biomassa proveniente de volume, e "fator de expansão de biomassa" deve ser usado para se referir apenas a fatores que expanda (SOMOGYI et al., 2006).

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).

Esquema 1 – Conversão de Volume em Biomassa.



Fonte: Somogyi et al. (2006)

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 freqüentes 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

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

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

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 especificas 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, ρ ($Mg.m^{-3}$), é definido conforme equação 10.

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

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

A densidade ρ 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.

Rigorosamente falando, ρ somente é igual a 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 especificas 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 ρ 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 tem que 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.

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 varias maneiras de se definir o *BEF* e com conceitos diferentes usados por vários autores. Temos fatores de expansão combinados de varias formas, inclusive, a expansão da biomassa, da 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 que" e "em que" 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).

Assim, o *BEF* é um método de estimativa usado quando temos dados de volume disponíveis.

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.

Fang et al. (2001) relataram *BEFs* como função do volume do fuste.

Segundo Fang e Wang (2001) quando se usa o fator de expansão temos um método que é conhecido chamado de "método *BEF*".

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 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 o nível da árvore quanto para o nível de talhão, conforme a seguir: para o nível da árvore, *BFs* são definidos como:

$$bf = m_1 / m_2 \tag{11}$$

em que o *bf* é o fator do biomassa ao nível de árvore, m_1 a medida apropriada da árvore (por exemplo, biomassa) e m_2 a 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.

$$BF = M_1 / M_2 \tag{12}$$

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

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

$$BF = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\sum_i m_{1i}}{\sum_i m_{2i}} \tag{13}$$

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

Entretanto, o guia de boas praticas (GPG) do IPCC sugere a metodologia para o uso do método BEF aprovada pela *UNFCCC/CCNUCC* em 2005 (*CDM – Clean Development Mechanism*), e pode ser consultada no endereço:
http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/approved_ar.html.

Esta metodologia é de monitoramento de projetos de atividade de florestamento e reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo. Tal metodologia segue o padrão internacional sugerido pela *FAO* e pela *ONU* de estimativa do estoque de carbono na biomassa viva de árvores, a nível de estrato.

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

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

Etapa 2: Estimar o volume do componente comercial (comercializável) da madeira das árvores com base em equações disponíveis ou em tabelas de rendimento (se equações produzidas localmente ou as tabelas de rendimento não são relevantes para o uso disponível relevante regional, nacional ou os dados padrão são apropriados). 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 basica da madeira *D, d*o *BEF* e da fração de carbono usando a equação 14.

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

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 d*ensidade 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.

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 r*elação 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*)

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

em que $C_{arvore,i,sp,t}$ 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 seqüência do numero de árvores da amostra *sp*.

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

$$C_{arvore,i,t} = \frac{A_i}{Asp_i} \sum_{sp=1}^{Pi} C_{arvore,i,sp,t} \quad (17)$$

em que $C_{arvore,i,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores do estrato *i* , no tempo *t;* em tC. $C_{arvore,i,sp,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores 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*, ha. *sp* são as *1, 2, 3,...* parcelas das amostras no estrato *i* no cenário do projeto. *i* são os *1, 2, 3, … M_{ps}* estratos do cenário do projeto. *t* são os *1, 2, 3,... t* anos decorridos desde o início da atividade de projeto de MDL.

4.4.2.2 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 arvore (*S*). Nesta relação, quando há um aumento de biomassa da árvore, na grande maioria dos casos, há um consequente aumento das variáveis dendométricas. Assim há uma regra de associação entre a biomassa e as variáveis dendrométricas da árvore, isto é, existe uma lei relacionando 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, pois é uma regra que associa os elementos das variáveis dendrométricas ou domínio e os elementos da biomassa florestal ou imagem da função.

As funções usadas na estimativa de biomassa realizam a modelagem ou são usadas 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, conjunto de árvores ou floresta. Assim 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 $y = \beta x^{\alpha}$.

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

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 Diâmetro à Altura do Peito (*DAP*), ou *DAP* juntamente com outro dado de medida de amostragem de árvores, de inventários florestais:

$$B = f(P_1, P_2, p_1, p_2) \tag{18}$$

onde *B* é a biomassa (massa fresca ou seca das plantas, kg ou t); *P1* , *P2* , etc, os dados disponiveis da árvore (por exemplo, *DAP*, cm; altura, m) e *p1* , *p2* 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:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 + ... + \alpha_j X_j \quad \text{sem erro aditivo} \tag{19}$$

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 + ... + \alpha_j X_j + \varepsilon \quad \text{com erro aditivo} \tag{20}$$

Por outro lado, exemplos de funções não lineares são:

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

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

O coeficiente *j* de α e de β assumem os valores *0, 1, 2,....* 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 $Y=\alpha_o X^{\alpha_1}$. 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.

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

com $ln\ \alpha_o = \beta_o$, *e* $\alpha_1 lnX = \beta_1 lnX$. A biomassa é a variável *Y* e a variável *X* pode ser qualquer das variáveis dendrométricas que se enquadram no modelo.

A variável *Y* sendo a biomassa e 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 sigmoidal, 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 para estimativa da equação de biomassa segue o seguinte princípio exponencial da equação 24.

$$
\begin{aligned}
&Y = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha 2} \\
&\ln Y = \ln \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha 2} \\
&\ln Y = \ln \alpha_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 \\
&\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2
\end{aligned} \qquad (24)
$$

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* á a biomassa e 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:

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

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:

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

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

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

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.

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln Ht + \varepsilon \tag{29}$$

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

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

Equações lineares:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 D + \beta_3 D^2 \tag{30}$$

$$Y = \beta_1 + \beta_2 (D^2 H) \tag{31}$$

$$Y = \beta_1 + \beta_2 (D^2 HS) \tag{32}$$

Equações não lineares:

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln D \tag{33}$$

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln(D^2 H) \tag{34}$$

$$\ln Y = \beta_1 + \beta_2 \ln(D^2 HS) \tag{35}$$

com *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 a 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:

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

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 freqüência diamétrica segundo 72 hectares inventariados na Amazônia central.

Com relação às equações alométricas e suas variáveis dendrometricas, 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).

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 conhecido, 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 Diâmetro à Altura do Peito (*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 aumenta a 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 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*) 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 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 com justiça 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

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)

Fonte: Brown et al. (1989)

Na Tabela 3 temos a equação alométrica para Biomassa Total acima do solo proveniente do ajuste por mínimos quadrados através de regressão, em que *Y* é a biomassa, o coeficiente de determinação é R^2 e o erro quadrático médio *MSE*. A equação 37 tem como variável independente o Diâmetro a Altura do Peito (*D*), por outro lado, a equação 38 tem como variáveis independentes o diâmetro a altura do peito (*D*) e a altura das árvores (*H*), de outra forma, a equação 39 tem como variáveis independentes o diâmetro a altura do peito (*D*), a altura das árvores (*H*) e a densidade da madeira das espécies vegetais (*S*).

Entretanto, todas as equações alométricas são derivadas do modelo de regressão dos dados obtidos no campo. Portanto, não há um modelo melhor do que o outro, porém o melhor modelo para se estimar a biomassa vegetal é o modelo disponível para aquela região e para o tipo de espécies contidas no estrato.

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)

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.

As classes de diâmetro para árvores abatidas devem ser selecionadas para utilização do método direto de determinação de biomassa. Em seu trabalho Vogel et al. (2006) narram que, foram abatidas vinte árvores, distribuídas dentro das classes de diâmetros.

A Tabela 5 apresenta as classes de diâmetro de árvores abatidas em Floresta por Vogel et al. (2006). Há repetição de espécies somente com *Matayba elaeagnoides Radlk.* (classes 3,2-13,5 cm e 13,6-23,9 cm) e *Ocotea pulchella Mart.* (classes 3,2 - 13,5 cm e 24 - 33,6 cm).

No levantamento inicial, isto é, a partir dos dados do inventário florestal são estabelecidas as classes de diâmetro para as classes de *DAP*.

Tabela 5 - Classes de diâmetro de árvores abatidas

Classe (cm)	N. total de indivíduos	N. de indivíduos	Espécie
3,2-13,5	11	1	*Casearia sylvestris* Sw.
		1	*Helietta apiculata* Benth.
		1	*Eugenia rostrifolia* D. Legrand
		2	*Matayba elaeagnoides* Radlk.
		1	*Sebastiania brasiliensis* Spreng.
		1	*Lonchocarpus nitidus* (Vogel) Bent.
		1	*Cupania vernalis* Cambess.
		1	*Ocotea pulchella* Mart.
		1	*Luehea divaricata* Mart. et Zucc.
		1	*Allophylus edulis* (A.St.-Hil.*et al*.) Radlk.
13,6-23,9	3	2	*Matayba elaeagnoides* Radlk.
		1	*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan
		1	*Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br.
24-33,6	2	2	*Ocotea pulchella* Mart.
		1	*Ilex brevicuspis* Reissek
33,7-44,6	1	1	*Ocotea puberula* (A. Rich.) Nees.
44,7-55	1	1	*Prunus sellowii* Koehne

Fonte Vogel et al. (2006)

Assim como foi demonstrada a metodologia para o uso do método *BEF*, também há a metodologia para as equações alométricas. O guia de boas práticas (GPG) do IPCC sugere a metodologia aprovada pela *UNFCCC/CCNUCC* em 2005 (*CDM*). A metodologia é de monitoramento de projetos de atividade de florestamento e reflorestamento e segue o padrão internacional sugerido pela *FAO* e pela ONU de estimativa do estoque de carbono na biomassa viva de árvores, a nível de estrato e cujos passos e etapas estão dispostos a seguir:

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

Etapa 2: Calcular a biomassa acima do solo para cada árvore de cada espécie, usando equações alométricas adequadas para cada espécie de árvore (ou grupos delas se muitas espécies de árvores tem hábitos de crescimento similares) no estrato.

Etapa 3: Estimar o estoque de carbono da biomassa acima do solo para cada árvore *l* das *j* espécies na parcela da amostra localizada no estrato *i* usando a equação alométrica selecionada ou desenvolvida aplicada para as dimensões da árvore da etapa 1 e somar os estoques de carbono da parcela de amostra.

$$C_{AB,i,sp,j,t} = \sum_{l=1}^{Nt,sp} CF_j . f_j(DAP, H) \quad (45)$$

em que: $C_{AB,i,sp,j,t}$ é o estoque de carbono da biomassa acima do solo das árvores das *j* espécies da amostra sp no estrato *i*, em toneladas de *C* (tC). CF_j é a fração de carbono da matéria seca para as espécies ou grupo de espécies do tipo *j*, em toneladas de C.(toneladas d.m.$^{-1}$). Para o IPCC o valor padrão é 0,5. $f_j(DAP,H)$ é uma equação alométrica relacionando a biomassa acima do solo das árvores vivas (*d.m. árvore*$^{-1}$) para o Diâmetro à Altura do Peito (*DAP*) e possivelmente a altura da árvore (*H*) para as espécies *j*, no tempo *t*, t.d.m. árvore^{-1}.

Nota: para estimativas ex ante, os valores de *DAP* médio e *H* devem ser estimados para o estrato *i*, no tempo *t* usando um modelo de crescimento ou tabela de rendimento esperado que fornece as dimensões da árvore em função da idade da árvore. A relação alométrica entre a biomassa acima do solo e *DAP* e, possivelmente *H* é uma função das espécies consideradas. *i* são os *1, 2, 3, ... M_{ps}* estratos do cenário do projeto. *j* são as *1, 2, 3, ... S_{ps}* espécies de árvores do cenário do projeto. *l* são os *1, 2, 3,* números *de* seqüências das árvores individuais das espécies *j* da amostra *sp*. *t* são os *1, 2, 3,... t* anos decorridos desde o início da atividade de projeto de MDL.

Etapa 4: Converter o estoque de carbono da biomassa acima do solo em estoque de carbono da biomassa abaixo do solo através da relação raiz-parte aérea, dada por:

$$C_{BB,i,sp,j,t} = C_{AB,i,sp,j,t} . R_j \quad (46)$$

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

Etapa 5: Cálculo do estoque de carbono total de todas as árvores presentes na parcela de amostra *sp* no estrato *i* no tempo *t*.

$$C_{arvore,i,sp,t} = \sum_{j=1}^{Sps} (C_{AB,i,sp,j,t} + C_{BB,i,sp,j,t}) \quad (47)$$

em que: $C_{arvore,i,sp,t}$ é o estoque de carbono na biomassa viva das árvores na parcela *sp* do estrato *i* no tempo *t*, em tC. $C_{AB,i,sp,j,t}$ é o estoque de carbono da biomassa acima do solo das árvores das *j* espécies da amostra *sp* no estrato *i* no tempo *t*, em tC/árvore. $C_{BB,i,sp,j,t}$ é o estoque de carbono da biomassa abaixo do solo das árvores das *j* espécies da amostra *sp* no estrato *i* no tempo *t*, tC/árvore. *i* são os *1, 2, 3, ... M_{ps}* estratos do cenário do projeto. Em que *j* são as *1, 2, 3, ... S_{ps}* espécies de árvores do cenário do projeto. *t* são os *1, 2, 3,... t* anos decorridos desde o início da atividade de projeto de MDL.

Etapa 6 : Cálculo do estoque de carbono médio da biomassa viva das árvores para cada estrato.

$$C_{arvore,i,t} = \frac{A_i}{Asp_i} \sum_{sp=1}^{Pi} C_{arvore,i,sp,t} \quad (48)$$

em que: $C_{arvore,i,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores do estrato *i* , no tempo *t;* em tC. $C_{arvore,i,sp,t}$ é o estoque de carbono da biomassa viva das árvores da amostra *sp* do estrato *i* no tempo *t*; em tC. Asp_i é a área total de todas as parcelas da amostra no estrato *i*, ha. Em que A_i é a área de estrato *i*, ha. *sp* são as *1, 2, 3,..P_i* parcelas das amostras no estrato *i* no cenário do projeto. *i* são os *1, 2, 3, ... M_{ps}* estratos do cenário do projeto. *t* são os *1, 2, 3,... t* anos decorridos desde o início da atividade de projeto de MDL.

4.4.2.3 Estimativa de biomassa por Sensoriamento Remoto

A estimativa de estoque de carbono da biomassa da floresta pode ser baseada em inventários florestais ou em sensoriamento remoto (SAINT-ANDRÉ et al., 2007).

Portanto, a quantificação, a determinação ou a estimativa da biomassa florestal pode ser realizada a partir de inventário florestal. Entretanto, pode ser usado um método indireto de estimativa de biomassa a partir de dados de sensoriamento remoto. Podem ser realizadas por meio de relações entre as variáveis dendrométricas e o volume ou a biomassa.

> Os compostos de carbono constituem grande parte da biomassa florestal, sendo necessário desenvolver estudos quanto a métodos de quantificação, nos diversos componentes da planta, para entender melhor o seqüestro e o armazenamento de carbono da atmosfera pelas florestas. Estes estudos são trabalhosos, demorados e muito onerosos, podendo ser realizados por meio de métodos diretos e indiretos. Pelo método direto, as árvores são cortadas e seus componentes separados e pesados. No método indireto são utilizadas

> equações alométricas ou imagens de satélite para realizar as estimativas (WATZLAWICK et al., 2004).

Assim, outro método indireto para a medida de biomassa e carbono de vegetais é utilizando as imagens de satélite a partir de sensoriamento remoto.

> As técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas em estudos na área florestal, uma vez que é possível estimar parâmetros biofísicos como biomassa, carbono e volume de madeira, pelas propriedades espectrais dos componentes da vegetação (fustes, galhos, folhas, etc.). A utilização desta técnica em florestas heterogêneas se torna mais complexa devido à grande diversidade florística, fisionômica e fenológica que este tipo florestal apresenta. Para as florestas implantadas, por possuírem geralmente apenas um gênero e serem inventariadas periodicamente, este trabalho se torna mais fácil e confiável (SOUZA; PONZONI, 1998).

Com os atuais avanços tecnológicos com relação às imagens provenientes de sensores remotos, e também com os desenvolvimentos relacionados aos avanços no processamento das imagens, tem-se obtido uma melhor caracterização da estrutura das florestas e, conseqüentemente, de sua biomassa e carbono estocado (WATZLAWICK et al., 2004).

No emprego de um sistema de informação geográfica em estimativas de biomassa, utiliza-se geralmente uma ampla base de dados e mapas digitais de inventário, de população, clima, vegetação, solos e de topografia. Watzlawick et al. (2002) relataram que a conciliação de trabalhos de campo e dados de imagem devem ser incorporados em ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica), obtendo-se assim um melhor aprimoramento, visualização e maior agilização nos processos de consulta as informações, permitindo também associar estas informações a um banco de dados relacional.

Para Watzlawick et al. (2002), as imagens de satélite podem ser importantes para realizar estimativas de biomassa e carbono, tanto para o cálculo de áreas, como também, com os atuais avanços tecnológicos, para o tratamento digital das imagens de satélite, o que permite a caracterização das diferentes estruturas florestais, associando o conteúdo de biomassa e carbono a essas imagens. Este é um método indireto e não-destrutivo, podendo-se estimar parâmetros biofísicos pelas propriedades espectrais da vegetação, conciliando-se inventários de campo com dados espectrais das imagens.

Pelo exposto, constata-se a necessidade de realizar estudos que viabilizem a quantificação de biomassa e carbono, utilizando métodos indiretos, pois estes

possibilitam estimativas em menor tempo e, conseqüentemente, com menores custos (WATZLAWICK et al., 2004).

Conforme Watzlawick et al. (2004) foi realizado trabalho de estimativa de biomassa usando sensoriamento remoto com os seguintes objetivos: a) desenvolver uma metodologia, utilizando imagens do satélite IKONOS II, para realizar estimativas de biomassa e carbono orgânico em plantios de *Araucaria angustifolia*; b) ajustar e testar equações para estimar variáveis de biomassa e carbono orgânico em função de variáveis provenientes das imagens do satélite IKONOS II; d) avaliar e testar a aplicabilidade de realizar estimativas de biomassa e carbono orgânico a partir de dados provenientes de imagens do satélite IKONOS II; e e) quantificar a biomassa e o carbono orgânico na área de estudo.

5 MDL, REDD E EXTERNALIDADE

Neste capítulo iremos realizar uma relação entre os conceitos compreendidos dentro dos termos utilizados pelo MDL e pelo REDD. Inicialmente, para compreensão de como o MDL e o REDD devem ser entendidos e efetivados, mostramos a influência do carbono e sua inclusão no sistema da atmosfera e litosfera para que o processo quantitativo relacionado ao REDD e MDL possa ser considerado e entendido no âmbito da biomassa acumulada na vegetação.

Além do mais, realizamos o debate sobre MDL versus REDD e suas estratégias de implantação de projetos e princípios norteadores como a linha de base e a adicionalidade.

Além disso, neste importante momento de debate internacional sobre aquecimento global, é fundamental uma reflexão sobre a efetividade do MDL em contemplar estratégias de desenvolvimento rural e de mecanismo de compensação para 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 fracassou no âmbito do reflorestamento de áreas desmatadas e degradadas na Amazônia e, portanto, um novo mecanismo deve ser apresentado para ter potencialidade de suprir tal necessidade.

Finalmente, vamos prover as ferramentas analíticas necessárias para entender as falhas de mercado no contexto dos problemas ambientais. Por isso, a nossa discussão será centrada no desenvolvimento de modelos econômicos para o REDD baseado nas características dos bens públicos, na qualidade do meio ambiente e na teoria da externalidade para mostrar como o mercado falha na captura dos efeitos da emissão de gases de efeito estufa associados com a produção e o consumo e como os casos de desmatamento e degradação na Amazônia podem ser minimizados e ao mesmo tempo gerar condições para que os que implantam atividades produtivas que não absorvem carbono, os que desmatam ou degradam e não garantem os serviços ambientais na Amazônia possam ter oportunidades através de uma ferramenta econômica para tentar mudar a forma de uso do solo e forma de uso da terra para a implantação de nova

atividade produtiva que preserve os serviços ambientais e ecológicos na Amazônia. Finalmente, vamos juntar estes dois modelos através de uma discussão sobre direitos de propriedade da atmosfera, suas regras nas falhas ambientais de mercado e analisar e apresentar uma solução política que pode ser usada por governos como resposta as falhas de mercado para problemas ambientais, como por exemplo, a ferramenta do subsídio para solucionar os problemas da falha de mercado para a implantação do REDD, mecanismo de compensação baseado no subsidio justificado pela Taxa Pigouviana levando em consideração o Custo Marginal Privado, o Benefício Marginal Privado e o Benefício Marginal Externo para compor o Benefício Marginal Social.

5.1 O CICLO DO CARBONO

O carbono faz parte de dois principais gases de efeito estufa, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) e é o elemento químico mais abundante dentre os 2 elementos dos ciclos biogeoquímicos. Entender o ciclo do carbono é fundamental para compreender os processos reguladores e o tempo de residência do CO_2 atmosférico, portanto as concentrações que regulam o efeito estufa (CAMPOS, 2007).

Constantemente o dióxido de carbono circula no ambiente através de uma variedade de processos naturais, conhecidos como o ciclo do carbono. Tanto as erupções vulcânicas como a decomposição de plantas e animais liberam o dióxido de carbono na atmosfera. Um subproduto da respiração é a formação de dióxido de carbono, que é exalada de animais para o ambiente. Rios, lagos e oceanos absorvem dióxido de carbono da atmosfera. Através da fotossíntese, plantas coletam dióxido de carbono e o utilizam no processo de incorporação de carbono no novo tecido vegetal, liberando oxigênio para o ambiente como um subproduto.

> Toda a vida está baseada no elemento carbono. O carbono é o principal constituinte químico e um dos mais importantes da matéria orgânica, a partir de combustíveis fósseis para as moléculas complexas (*DNA e RNA*) que controlam a reprodução genética nos organismos. No entanto, em peso, o carbono não é um dos elementos mais abundantes na crosta da Terra. De fato, a litosfera tem apenas 0,032% de carbono em peso. Em comparação com o oxigênio e o silício, respectivamente, que compõem 45,2% e 29,4% das rochas superficiais da Terra (PIDWIRNY, 2006).
> Desde a Revolução Industrial, os seres humanos têm aumentado muito a quantidade de dióxido de carbono encontrado na atmosfera da Terra e nos oceanos. Os níveis atmosféricos aumentaram mais de 30%, passando de cerca de 275 partes por milhão (ppm) no início de 1700 para pouco mais de 365

> ppm hoje. Os cientistas estimam que os futuros níveis atmosféricos de dióxido de carbono poderá atingir um montante entre 450 a 600 ppm até 2100. As principais fontes deste gás devido às atividades humanas incluem a queima de combustíveis fósseis e a modificação da cobertura vegetal natural que é encontrada em pastagens, florestas e ecossistemas florestais. As emissões da queima de combustível fóssil entra na conta em cerca de 65% do dióxido de carbono adicional encontrados atualmente na atmosfera terrestre. Os outros 35% são decorrentes do desmatamento e à conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas. Os investigadores mostraram que os ecossistemas naturais podem armazenar entre 20 a 100 vezes mais dióxido de carbono do que os tipos de uso do solo agrícola (PIDWIRNY, 2006).

A existência ou a descoberta do dióxido de carbono ou CO_2 foi notada pela primeira vez pelo escocês Joseph Black em 1754. Black mostrou que o "ar fixo" (CO_2) era produzido pela respiração e pela fermentação, e também pela queima de carvão. Notou que o mesmo se comportava como um ácido, ao neutralizar um álcalis. Black também deduziu a presença desse gás na atmosfera em pequenas quantidades.

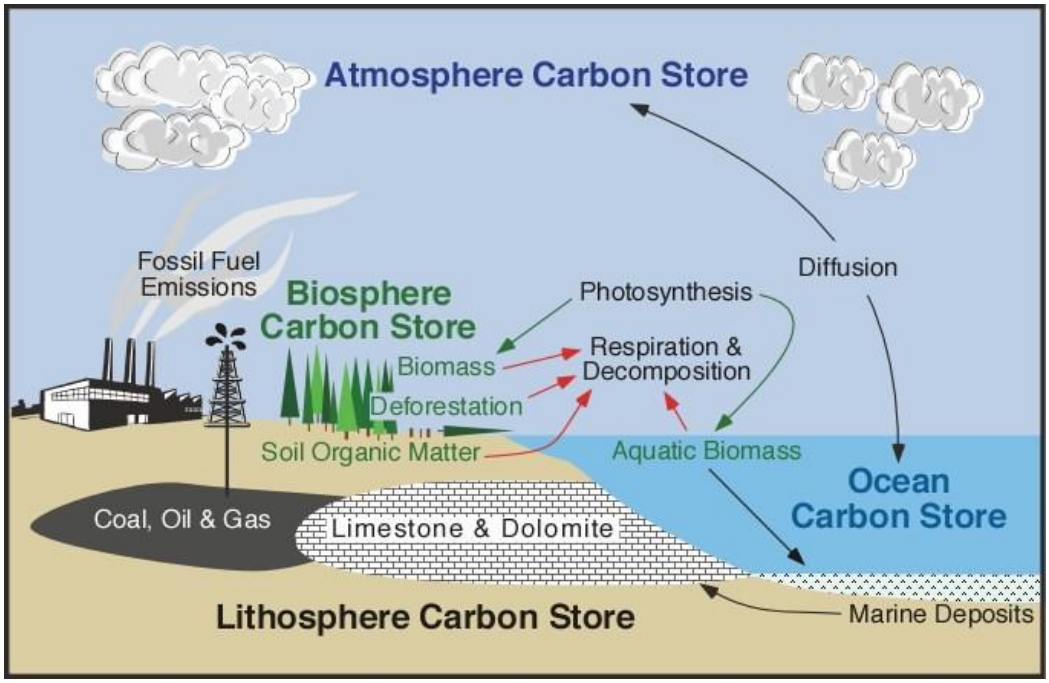
> O CO_2 é considerado um gás traço devido à sua baixa concentração atmosférica – menos de 1% – e foi identificado por Joseph Black em 1754 como um gás produzido pela combustão, respiração e fermentação, comportando-se como um ácido e componente de carbonatos minerais. Em 1894, Arvid Högbom descreveu que o CO_2 é fornecido para a atmosfera pelos seguintes processos: a) erupções vulcânicas e fenômenos geológicos, b) combustão de meteoritos carbonáceos nas altas regiões da atmosfera, c) combustão ou decaimento de corpos orgânicos, d) decomposição de carbonatos, e) liberação de CO_2 dissolvido em corpos d'água do mar por causa do aumento da temperatura ou redução da pressão parcial do CO_2, e f) liberação de ácido carbônico aprisionados mecanicamente em frações de minerais ou decomposição. Além disto, este autor identificou que o CO_2 presente no ar é consumido principalmente pela formação de carbonatos da precipitação de silicatos, pelo consumo do CO_2 por processos vegetais e absorção de CO_2 pelos mares (CALDEIRA, 2005).

O carbono é armazenado em nosso planeta nos seguintes grandes sumidouros: (1) como moléculas orgânicas em organismos vivos e mortos encontrados na biosfera, (2) como gás chamado de dióxido de carbono na atmosfera; (3), matéria orgânica no solo, (4) na litosfera como depósitos de combustíveis fósseis e rochas sedimentares, tais como depósitos de calcário, dolomita e gipsita, e (5) nos oceanos, dissolvido no dióxido de carbono atmosférico e, como carbonato de cálcio em conchas de organismos marinhos (PIDWIRNY, 2006). Ver Esquema 2.

> O carbono é armazenado na litosfera em ambas as formas inorgânicas e orgânicas. Os depósitos inorgânicos do carbono na litosfera incluem os combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural, óleo de xisto, e

> depósitos sedimentares de carbonato, como o calcário. As formas orgânicas de carbono na litosfera incluem a liteira, a matéria orgânica, e as substâncias húmicas encontradas no solo. Algum dióxido de carbono é liberado a partir do interior da litosfera por vulcões. O dióxido de carbono liberado por vulcões entra na litosfera baixa quando os sedimentos ricos em carbono e as rochas sedimentares são subcanalizadas e parcialmente derretida abaixo das zonas de camadas tectônicas (PIDWIRNY, 2006).

Esquema 2 – Ciclo do Carbono.



Fonte: Pidwirny (2006)

Outro ciclo envolve as rochas, ou melhor, a matéria orgânica depositada nas rochas durante milhões de anos. Os ciclos que envolvem rochas levam centenas de milhares ou milhões de anos para afetar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, com uma exceção: a atividade humana. A matéria orgânica morta que fica enterrada nas rochas se transforma em carvão mineral, petróleo e gás natural, sendo a energia solar fixada pelas plantas há milhares de anos. Esta energia tem sido explorada na forma de combustíveis fósseis.

> O dióxido de carbono é depositado nas águas do oceano por uma simples difusão. Uma vez dissolvido em água do mar, o dióxido de carbono pode permanecer como está ou pode ser convertido em carbonato (CO_3) ou bicarbonato (HCO_3). Certas formas de vida marinha biologicamente fixam bicarbonato com cálcio (Ca) para produzir carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Esta substância é usada para produzir conchas e outras partes do corpo por organismos como corais, moluscos, ostras, alguns protozoários e algumas algas. Quando esses organismos morrem, suas conchas e partes do corpo submergem até o fundo do mar onde se acumulam como ricos depósitos de carbonato. Após longos períodos de tempo, esses depósitos são física e quimicamente alterados nas rochas sedimentares. Os depósitos oceânicos são de longe o maior sumidouro de carbono no planeta (PIDWIRNY, 2006).

Tabela 6 – Estimativa de grandes Depósitos de Carbono

Depósito	Quantidade (bilhões de Toneladas Métricas)
Atmosfera	578 (do ano de 1700) - 766 (do ano de 1999)
Matéria Orgânica do Solo	1500 a 1600
Oceanos	38,000 a 40,000
Sedimentos Marinhos e Rochas Sedimentares	66,000,000 a 100,000,000
Plantas Terrestres	540 a 610
Depósitos de Combustíveis Fósseis	4000

Fonte: Pidwirny (2006)

De acordo com Caldeira (2005), o ciclo do carbono não é restrito somente às plantas e à atmosfera. O dióxido de carbono é solúvel em água e os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície terrestre. Os oceanos absorvem dióxido de carbono da atmosfera (90 Gt C ano) e atualmente têm um estoque 50 vezes maior que a atmosfera (38.000 Gt C), predominantemente na forma de carbono inorgânico dissolvido. A solubilidade do dióxido de carbono nos oceanos é limitada, pois depende da sua concentração na atmosfera, da temperatura dos oceanos e outros fatores. Atualmente, o oceano está absorvendo menos da metade das emissões antrópicas, 2,3 ± 0,8 Gt C ano. Os ciclos que envolvem as plantas e os oceanos mudam a concentração de dióxido de carbono na atmosfera numa escala de tempo de semanas a meses. Em 1957 Roger Revelle e Hans Seuss perceberam que para um aumento de 10% do CO_2 atmosférico os oceanos aumentam seu estoque de carbono em 1% devido à química dos oceanos, ou seja, 4000 PgC.

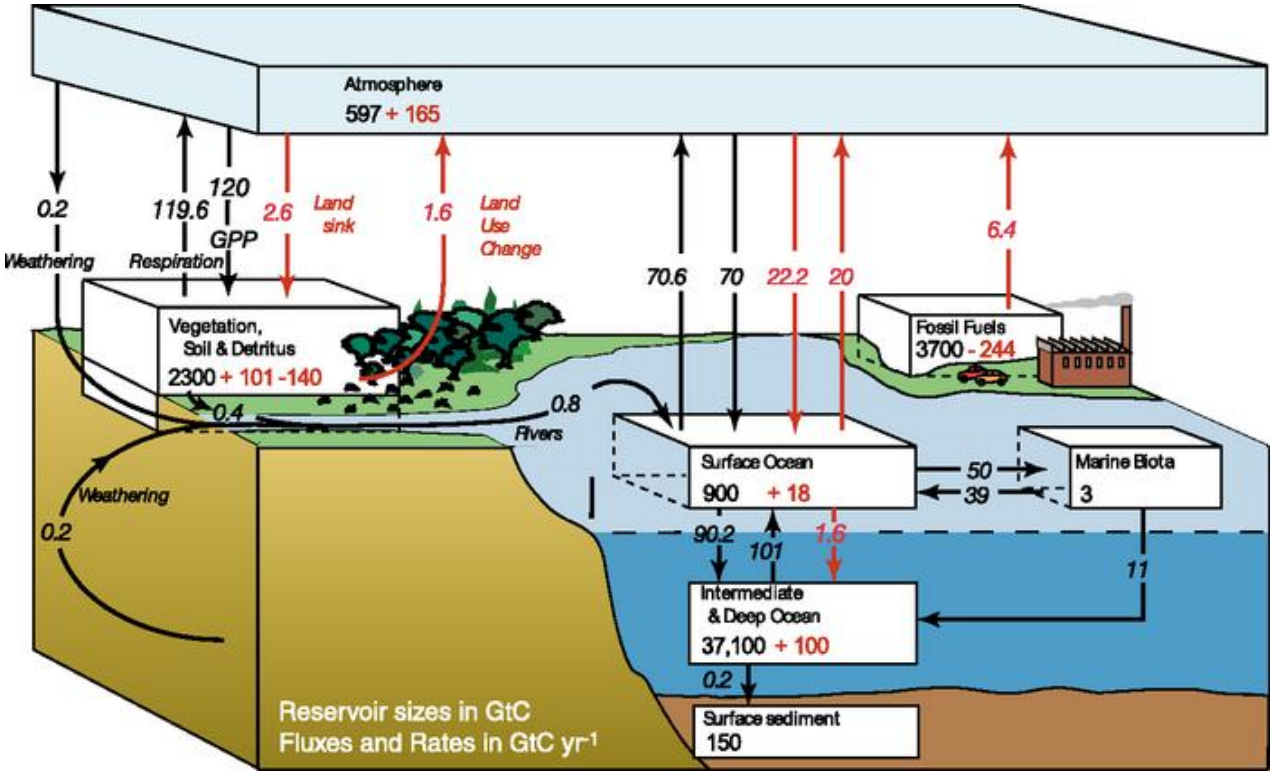
O carbono é liberado para os ecossistemas como dióxido de carbono pelo processo da respiração. A respiração ocorre em plantas e animais e envolve a quebra de moléculas à base de carbono orgânico em dióxido de carbono. A cadeia alimentar de detritos contém uma série de organismos ecológicos cuja principal função é a decomposição de matéria orgânica em seus componentes abióticos (PIDWIRNY, 2006).

> Os ecossistemas recebem a maior parte do seu dióxido de carbono da atmosfera. Um conjunto de organismos autotróficos tem mecanismos especializados que permitem a absorção deste gás nas suas células. Com a adição de água e energia da radiação solar, esses organismos utilizam da fotossíntese para converter quimicamente o dióxido de carbono em redes de moléculas de açúcar baseadas em carbono. Estas moléculas podem então ser modificadas quimicamente por esses organismos, através da adição de outros elementos metabólicos para produzir compostos mais complexos, como proteínas, celulose e aminoácidos. Algumas das matérias orgânicas

produzidas nas plantas é transmitida para animais heterotróficos através do consumo (PIDWIRNY, 2006).
Plantas, seja na terra ou nos oceanos, absorvem o carbono do CO_2, liberando o oxigênio (O_2) através da fotossíntese, onde a luz (fóton) é essencial para sintetizar biomassa. Através deste processo as plantas acumulam carbono e atualmente possuem três vezes e meio mais carbono que a atmosfera, cerca de 2.300 GtC. A respiração é o processo inverso à fotossíntese, consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono e energia, mantendo animais, plantas e outros organismos vivos (CAMPOS, 2007).

Dois outros processos são quase iguais à respiração: decomposição e combustão. Decomposição é a respiração, principalmente, das bactérias e fungos enquanto digerem a matéria morta. Já a combustão de matéria orgânica (i.e., incêndios florestais), segue o mesmo caminho da respiração, onde as enzimas são substituídas pelo calor para acelerar o processo que libera energia e dióxido de carbono (CAMPOS, 2007).

Esquema 3 - Ciclo global do carbono nos anos 1990. Estoques de carbono (GtC) em reservatórios e seus fluxos médios anuais em GtC/ano: fluxos em - preto são os naturais e os antropogênicos em vermelho.



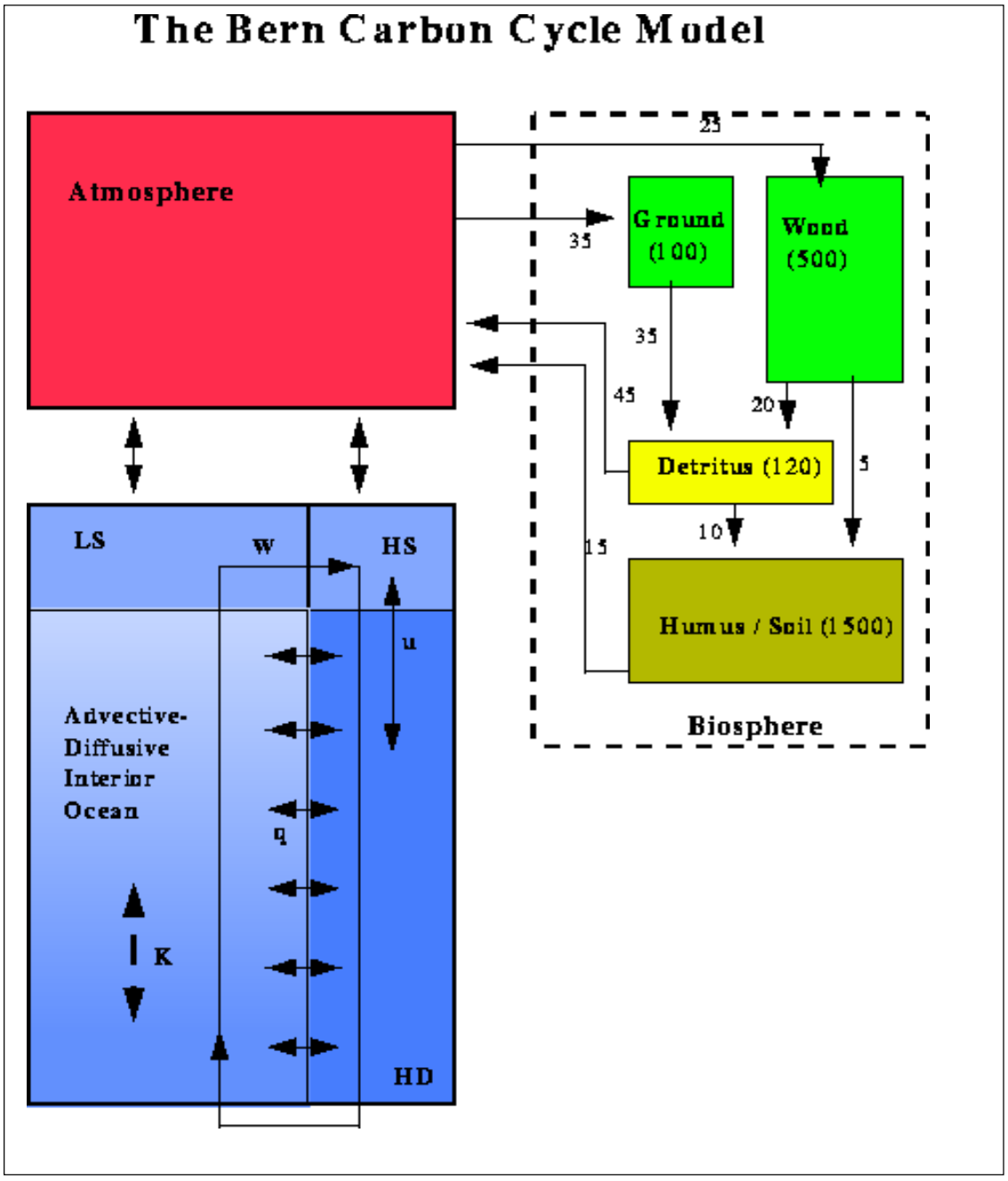
Fonte: IPCC (2007)

O modelo de carbono Berna foi elaborado pela Universidade de Berna, Suíça, e tem sido usado como padrão para estudar as relações entre as emissões antropogênicas de carbono e as concentrações de CO_2, e.g. IPCC (1995) e IPCC (2001). Ele é um modelo de caixa, onde o carbono de origem antropogênica que permanece na atmosfera é resultado das absorções/emissões do oceano e da biosfera terrestres mais as emissões humanas (CAMPOS, 2007).
Os estoques de carbono na biosfera terrestre do modelo Berna são compostos pelas absorções dos estoques da biomassa acima do solo e abaixo e das emissões dos estoques de carbono nos detritos e no solo. A absorção oceânica

de carbono é descrita pelo modelo Hilda, que é representado por duas caixas de águas superficiais (alta e baixa latitude), uma caixa das águas profundas (apenas alta latitude) e uma caixa representando um reservatório interior de difusão (SHAFFER; SARMIENTO, 1995).

O Modelo de Berna tem sido utilizado para estudar as relações entre as emissões antropogênicas de carbono o os níveis de CO_2 atmosférico tanto quanto as respostas de sinais transientes de temperatura da superfície a uma perturbação no balanço radiativo da Terra. O Modelo de Berna tem sido usado como um padrão para o calculo do cenário de CO_2 e o calculo do potencial de aquecimento global pelo Painel Intergovernamental de Mudanças climáticas (HOUGHTON et al., 1996).

Esquema 4 – Estrutura do modelo de ciclo do carbono de Berna.



Fonte: Pidwirny (2006)

> O Modelo de Berna é um modelo de agregação espacial e representa a rápida mudança relativa dos reservatórios de carbono na atmosfera, nos oceanos e na biosfera terrestre. A absorção de calor do oceano, o CO_2 antropogênico e outros gases traço são modelados de uma forma consistente e a provisão de CO_2 antropogênico global é balanceada (JOOS et al., 1996).

Para ser resolvido de forma algébrica**,** Joos et al. (1996) adaptaram o modelo de carbono de Berna para demonstrar uma simplificação dos cálculos computacionais.

Rosa e Ribeiro (2001) utilizaram a versão de Joos et al. (1996) em uma proposta do Brasil. O modelo é definido pela sobreposição de funções logarítmicas com tempos de vida diferentes para cada fração do CO_2 emitido (IVIG-SCE, 2004):

$$N(t) = \int_0^t dt' \left[\sum_i \beta_i e^{-(t-t')k_i} \right] E(t') \qquad (49)$$

$$\sum_i \beta_i = 1$$

em que: *N (t)* é a Concentração do gás (em Gg) no tempo *t* (em anos). *E (t)* é a Emissão de gás (em Gg) no tempo t (em anos). 1/k é a constante de decaimento exponencial (em anos) da fração *ßi* da concentração do gás. *ßi* é a Fração da concentração do gás que decai exponencialmente com a constante temporal *1/ ki*.

Campos (2007) cita que para o cálculo das concentrações de CO_2 podem ser utilizados os parâmetros para serem inseridos na equação 49 apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros do modelo do ciclo de carbono

	1/ki	ßi
IPCC (2001)	2.57	0.316
	18	0.279
	171	0.253
	>10.000	0.152
ROSA E RIBEIRO (2001)	1.6	0.098
	20	0.294
	80	0.392
	330	0.216

5.2 O INCENTIVO DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

Um mecanismo já aplicado para redução de GEE em larga e pequena escala no mundo é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Sabemos que foi na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*CQNUMC*) que foi debatido o MDL, que tem aplicações no Brasil em diversos

setores como energia renovável, aterro sanitário, troca de combustível fóssil, eficiência energética, processos industriais, reflorestamento, entre outras.

Dentre as políticas de redução das emissões de GEE temos o MDL. Foi adotada no protocolo de Kyoto. A Convenção-Quadro das Nações Unidas entrou em vigor no dia 21 de março de 1994. Os países que se tornaram Partes da Convenção, ou seja, aqueles que assinaram e ratificaram o acordo, se propõem a estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça o desequilíbrio do sistema climático pela interferência antrópica. Nesse sentido, a Convenção tem o papel de orientar os governos no trabalho em conjunto para a implementação de iniciativas que reduzam os impactos das atividades humanas sobre o clima, de acordo com os contextos socioeconômicos de cada país.

O Protocolo de Quioto concedeu um incentivo e abriu a oportunidade aos países em desenvolvimento para a possibilidade de vender para os países obrigados a reduzir as emissões a redução de GEE. A forma encontrada para esta redução de GEE foi a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que nada mais são que projetos voluntários em paises em desenvolvimento de redução da emissão de CO_2, CH_4, N_2O e outros.

O princípio do MDL é a permissão da certificação de projetos de redução de emissões de GEE nos países em desenvolvimento e sua posterior venda das reduções certificadas de emissão de GEE para serem utilizadas pelos países desenvolvidos para contemplar e/ou completar suas metas de redução de gases na atmosfera. O reconhecimento do projeto parte do pressuposto de demonstrar a sua capacidade de reduzir as emissões de GEE além daquelas que seriam possíveis se o programa não fosse adotado, relativos a sua linha base.

O mercado do MDL é um setor dentro da política ambiental que pode trazer avanços com relação a minimização das emissões no Brasil. Pode ser pela movimentação financeira anual no país. Além disso, este é o único mecanismo que prevê a participação dos países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil.

Portanto, este mecanismo se bem aproveitado pelo Brasil, poderia aumentar as áreas florestadas no país, minimizando as emissões provenientes de degradação e desmatamento.

O MDL se encaixa para o Brasil nos Créditos de Carbono que é o mecanismo que permite aos países em desenvolvimento, vender “créditos de carbono” a um país

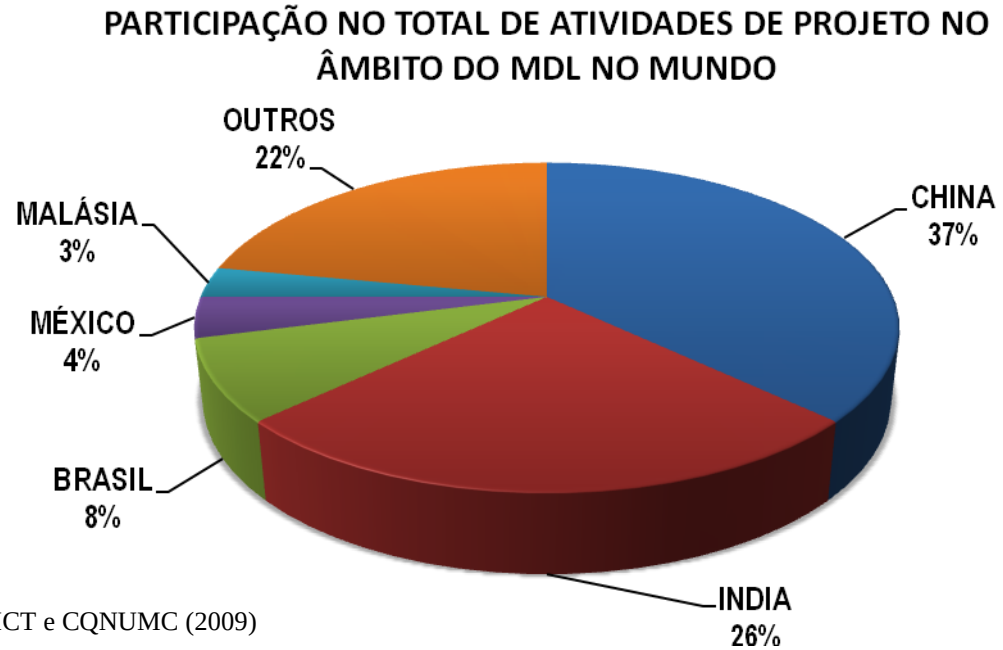
desenvolvido para que este possa atender parte da redução de emissões de gases de efeito estufa exigida pelo protocolo de Kyoto. Portanto, os países que não conseguem atingir suas metas têm a oportunidade de investir em projetos MDL de países em desenvolvimento.

As potenciais aplicações dos projetos para o MDL são por setores:

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, matas riparias 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; e
f) Reflorestamento

Os dados do MCT e CQNUMC até dezembro de 2009 do no mundo revelam que os países em desenvolvimento com maior crescimento econômico estão entre os principais atores que participam das atividades no âmbito do MDL que são a China, a Índia e o Brasil, como mostrado no gráfico do Gráfico 1.

Gráfico 1 - Principais Países com atividades de MDL.

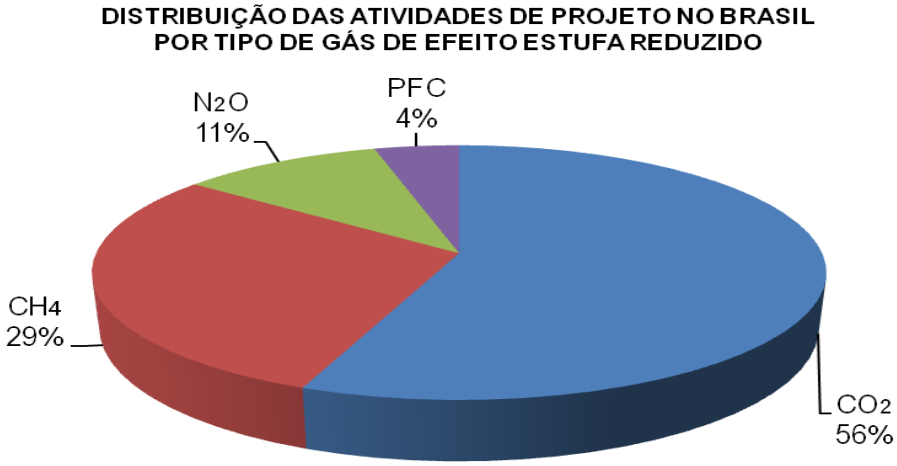


Fonte: MCT e CQNUMC (2009)

Por exemplo, 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 tCO_2e, o que equivale a 6% do total mundial para o primeiro período de obtenção de créditos.

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



Fonte MCT (2009)

No Brasil, a redução de GEE pelo uso do MDL está sendo muito mais aplicada para alguns setores, enquanto a redução de GEE para outros setores estão sendo pouco utilizadas.

No caso brasileiro, os projetos de MDL para redução de GEE mais implementados são os de redução de gases que contêm carbono em sua composição conforme Gráfico 2. Por exemplo, 29% dos projetos de MDL no Brasil até 2009 foram para reduzir CH_4, enquanto que 56% de todos os projetos de MDL foram para a redução de CO_2.

Tabela 8 - Projetos de MDL no Brasil até dezembro de 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_2O	5	1%	14%
Reflorestamento	2	0,5%	1%
Emissões Fugitivas	2	0,5%	0,1%

Fonte: MCT (2009)

A Tabela 8 apresenta o número de projetos de MDL no Brasil até dezembro de 2009. O maior número de projetos é o do setor de energia, enquanto que o número de projetos de reflorestamento é o menor implementado no Brasil. Isto quer dizer que o setor de reflorestamento não é um dos mais procurados para se implementar projetos de MDL no Brasil, apesar do grande mercado de carbono e da grande quantidade de carbono que se pode estocar em uma floresta.

As atividades do projeto mais predominantes estão no setor energético. Quase a metade de todos os projetos de MDL brasileiros se encontra no setor energético. O número de projetos para energia renovável é de 206 com redução anual com mais de 17.765 TCO_2e com redução anual de 38%. Em segundo lugar está a suinocultura com 67 projetos de MDL no Brasil com redução anual com mais de 3.913 TCO_2e.

No Brasil, também há uma grande desigualdade na implementação de projetos de MDL por Estados. O Estado que lidera o ranking brasileiro de crédito de carbono, ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), é o Estado de São Paulo, e que está fora da região Amazônica.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas do Mercado de Carbono (ABEMC), o tipo mais comum de projetos de MDL no Brasil é o de co-geração do bagaço da cana em usinas de açúcar e álcool. Grande parte das usinas está concentrada na Região Sudeste, em especial em São Paulo, mas também há usinas no Centro-Oeste. O segundo lugar no ranking do mercado de carbono é ocupado pelo estado de Minas Gerais, seguido do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, do Paraná e de Goiás, todos estes estados da federação não se encontram na Amazônia.

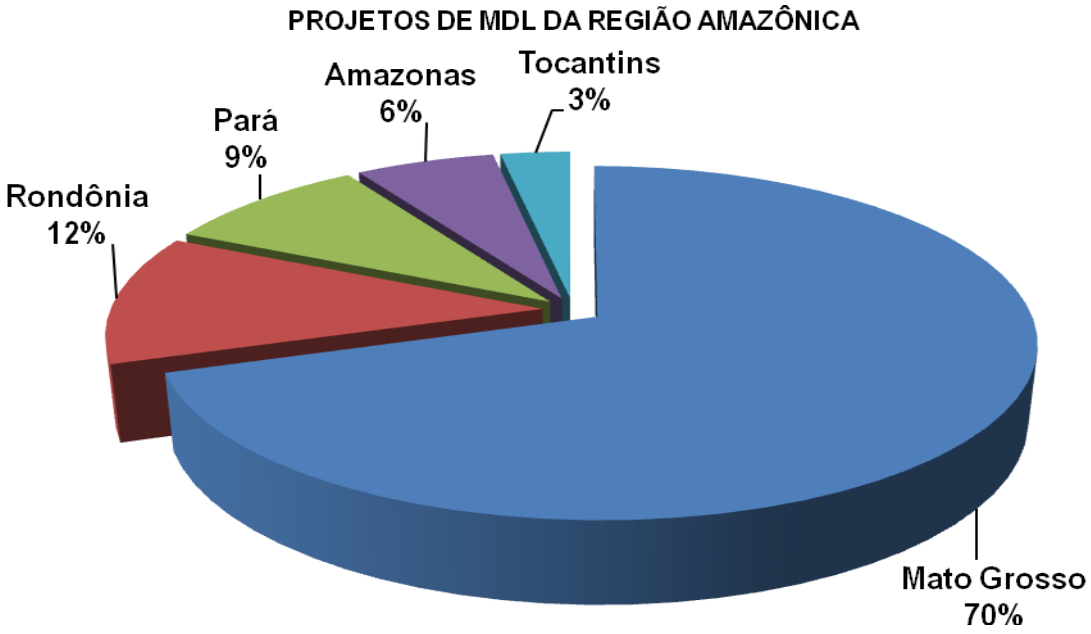
Se formos verificar os projetos MDL por região, as regiões Norte e Nordeste são as que têm menor representatividade no ranking.

Um motivo para o Nordeste não ter muitos projetos de MDL pode ser o fator de emissão no Nordeste ser muito baixo. Pois o fator multiplicador define quantos créditos de carbono o projeto gera. Na Região Nordeste, por exemplo, os projetos de energia renovável conectados à rede elétrica, como os projetos de bagaço de cana que exportam energia para a rede, tem o fator de emissão mínimo.

Já na região Norte, a distribuição das atividades de MDL na Amazônia em 2009, como no resto do Brasil, está 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.

Além do mais, a maioria está concentrada no estado de Mato Grosso, com 23 projetos de MDL e cerca de 70% de todos os projetos de MDL para a Amazônia estão neste estado. O Pará se encontra com 9% de projetos de MDL da Amazônia, um projeto está instalado no município de Barcarena, que se encontra próximo a capital Belém e na Região de Integração do Tocantins, instalado na ALBRÁS, com produção de metais. O segundo projeto está instalado no município de Paragominas, na Região de integração do Capim, com o uso de resíduos da madeira serrada para geração de energia, esta madeira serrada é fruto de desmatamento na região em tempos anteriores. Ver no Gráfico 3 os Projetos de MDL distribuídos na Região Amazônica. Há estados que não têm registrado nenhum projeto de MDL nesta região. Temos o Estado de Rondônia como segundo lugar no número de projetos de MDL na Amazônia, com 12%. Assim, não temos nenhum projeto de MDL com reflorestamento na Amazônia. Desta forma, o MDL que é um mecanismo de redução de GEE e que permite o crédito de carbono para o florestamento e reflorestamento, não emplacou na redução de GEE na Amazônia, muito menos em áreas de reflorestamento em que não foi um sucesso.

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



Fonte: Greco et al. (2008)

Assim, não houve sucesso de projetos de MDL para as atividades de uso da terra e mudança de uso da terra na Amazônia e ainda não houve nenhum projeto de reflorestamento no âmbito do projeto.

As atividades de Uso da terra, Mudança do Uso da Terra e Reflorestamento (*Land Use, Land-use Change and Forestry - LULUCF*) são aquelas relacionadas às reduções de emissões de GEE, para atividades de e reflorestamento, como definido pela COP. Para que se evitasse o desmatamento de áreas para o emprego de reflorestamento e, posteriormente, a participação dentro do MDL, imposições para a aceitação do MDL deve seguir alguns princípios básicos que seguem:

a) Devem ser usadas metodologias consistentes ao longo do tempo para estimativa e relato de tais atividades;
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 *LULUCF* deve contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais.

As atividades *LULUCF* podem ser empregadas somente em terras que, desde 31 de dezembro de 1989, sejam pastagens ou terras abandonadas, sem a presença de florestas. A contabilização de emissões de GEE antropogênicas por fonte e remoções por sorvedouros resultantes de atividade de *LULUCF* devem começar com o início da atividade ou o início do período de compromisso, aquele que vier mais tarde.

Para a Amazônia, a importância principal do MDL é a de reflorestamento de áreas degradadas e desmatadas. Entretanto, somente cerca de 10% dos projetos de MDL de todo o Brasil são implementados na Amazônia e destes 10% de todos os projetos do Brasil, não temos nenhum projeto de reflorestamento na Amazônia. Assim, os projetos de MDL não tiveram um alcance no setor florestal na Amazônia.

Desta forma, há causas para esta estatística, pois além de termos na Amazônia poucos projetos de MDL, não há nenhum projeto de MDL de reflorestamento na região. Assim, podemos falar de possíveis causas do insucesso ou dos limites do MDL na Amazônia para reflorestamento que podem ser, mas a princípio há duas situações que poderiam estar no rol de motivos ou causas para o fracasso do MDL para reflorestamento na Amazônia, todos gerados nos países desenvolvidos. Primeiramente, uma causa é o fato dos EUA e da Austrália estarem fora da assinatura do protocolo de Kyoto, diminuindo assim, a quantidade de ações e de recursos para projetos que poderiam estar disponíveis para o mercado de carbono. Além do mais, há a possibilidade de ter pressões políticas de organizações não-governamentais (ONGs)

para que os países desenvolvidos que fazem parte do protocolo de Quioto priorizem suas reduções diretas das suas emissões ao invés de utilizarem do MDL com abatimento de emissões em países em desenvolvimento, isto é, sem o uso de mecanismos de compensação de emissões de GEE, como o MDL. Assim, o insucesso ou a falta de uso do mecanismo de MDL para os países em desenvolvimento, ou na Amazônia, podem estar atrelados nesta disputa do mercado e assim pode ser precipitação supor que o MDL será escolhido como principal forma de combate as emissões de GEE.

> No momento, não há 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).

Portanto, temos a degradação e o desmatamento da floresta Amazônica reinando e sendo aplicados todos os dias, e sem termos perspectivas de pelo menos repor através do MDL com reflorestamento o que já foi destruído, sem pensar no que ainda pode ser desmatado e degradado no futuro. Portanto, um novo mecanismo deve ser criado para entrar em cena e ser aplicado neste cenário do desmatamento da Amazônia. Este mecanismo deve ter uma linha de ação robusta e regras claras para poder dar início a retomada da implantação dos serviços ambientais na região Amazônica em regiões em que tanto a Reserva Legal quanto as Áreas de Preservação Permanente ainda estão com seus serviços ambientais prejudicados.

5.3 MECANISMO DE COMPENSAÇÃO POR DEGRADAÇÃO E DESMATAMENTO EVITADO

A proposta de substituição de áreas desmatadas e degradadas de floresta pela implementação de SAF na região Amazônica não trás somente os benefícios de gerar renda ao agricultor, mas também tem potencial de propiciar a manutenção da biodiversidade, a manutenção do ciclo da água na região e manutenção de nutrientes no solo, que são importantes tanto quanto manter o ciclo hidrológico relativo a outras regiões fora da Amazônia. Além disso, mantém as temperaturas no globo pela redução do efeito estufa com a retirada de carbono da atmosfera através do estoque nas espécies

florestais dos SAFs para a conservação da floresta Amazônica e diminuição de áreas desmatadas e degradadas com conseqüente retenção e estoque de carbono.

Atualmente temos o MDL vigorando como mecanismo de redução de emissões. Conforme Frondizi (2009) o MDL é o único mecanismo por meio do qual países desenvolvidos, e com compromissos quantificados de redução e limitação de emissões estabelecidos pelo Protocolo de Quioto (comumente denominados “metas”), podem abater parte dessas metas mediante aquisição de Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) geradas por projetos de MDL em países em desenvolvimento.

Entretanto, como as florestas têm seus benefícios, principalmente com os que favorecem o clima global, temos que encontrar um novo mecanismo, diferente do MDL, para estimular o reflorestamento e a diminuição da degradação tropical através de uma compensação econômica aos agricultores de SAF. Hoje, é mais fácil e lucrativo desmatar e implantar a pecuária ou a soja na região Amazônica, que manter a floresta em pé, pois a demanda global por grãos, carne e biocombustíveis está crescendo, aumentando os preços dessas commodities a um ritmo acelerado. Para termos um início de reversão do quadro de desmatamento e degradação, temos que implantar um novo padrão ou princípio para nortear as estratégias de conservação para a região: o da compensação por quem preserva a floresta e/ou os serviços ambientais da região, premiando quem está cumprindo a lei com seus 80% de Reserva Legal e assim, defendendo a floresta.

Por isso, para a região Amazônica, primordialmente na Reserva Legal, os SAFs podem ser uma importante saída para os agricultores se houver algum mecanismo de compensação para a manutenção não só da floresta como também para a substituição das áreas degradadas e desmatadas.

Segundo Fearnside (1996) o início de projetos agroflorestais exige que meios sejam fornecidos para os agricultores viverem até que as árvores comecem a produzir colheitas. A melhor maneira de passar desta barreira é de introduzir os sistemas agroflorestais gradativamente, com culturas anuais intercaladas entre as árvores jovens para fornecer alimentos e renda durante a fase crítica de transição à produção. Assim, há vários questionamentos a serem feitos. Um deles é de como fornecer meios para os projetos agroflorestais.

A resposta para o questionamento de como fornecer meios para os projetos agroflorestais é complexa. Entretanto, será focalizado em um meio que já é tratado por

organizações governamentais e não governamentais, que são os Mecanismos de Compensação. O mecanismo de compensação tratado na atualidade, além do MDL, é o de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação, ou REDD.

Para que trazer valor econômico para a floresta em grande escala (só assim há a garantia de significativa contribuição para a mitigação da mudança climática global) um mecanismo econômico robusto e calcado na compensação pela preservação de largas porções de florestas, sejam elas habitadas ou não por populações humanas, deve ser instituído. O mais promissor é aquele vem sendo discutido no âmbito da UNFCCC e conhecido atualmente pela a sigla REDD (MOUTINHO, 2009).

Desde 2005, por ocasião da Conferencia de Montreal, as Partes à CQNUMC tem mantido amplas discussões sobre o escopo das atividades de REDD (isto é, limitavam-se apenas ao desmatamento) e se expandiram para REDD, quando passaram a considerar também a degradação das florestas; a seguir, ampliaram-se ainda mais, passando a considerar a conservação, o manejo sustentável de florestas e o fortalecimento dos estoques de carbono florestal (ANGELSEN et al., 2009)

Historicamente, o 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 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 e 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 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, 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 Brasil é um dos principais candidatos para o programa de REDD por conta de sucessos anteriores em deter, governar e monitorar o desmatamento e a degradação de florestas na Região Amazônica, onde a maioria das emissões do país acontece. O Brasil contém mais carbono em árvores de floresta tropicais que qualquer outro país — 48±9 bilhões de toneladas em 3,3 milhões de quilômetros quadrado de floresta somente na Amazônia. O Brasil também deu passos largos importantes para administrar vasto sistema de floresta do país, o que demonstra a viabilidade de, eventualmente, zerar suas emissões de carbono. Mas ainda existe um debate e discussão consideráveis sobre como programas de REDD funcionarão, e quanto eles valerão às nações que os implementarem (NEPSTAD et al., 2008).
> O desmatamento tropical e a degradação de florestas contribuem com 15 a 20% das emissões de carbono mundiais, induzidas pelo homem, à atmosfera a cada ano (1,5 a 2,0 bilhões de toneladas) chegando a mais de 3,0 bilhões de toneladas durante anos de seca severa e fogo de floresta. Um novo e importante regime de créditos de carbono encontra-se sob negociação para o período pós-2012 da Convenção Quadro de Mudanças Climáticas da ONU (*United Nations Framework on Climate Change Convention - UNFCCC*). Tal regime poderá compensar países tropicais pela redução, no âmbito nacional de cada país, das emissões por desmatamento e degradação de florestas (REDD) (NEPSTAD et al., 2008).
> Os Programas de REDD dependerão de uma governança efetiva nas regiões de florestas, especialmente nas mais remotas, e de um sistema eqüitativo 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, a aqueles que controlam áreas com florestas tropicais. Para tanto, propõe-se aqui o estabelecimento de três fundos que, conjuntamente, possam possibilitar que um programa de REDD na Amazônia brasileira cumpra a meta de extinção do desmatamento (NEPSTAD et al., 2009).

O conceito de REDD baseia-se no pressuposto de que as florestas somente contribuirão para a mitigação da mudança climática se seu valor alcançar um nível que torne a proteção das florestas compatível com estratégias viáveis de desenvolvimento (ANGELSEN et al., 2009).

A idéia 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**).**

REDD representa uma oportunidade para parceria entre países em desenvolvimento e industrializados em beneficio do sistema climático global. Os países em desenvolvimento participam empreendendo atividades de REDD, enquanto os industrializados participam dividindo os custos associados a essas ações (ANGELSEN et al., 2009).

> Embora uma fiscalização ostensiva e uma legislação de primeira sejam pedras fundamentais de qualquer política que queira extinguir o desmatamento na Amazônia brasileira, estas ferramentas parecem não ser suficientes para tanto. O que está faltando? Um mecanismo que trouxesse valoração econômica para a floresta mantida em pé. 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).
>
> REDD é atraente por três causas. Em primeiro lugar, pela mitigação das mudanças climáticas. Comparando o valor de carbono com os custos de oportunidade de mudanças no uso da terra para reduzir as emissões sugere que enormes reduções de emissões podem ser alcançadas através de REDD com custo relativamente baixo. Em segundo lugar, a conservação da biodiversidade, como a preservação das florestas é provavelmente preservar a biodiversidade. REDD tem o potencial para maiores fluxos financeiros a biodiversidade que os instrumentos de financiamento existentes. Em terceiro lugar, a perspectiva do desenvolvimento. REDD poderia oferecer grandes fluxos financeiros para alguns dos países mais pobres do mundo, com algumas estimativas para alcançar US$ 53 bilhões por ano para reduzir as taxas de desmatamento. Ele também oferece um mecanismo que incentiva esses fluxos para ser substancialmente canalizados para as áreas rurais que são os setores que estão mais em depressão e subfinanciados no âmbito dos países menos desenvolvidos. Ele coloca um valor em serviços ambientais que estão, até o presente, subvalorizada financeiramente ou não valorizado ao todo (BROWN; BIRD, 2008).
>
> 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).

REDD é um processo que implica a elaboração de estratégias de desenvolvimento com baixa emissão de carbono e a adoção de um novo paradigma para o uso da terra (ANGELSEN et al., 2009).

Um mecanismo REDD futuro tem o potencial para oferecer muito mais. O REDD poderia simultaneamente tratar das alterações climáticas e da pobreza rural,

enquanto conserva a biodiversidade e sustentando serviços do ecossistema vitais. (PARKER et al., 2009).

> A compensação aos povos da floresta pela conservação florestal que promovem é, por exemplo, uma reivindicação da Aliança dos Povos da Floresta, aliança esta que reúne povos indígenas, seringueiros e uma rede de pequenos produtores familiares, entre outros. A Aliança definiu várias formas de compensação que esperam ver contempladas em um programa de REDD. 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 freqüentes (NEPSTAD et al., 2009).
>
> Os cidadãos dos países com floresta – especialmente aqueles que dependem da floresta para meios de subsistência – devem ser participantes ativos na formulação de uma solução. Da mesma forma que não existe uma solução para as alterações climáticas sem floresta, não há nenhuma solução para o desmatamento sem o apoio das populações da floresta. Graças ao trabalho de muitos dentro da Comunidade de REDD e noutros países, existe um caminho para resolver as remanescentes questões científicas, econômicas e metodológicas (PARKER et al., 2009).

A forma exata de compensar os povos da floresta dependerá de uma análise mais profunda, e pode incluir subsídios para produtos não-madeireiros, como já fazem os estados do Acre e Amazonas com a produção da borracha nativa (NEPSTAD et al., 2009).

> Os mecanismos de pagamentos por serviços ambientais (PSA) a famílias de pequenos produtores não são novidade na Amazônia. O programa de crédito ambiental do governo federal, Pró-Ambiente, é um bom exemplo. Mais recentemente, o estado do Amazonas implementou um programa de PSA batizado como Bolsa Floresta. No caso do Pró-Ambiente, consideraram-se pagamentos de US$ 50.00/família/mês (metade da estimativa de compensações por família usada neste estudo) como minimamente suficientes para apoiar mudanças nas estratégias agrícolas dos pequenos produtores rurais (NEPSTAD et al., 2009).
>
> 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 decisão de incluir o desmatamento e degradação (REDD) ou apenas o desmatamento (RED) pode, em geral, ser abordado separadamente da questão de se utilizar um fundo ou um mercado.

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 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).

O quadro de REDD deve proporcionar incentivos para todos os países de florestas tropicais – se qualquer grupo significativo de países é deixado, então o desmatamento se moverá para estas jurisdições, e teremos fracassado para evitar as emissões de gases de efeito estufa provenientes de desmatamento e da degradação da floresta.

O valor de conservação da Floresta Amazônica excede, de longe, os custos de protegê-la, embora ambos os valores sejam difíceis de validar. O preço de mercado do REDD, por outro lado, dependerá, em último estágio, das reduções de emissões de países desenvolvidos que sustentam o Mercado de Carbono (NEPSTAD et al., 2008).

Uma das variáveis da implantação e valorização de um mecanismo de compensação para a conservação da Floresta Amazônica é a determinação de como este mecanismo deverá ser composto e aplicado.

Muitos falam da criação de Fundos para programas de REDD na Amazônia. Nepstad et al. (2008), por exemplo, cita que o programa de REDD proposto deverá abastecer três fundos: Fundo para Povos da Floresta, Fundo para Florestas Privadas e Fundo Governamental. Neste relatório é apresentado, a título de ilustração, um cenário de custos para cada um desses fundos.

Além do mais, outra alternativa é semelhante a que já está sendo utilizada para os créditos de carbono, a unidade única, chamada de *Certified Emissions Reductions (CER)* ou Reduções Certificadas de Emissões (RCE), isto para a facilitação da quantificação da redução da emissão/sequestro dos Gases de Efeito Estufa.

Uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente é igual a uma redução certificada de emissão (01 ton. CO_2e = 01 RCE), calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warning Potencial – GWP*) índice divulgado pelo

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*IPCC – International Panel on Climate Change*) e utilizado para uniformizar as quantidades de diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que a redução de diferentes gases possa ser somada.

5.4 PRINCÍPIOS RELACIONADOS ÀS EMISSÕES DE CARBONO (LINHA DE BASE E ADICIONALIDADE)

O produtor rural que preserva sua terra ou propriedade rural, como por exemplo, área de reserva legal, as áreas de preservação permanente e a e manutenção de Sistemas Agroflorestais, garantindo os serviços ambientais e ainda sequestrando carbono, não tem a garantia e nem a oportunidade de implantar um projeto de MDL para o aproveitamento de produtos da floresta e também produtos não florestais. Portanto, mesmo garantindo os serviços ambientais nas propriedades rurais, não ficam asseguradas as chances de participar ativamente de um processo de intenção de reconhecimento por manter os serviços ambientais de sua propriedade, mesmo substituindo área desmatada por atividade produtiva rentável e, muito menos de participar de um mecanismo de compensação.

Quando há a lembrança de que o desmatamento ainda avança sob a floresta, pergunta-se o porquê de não ser utilizado o mecanismo de desenvolvimento limpo para contê-lo. Em diversos tipos de uso da terra na região da Floresta Amazônica ainda continuam sendo utilizadas as seguintes práticas: desmatamento, degradação, muita pecuária extensiva e também com a implantação e manutenção de sojicultura, o que pode agravar ainda mais a geração de mais desmatamento.

Para a implantação de MDL ou REDD em áreas desmatadas ou degradadas, há a necessidade de planejar o projeto de seqüestro de carbono. Portanto, certos fatores importantes, como linha de base e adicionalidade, devem ser levados em consideração para a proposição do projeto. Por isso, para projetos de MDL, tais definições e conceitos devem ser levados em consideração para aprovação da proposta.

Entretanto, sempre que se pensa em um projeto de MDL ou de REDD, a adicionalidade e a linha de base são dois conceitos que são levados em consideração para o cálculo das compensações a partir do desmatamento. Assim, a linha de base que deve ser adotada para o REDD pode ser escolhida a partir do desmatamento futuro ou do histórico.

5.4.1 Linha de Base

A Linha de Base para o REDD surge a partir da concepção dos projetos de MDL que devem estocar carbono a partir de um determinado patamar de desmatamento da região ou do país. Para o caso de projetos de MDL para o reflorestamento, deve-se ter determinado o desmatamento para a área de implantação do projeto. Agora, como o REDD tem uma nova concepção que não somente deve agraciar áreas já desmatadas, há aquela dúvida de como deve ser a metodologia de Linha de Base para o REDD. Portanto, há de se entender a Linha de Base para o MDL e seus conceitos e definições para depois abordar o tema da metodologia para o REDD.

Conforme Rocha et al. (2004), a linha de base de um projeto de MDL é […] o cenário que razoavelmente representa 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.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) define a linha de base de um projeto (de REDD) como o cenário que representa o nível das emissões/remoções antrópicas de CO_2 equivalente que ocorreriam na ausência do projeto.

Para o estabelecimento de um projeto de MDL há a necessidade de se encontrar a Linha de Base. Há sempre controvérsias sobre a metodologia do estabelecimento da linha de base para os projetos de MDL, fundamentalmente em projetos que envolvem a conversão de carbono atmosférico em carbono de biomassa vegetal. Essencialmente, a linha de base para projetos de MDL florestais passam pelo 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.

A discussão em como definir a linha de base e cálculo de suas emissões de GEE dentro dos mecanismos propostos pelo Tratado de Quioto se tornou intensa antes mesmo de junho de 2002 quando aconteceu a primeira reunião do Painel de Metodologias (*MP*), criado pelo Conselho Executivo do MDL (EB-MDL, vindo do inglês *Executive Board*), vinculado à ONU e responsável pela regulamentação do MDL (SOUZA, 2005).

A partir de 2000, o *Prototype Carbon Fund* (*PCF*) do Banco Mundial, e o *Certified Emission Reduction Unit Procurement Tender* (*CERUPT*), criado pelo governo holandês, iniciaram os primeiros projetos pilotos de MDL, desenvolvendo então procedimentos para se definir e quantificar as emissões de linha de base (SOUZA, 2005).

Lazarus et al. (2000) discutem como padronizar a linha de base através da definição de "*benchmarks*".

Para o estabelecimento de projetos de MDL, uma sequência ou alguns passos devem ser seguidos, dentre estes passos há o estabelecimento de uma linha de base do carbono (determinando a linha de base contra a qual a futura remoção de carbono será medida), no qual é citado por Fox (2007) que para pequenos projetos florestais MDL, se a expectativa da linha de base de estoque de carbono é que permaneça igual ou que diminua na ausência da atividade de projeto, assumir-se-á que as mudanças nos estoques de carbono serão iguais a zero. 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 *CQNUMC* proporciona 'valores-padrão' para serem utilizados nesse estágio do processo.

Michaelowa (1999) analisou linhas de base de projetos em fase piloto, relacionados a atividades de Implementação Conjunta. Em 2001 houve um workshop internacional sobre a questão de linha de base, resumido e disponibilizado em uma publicação por Ellis et al. (2001).

> 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. Portanto, essa é uma relação de mão dupla. Não adianta monitorar variáveis não relacionadas com a linha de base, nem definir e calcular a linha de base de uma forma que não possa ser monitorada, já que essa é uma das variáveis para a decisão de como será a forma de definir e quantificar a linha de base (SOUZA, 2005).
>
> 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 referencial (linha de base nacional, ou amazônica no caso) não haverá fundamento para emissão de créditos de REDD, até mesmo na escala dos 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 (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011).

> O protocolo de Quioto estabelece dois mecanismos baseados no projeto: o mecanismo de desenvolvimento limpo (*CDM*) e o implementação conjunta (*JI*). Emissão das linhas de base para projetos de *JI* e *CDM* destinam-se a quantificar "o que teria acontecido" em termos de emissões de gases de efeito de estufa na ausência desses projetos. As emissões reais de projetos *JI* ou *CDM* medem-se sobre as emissões de linha de base e, caso seja inferior, podem gerar créditos de emissão. As linhas de base são, por definição, casos de referência hipotéticos e estão sujeitos a uma série de incertezas (ELLIS; BOSI, 1999).
> Uma vez estabelecidas, espera-se que as regras e/ou as orientações de *JI* e *CDM* no âmbito do protocolo de Quioto possam abranger muitos aspectos dos mecanismos e não apenas a linha de base. As ligações entre a linha de base de emissões e outros aspectos dos mecanismos baseados no projeto, tais como os critérios de elegibilidade e monitoramento e requisitos de informação significam que as regras para um podem influenciar os outros (ELLIS; BOSI, 1999).
> Há diferentes maneiras de se estabelecer uma linha de base de emissões. Idealmente, as linhas de base devem ser confiáveis, transparentes, simples e baratas de se estabelecer. Na prática, na elaboração das linhas de base é possível envolver interrelações entre esses critérios. Além disso, o nível de agregação de linha de base e padronização pode variar muito. As linhas de base podem ser estabelecidas para que elas se apliquem a um único projeto ("projeto especifico"), agregada a um nível de sub-setor ou setor ("multiprojetos") ou estar em uma área entre esses dois níveis de agregação ("híbrido"). A literatura também menciona a possibilidade de linhas de base agregadas por todo o país ("top-down") (ELLIS; BOSI, 1999).

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) comenta sobre a viabilidade técnica de mecanismos de compensações por redução de emissões oriundas de desmatamento e degradação florestal (REDD) e relatam críticas com relação as incertezas sobre a Linha de Base a ser adotada pelo motivo de que para o REDD não há ainda definição sobre a linha de base. 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, narra que 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".

> As linhas de base de projetos específicos são o tipo menos agregado das linhas de base de emissão, e avaliam reduções de emissões geradas a partir de

> um projeto específico (em vez de um grupo de semelhantes projetos). Estas linhas de base são estabelecidas usando os pressupostos de projetos específicos, medições, ou simulações para todos os parâmetros chaves: elas tendem a levar em conta os níveis implícitos de saída mais do que os explícitos (ELLIS; BOSI, 1999).
> Linhas de base multiprojetos visam padronizar os níveis ou as taxas de emissões, e são projetadas para serem aplicáveis a vários projetos de tipo semelhante. Os projetos individuais devem ser medidos através destas linhas de base para ver se são ou não elegíveis para créditos de emissões e, em caso afirmativo, quantos créditos eles podem gerar. As linhas de base multiprojetos podem ser calculadas com base nas suposições sobre as taxas de emissões (e.g. gCO_2/kWh), bem como sobre níveis de emissões absolutos. As linhas de base multiprojetos podem ser altamente agregadas e ser aplicadas para muitos projetos, ou bastante desagregadas e serem aplicadas a um menor número de projetos (ELLIS; BOSI, 1999).

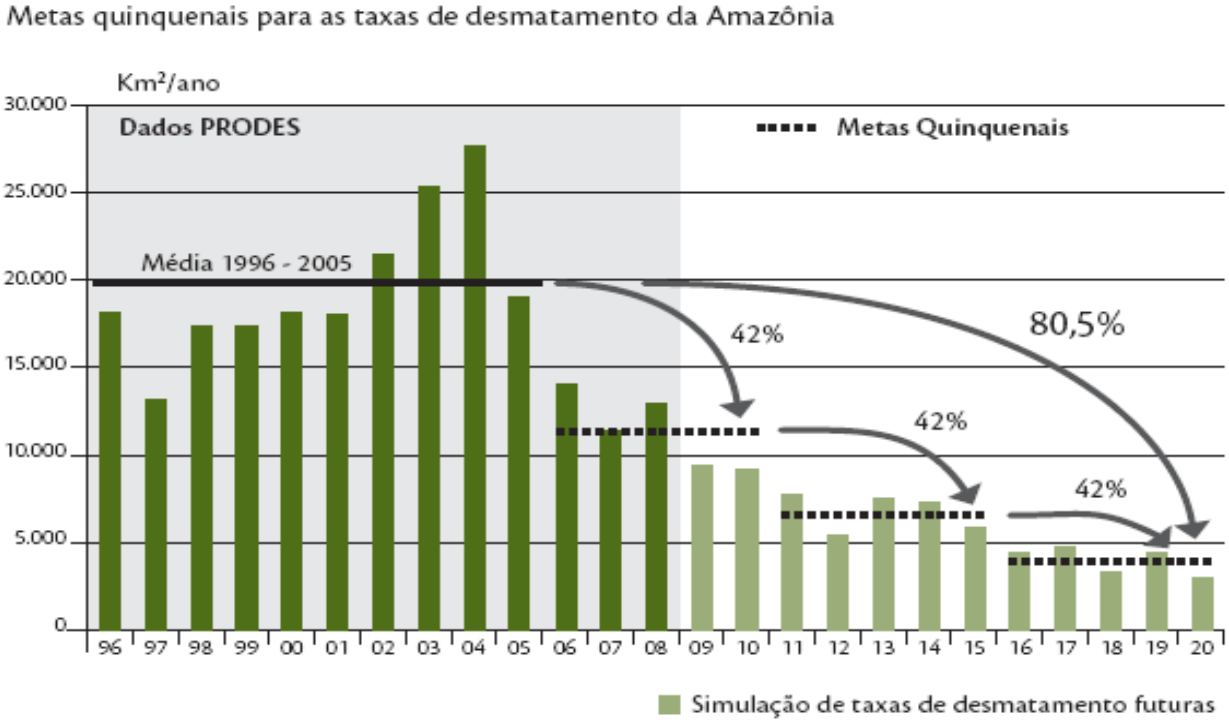
O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) citam que para a linha de base para o Fundo Amazônia, está ligada a captação e para fixar os limites anuais de captação, foi desenvolvido um parâmetro denominado Taxa de Desmatamento Médio (TDM), que é determinado pelas reduções de emissões oriundas do desmatamento na Amazônia brasileira a cada ano. A redução de cada ano de verificação será confrontada com a TDM de períodos de 10 anos que funciona como 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 subseqüentes, 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. Estes incluem o período de tempo que podem acumular créditos de emissão e se ou não a linha de base é fixada no início do projeto (estático) ou revisto durante a operação de projeto (dinâmico). Linhas de base estáticas são previsíveis e reduz a incerteza em torno do nível de créditos gerados a partir de um projeto.

As linhas de base dinâmicas podem refletir melhor as tendências reais, mas teriam de ser reestimatas e novamente relatadas em certos intervalos.
Uma série de análises sugere que as linhas de base dinâmicas podem ser mais apropriadas para alguns tipos de projeto (ELLIS; BOSI, 1999).

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (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 reluzi-las em 80% até 2020, e que a redução dos

índices do desmatamento em 42% em cada período de 5 anos até 2020 foi um conforme compromisso voluntário assumido em Copenhagen. Assim, a linha de base de 1996 a 2005 deverá ser revisada a cada cinco anos conforme a Gráfico 4.

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)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008) lançou um Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), no qual descreve com deve ser o cenário de linha de base para projetos de MDL.

Além disso, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008) cita que para o desenvolvimento de um projeto de MDL, o cenário de linha de base deve ser claramente identificado, sendo este cenário o que ocorreria na ausência do projeto. Isto é, o cenário de linha de base representa o cenário mais provável de acontecer, ou seja, o cenário que enfrenta menos barreiras a sua implantação sendo, portanto, a escolha lógica.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008) trata da estimativa da remoção liquida de gases de efeito estufa na linha de base mostrando que a remoção líquida de GEE por sumidouros na linha de base será determinada pela equação 50:

$$B_t = \sum_{i=1}^{l} (B_{A(t)i} + B_{B(t)i}) * A_i \qquad (50)$$

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).

Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008), 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.

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 da Tabela 3.3.2 do Guia de Boas Práticas do IPCC para *LULUCF*.

Portanto, tanto para o MDL quanto para o REDD é de extrema importância a determinação da linha de base, 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.

Entretanto, para o REDD, podemos falar de algumas formas de se ter a linha de base. Portanto, para o estado do Pará, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) cita o Plano Estadual de Prevenção, Controle e Alternativas ao Desmatamento do Estado do Pará (PPCAD-PA).

As metas de redução contidas no PPCAD-PA tomaram como linha de base inicial a média dos desmatamentos ocorridos no Estado entre 1996 a 2005 (6.196 km^2), segundo dados do Prodes. As metas são as seguintes (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011):

a) 2006 a 2010: redução de 42% sobre o desmatamento ocorrido no período da linha de base;

b) 2011 a 2015: redução de 66% em relação à linha de base inicial ou de 42% em relação ao período anterior (2006–2010);
c) 2016 a 2020: redução de 80% em relação à linha de base inicial ou de 42% em relação ao período anterior.

Portanto, no caso do REDD para o Estado do Pará, há a caracterização de uma Linha de Base tanto histórica, se referindo ao que aconteceu no passado, quanto futura para as reduções até 2020.

> 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 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 km^2 (a mesma operada dentro do Fundo Amazônia e PNMC, anteriormente explicada). Esta linha de base é revisada para baixo 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 (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011).

Na Tabela 9 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.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) se refere 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. Para a primeira Etapa do Modelo I teremos que 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. A partir destas medidas, o volume de emissões evitadas seria obtido subtraindo-se o desmatamento registrado pelo Prodes num determinado ano do desmatamento médio histórico estabelecido pela PNMC como linha de base para um

dado período (cinco anos). O primeiro período, portanto, se estenderia de 2006 a 2010 e utilizaria como linha de base a média de taxa de desmatamento entre 1996-2005 (19.533 km^2). Para os períodos subseqüentes de cinco anos, a linha de base seria revista para baixo, como determinado pelo Plano Nacional sobre Mudança do Clima e pela PNMC conforme o Gráfico 4.

Tabela 9 - Linha de Base estabelecida pela PNMC

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

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

Portanto, segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) as linhas de base para o REDD devem ser as já estabelecidas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) conforme a Tabela 9.

Entretanto, para a primeira Etapa do Modelo II, segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011), 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. 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). Neste caso, considerando o cumprimento das metas estabelecidas no PNMC, o total de emissões evitadas até 2020, como calculado anteriormente (Modelo I), seria de 2,9 bilhões de toneladas de CO_2.

Assim, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) cita dois Modelos que se diferem no que se refere à estrutura de repartição de benefícios provenientes do REDD.

No Modelo II, o foco é dado na contribuição de diferentes categorias fundiárias e não dos estados amazônicos, à redução das emissões por desmatamento. Assume-se, portanto, que diferentes categorias fundiárias exerçam, de maneira diferenciada, influência sobre o desmatamento e a conservação florestal (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011).

5.4.2 Adicionalidade

Conforme o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008), a adicionalidade do projeto deve ser averiguada, sendo a mesma a demonstração de que o projeto de MDL e as reduções de emissão de GEE foram ou são importantes na tomada de decisão de implantação do projeto.

A definição de Adicionalidade para O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011) é a seguinte: consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de CO_2 de forma adicional ao que ocorreria na ausência de uma atividade de projeto ou ação de REDD.

A adicionalidade ambiental de um projeto de JI/MDL pode ser afetada pela abordagem de linha de base (ELLIS; BOSI, 1999).

A adicionalidade ambiental dos projectos individuais é claramente correlacionada com o nível ou rigor da linha de base. O rigor de uma linha de base de emissões varia de acordo com as premissas utilizadas para configurá-la (ELLIS; BOSI, 1999).

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. Isso é complicado, porque envolve um cenário hipotético difícil de demonstrar de forma irrefutável. 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, que é atualizada a cada cinco anos. Esse esquema assegura que só sejam contabilizadas as reduções adicionais do desmatamento em relação a uma linha de base de longo prazo.

5.5 O Mecanismo de Compensação do REDD

[...] a escolha em face da escassez é a preocupação básica da economia. O preço de um bem ou serviço é aquilo que deve ser dado em troca do mesmo. Quando as forças da oferta e da demanda operam livremente, o preço mede a escassez. Portanto os preços transmitem informações econômicas fundamentais (STIGLITZ; WALSH, 2002).

> Em uma economia centralmente planejada, os preços são fixados pelo governo. Em uma economia de mercado, os preços são determinados pela interação entre consumidores, trabalhadores e empresas. Essa interação ocorre nos mercados- conjunto de compradores e vendedores que determinam juntos os preços de cada um dos bens (PINDICK; RUBINFELD, 1994).

Um desafio muito grande é fazer com que se encontre o contexto de mercado para uma atitude de um detentor de uma propriedade rural na Amazônia que explora a terra seja com floresta, capoeira ou atividade produtiva com estoque de carbono vegetal. Além disso, a busca de tornar o carbono estocado nesta atividade de uso da terra como um bem a ser transacionado pelo mercado ainda é muito instável e insipiente.

Uma inquietude ainda maior é fazer com que um pecuarista ou um produtor de soja, por exemplo, vislumbre que uma outra atividade produtiva possa ser rentável ao ponto de, desenvolver parte de sua atividade rural atrelada a conservação com o estabelecimento de uma reserva legal com 80% de área (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965) de sua propriedade, e até deixando de desmatar novas áreas. Assim, minimizar o desmatamento requer a criação de uma lógica, diferente para todos os atores do processo e a garantia dos serviços ambientais para a Amazônia necessita de atenção

para atividades produtivas que estocam carbono, para que estas sejam vistas como mais valiosas do que atividades que degradam e desmatam a terra.

Além disso, outro desafio é como fazer com que os serviços ambientais que um produtor rural garante ao território de sua propriedade possam ser vistos e aceitos em um mercado para que os benefícios da conservação e da preservação sem desmatamento e sem degradação possam gerar renda para que o produtor continue perpetuando a conservação. Portanto, tal benefício pode ser visto pelo mercado de bens e serviços como uma compensação socioambiental.

Para que os serviços ambientais possam ser encarados como commodities e sejam contabilizados para serem inseridos ao mercado, uma forma quantitativa deve ser implementada para esta estimativa ou determinação. Os serviços ambientais da conservação e da preservação são serviços secundários ao serviço ambiental primário relativo a estabilização do clima a partir da absorção do carbono da atmosfera. Desta forma, o mercado criado é o mercado de REDD e o estabelecimento de uma metodologia quantitativa implementada passa pela manutenção das toneladas de carbono estocados nas espécies, como por exemplo, em SAFs de cacaueiro da BR-230 que em sua composição e estrutura conta com espécies frutíferas e essências florestais.

A partir do estabelecimento da relação entre os atores do processo, da contextualização do mercado e da metodologia de execução, o mercado pode ser definido e suas características especificadas, neste caso, o do REDD.

O REDD vem ganhando muita aceitação e a questão deixa de ser *se* e passa a ser *como* o mecanismo será implementado (VIANA, 2009).

5.5.1 O Modelo de Mercado

Podemos dividir as unidades econômicas individuais em dois grandes grupos conforme sua função – compradores e vendedores (PINDYCK; RUBINFELD, 1994).

> Supondo que o modelo básico de concorrência perfeita represente acuradamente os mercados reais, existe uma implicação forte: a economia será eficiente. Os recursos escassos não serão desperdiçados. Não será possível produzir mais de um bem sem produzir menos de outro, e não será possível melhorar a situação de uma pessoa sem piorar a situação de alguma outra. Esses resultados são alcançados sem qualquer atividade governamental (STIGLITZ; WALSH, 2002).
> Praticamente todos os economistas admitem que o modelo de concorrência não é uma representação perfeita das economias reais, mas a maioria ainda o

> usa como um padrão de referencia conveniente [...] um modelo nunca é – nem pretende ser - uma descrição acurada e completa, sendo antes uma forma de destacar aspectos fundamentais da economia e permitindo entender aspectos particulares da economia (STIGLITZ; WALSH, 2002).
> Por definição, um mercado para qualquer produto compreende dois conjuntos independentes de tomadores de decisões: os compradores e os vendedores. Cada um é motivado por diferentes objetivos e cada um é influenciado e também compelido por diferentes fatores. As decisões dos produtores são modeladas através da função oferta, enquanto que a decisão dos consumidores é modelada através da função demanda. Quando considerados simultaneamente, o modelo de mercado resultante de oferta e demanda é determinada a produção e o preço de equilíbrio (CALLAN; THOMAS, 2007).

Em conjunto, compradores e vendedores interagem, originando os mercados. *Um mercado é um grupo de compradores e vendedores que interagem entre si*, resultando na possibilidade de trocas (PINDYCK; RUBINFELD, 1994).

> O principal objetivo do modelo de oferta e demanda é facilitar a análise das condições do mercado e quaisquer mudanças observadas nos preços. Uma observação da movimentação dos preços pode identificar déficits e superávits, a existência de recurso de distribuição desigual, e implicações econômicas de política de governo (CALLAN; THOMAS, 2007).

Presume-se o mercado adotado sendo implantado para tais implicações econômicas de política de governo para que os tomadores de decisão o façam com vários objetivos, o principal objetivo e o mais direto é o de absorver carbono nas espécies dos SAFs de cacaueiro da BR-230, diminuindo a sua concentração na atmosfera reduzindo o balanço da emissão de gases de efeito estufa por atividades de uso da terra sustentáveis substitutas de atividades não sustentáveis, de outro lado como objetivo indireto, o de manter os serviços ambientais na Amazônia, colaborando para a diminuição da persistência de problemas ambientais.

> A teoria econômica sugere que a persistência de problemas ambientais é o resultado de falhas ou quebras no sistema de mercado. Mas claro, para entender por que isso é assim e começarmos a encontrar as soluções, nós devemos ter um bom domínio do processo de mercado, as condições subjacentes de oferta e demanda, e os mecanismos do sistema de preço (CALLAN; THOMAS, 2007).

Stiglitz e Walsh (2002) enumeram os elementos do modelo básico de concorrência perfeita: consumidores racionais, guiados pelo interesse próprio; empresas racionais, maximizadoreas de lucro e; mercados concorrenciais, com comportamento tomador d apenas umae preço.

Hall e Lieberman (2003) citam que a concorrência perfeita é uma estrutura de mercado com três características importantes: 1) Existe um grande número de compradores e um grande número de vendedores. Cada um compra ou vende apenas uma pequena fração da qunatidade total do mercado; 2) Os vendedores oferecem um produto padronizado e; 3) Os vendedores podem entrar ou sair facilmente do mercado.

Para um mercado que opera em concorrência perfeita, pode ser implementado um sistema de equações a partir de dados de série temporal para estimar simultaneamente a oferta e a demanda por cacau.

> Para desenvolver um modelo básico de oferta e demanda, deve ser observado um conjunto de suposições. Primeiro, é suposto um mercado de bens competitivos. O qual é caracterizado primariamente por (1) um grande número de compradores e vendedores independentes sem nenhum controle sobre o preço, (2) um produto homogêneo, (3) a falta de barreiras de entrada, e (4) uma informação perfeita. Segundo, assumimos que o mercado para recursos também é competitivo. Isto implica que a firma individual não tem controle sobre preços de entrada - um resultado que irá simplificar o modelo. Finalmente, assume-se que a saída que está sendo transacionada no mercado seja um bem privado. Um bem privado tem duas características – competição no consumo e excludência. Isto significa que o consumo do bem por uma pessoa impede o consumo de outra e os benefícios do consumo são exclusivos daquele simples consumidor. Esta suposição de um bem privado é crítica para a análise convencional da determinação da quantidade e do preço (CALLAN; THOMAS, 2007).

O mercado de cacau do Estado do Pará apresenta as características da concorrência perfeita nos locais próximos às áreas de plantio, que é o caso da BR-230, uma vez que é grande o número de produtores e de compradores e cada qual transaciona uma pequena parcela do volume total de amêndoas de cacau. Assim, a escala de produção eficiente de um dado produtor é pequena em relação à demanda de cacau em amêndoas de atravessadores, intermediários e empresas exportadoras, ou seja, os produtores e consumidores de cacau atuam como tomadores de preços, uma vez que não têm como influenciar, em suas decisões individuais, o preço de mercado. Para o modelo de concorrência perfeita deve ser levado em consideração que a análise deve ser feita em cima de mercados competitivos.

5.5.2 O Modelo de Oferta

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

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

A curva da *oferta* S nos informa que quantidade os produtores estão dispostos a vender para cada preço que possam receber no mercado. Esta curva tem inclinação para cima porque tanto mais alto for o preço, maior será o número de empresas aptas e desejosas a produzir e vender (PINDYCK; RUBINFELD, 1994).

> 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 [...] A suposição convencional que as empresas são maximizadoras de lucro sugere que um alto preço é um incentivo para as firmas produzirem mais produtos (CALLAN; THOMAS, 2007).
> Uma justificativa mais formal para a Lei da Oferta está baseada sobre o custo da natureza das firmas de como a produção é realizada. Se as empresas produzem mais quantidade de produtos (*Q*), seus custos totais (*CT*) aumentam proporcionalmente mais rápido, significando que a razão da mudança em *CT* (*ΔCT*) para a mudança em *Q* (*ΔQ*) está aumentando. Esta razão é (*ΔCT/ΔQ*) (CALLAN; THOMAS, 2007).
> O Custo Marginal (*CM*) da produção da firma é definido como o custo adicional da produção de uma outra unidade de trabalho do produto. Visto que o *CM* aumenta quando *Q* aumenta, as empresas necessitam cobrar um preço mais alto para cada unidade extra de produção. Assim, a existência do aumento do *CM* apóia a relação positiva preço-quantidade dado pela Lei da Oferta (CALLAN; THOMAS, 2007).

A relação positiva entre o preço ofertado e a quantidade oferecida se mantém completamente. A equação linear associada é, por exemplo, $Q_s = AP + B$, onde Q_s é usado para significar a quantidade ofertada por uma simples empresa, *P* é o preço do bem e *A* e *B* são constantes arbitrárias da equação da oferta. Cada par preço e quantidade satisfazem a equação linear $Q_s = AP + B$. Dado a falta de extremos, a curva de oferta tem a esperada inclinação positiva de acordo com a Lei da Oferta e a subjacente teoria do aumento do *CM* (Custo Marginal). De fato, sob a suposição do mercado de produtos competitivos, a curva de oferta das empresas em curto prazo é a sua curva de *CM* (Custo Marginal).

Generalizando, a oferta pode ser modelada por equações lineares onde temos $Q_s(P)$, em que Q_s é usado para significar a quantidade ofertada por uma simples empresa e *P* o preço do produto ofertado. Cada par preço e quantidade satisfazem a equação linear. Dado a falta de extremos, a curva de oferta tem a esperada inclinação positiva de acordo com a Lei da Oferta. Os coeficientes da função linear são constantes

arbitrárias. Na realidade, toda e qualquer equação com inclinação positiva pode ser uma equação de oferta.

> Para analisar a produção em um nível agregado, a oferta de mercado de um bem privado é encontrada usando o procedimento de soma horizontal sobre as decisões individuais das quantidades das empresas. Entretanto, pelo fato do mercado de produtos é suposto competitivo, o processo de adicionamento no lado da oferta é simples, desde que todas as firmas estejam identicamente sob as mesmas condições de mercado. Porque a oferta (*s*) competitiva da empresa é sua curva de *CM*, a curva de oferta (*S*) do mercado é a soma horizontal das curvas de *CM* das empresas individuais (CALLAN; THOMAS, 2007).

5.5.3 O Modelo de Demanda

> Os economistas supõem que qualquer tomador de decisão – um consumidor, um gerente de uma firma comercial ou funcionários de um órgão de governo – tenta obter o melhor de qualquer situação. Mais especificamente, fazemos a suposição de que os consumidores lutam para maximizar sua utilidade – uma medida quantitativa de seu bem-estar ou satisfação (HALL; LIEBERMAN, 2003).
>
> No lado oposto do mercado, encontramos a relação de Demanda que se refere à resposta do mercado de consumidores, que ajustam suas decisões de compra para maximizar sua satisfação, ou como os economistas chamam de utilidade. Muitos fatores influenciam as decisões dos consumidores. Entretanto, por causa do objetivo da análise de mercado que é a determinação do preço, a função demanda é especificada como a relação entre quantidade demandada e preço, fixando constante todas as outras variáveis que influenciam esta decisão. Os economistas usam a frase latina *ceteris paribus*, abreviada *c.p.*, que significa "fixando constante todas as outras variáveis". Assim, a demanda é definida formalmente como a quantidade de um bem que o consumidor esteja disposto e capaz de pagar para alguns grupos de preços durante algum período de tempo, *c.p.*. a "disposição a pagar" do consumidor refere-se a restrição de renda que limita a escolha do consumidor. A "disposição a pagar" é o valor do beneficio que o consumidor espera receber do consumo da commoditie. De fato, a disposição a pagar, ou preço da demanda, é considerada uma medida do beneficio marginal (*BM*) associado a outra unidade de consumo do bem (CALLAN; THOMAS, 2007).
>
> [...] Desde que o preço de mercado é determinado na margem, e a curva de demanda tem inclinação descendente, este geralmente é o caso em que quase todos os consumidores que fazem compras no mercado pagam menos pelo bem do que estariam dispostos a pagar (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).
>
> As variáveis chave dos economistas que são mantidas constantes quando se especifica a demanda são a riqueza e 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).

A quantidade demandada por um individuo de qualquer produto é a quantidade total que ele decidiria comprar a um determinado preço (HALL; LIEBERMAN, 2003).

> Em condições convencionais, a relação entre quantidade demandada e preço é inversa, que é chamada de Lei da Demanda. Isto significa que um aumento no preço está associado a uma queda na quantidade demandada, *c.p*. Esta é uma teoria altamente intuitiva, porque espera-se que os consumidores encaram o preço como limite de consumo, dado sua restrição de renda (CALLAN; THOMAS, 2007.
> Para muitas aplicações na economia, a decisão coletiva feita por todos os consumidores em um mercado é mais relevante que a de um simples consumidor. Assim, o conceito mais apropriado é demanda de mercado, representando todos os consumidores que estão dispostos e são capazes de comprar a commoditie. A demanda de mercado é encontrada somando todos os valores de demanda individual. Para bens privados, são somadas as quantidades de cada preço de demanda, um procedimento chamado de "soma horizontal" porque a quantidade é convencionalmente plotada em um eixo horizontal. Mesmo que o preço final seja o mesmo para todos os consumidores, as decisões sobre quantidades variam por causa da diferença nos outros fatores tais como renda, riqueza, gostos e expectativas (CALLAN; THOMAS, 2007).

5.5.4 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) considera-se cada lado do mercado separadamente para desenvolver modelos distintos para os tomadores de decisão econômica. Para desenvolver um modelo de determinação de preço, devemos considerar oferta e demanda simultaneamente para fornecer a interação dos consumidores e produtores no mercado. A teoria formal de que preço é simultaneamente determinado pela oferta e pela demanda é uma das mais significantes em toda a análise econômica.

> Juntas, as forças da oferta e da demanda determinam um único preço de equilíbrio (P_E) que neste ponto o sistema de mercado não tem tendência para mudar. No equilíbrio, ou mercado de compensação, o preço (P_E) é o preço para o qual a quantidade demandada pelos consumidores, Q_D, é exatamente igual a quantidade ofertada pelos produtores, Q_S, (isto é, onde $Q_D=Q_S=Q_e$ (CALLAN; THOMAS, 2007).

O equilíbrio de mercado foi elaborado a partir de equações de oferta e demanda que devem ter características como inclinações das curvas e coeficientes angular e linear, onde as curvas de oferta e de demanda são apresentados juntas. Note que o preço de equilíbrio é *Pe*, o único preço para o qual Q_S é igual a Q_D. Este resultado pode ser determinado algebricamente resolvendo simultaneamente as equações do mercado de demanda e do mercado de oferta.

Graficamente, a curva da oferta tem inclinação positiva, isto é, é crescente, de outra forma, a curva da demanda tem inclinação negativa e, portanto é decrescente.

Modelamos o equilíbrio de mercado esquematizando simultaneamente as curvas de demanda de mercado (*D*) e as de oferta de mercado (*S*). Ver que o equilíbrio está mostrado no ponto de interseção entre *D* e *S*, ou onde $Q_D = Q_S$.

Por outro lado, Callan e Thomas (2007) citam que quando o preço de mercado predominante não está no nível de equilíbrio, é o caso em que $Q_D \neq Q_S$, afirma-se que o mercado está em desequilíbrio. Como conseqüência, consumidores e produtores tem um incentivo para fazer algum ajuste que irá restabelecer o equilíbrio de mercado. A motivação para este ajuste e o processo para o qual é implementado depende se há um excesso de demanda ou de oferta.

5.5.5 Eficiência Alocativa

A analise econômica é governada por critérios específicos. Um critério trabalha com a adequada alocação de recursos entre usos alternativos, chamada de eficiência alocativa. Outro critério se preocupa com a economia de recursos usados na produção, chamado de eficiência técnica (CALLAN; THOMAS, 2007).

A eficiência alocativa está diretamente relacionada com a sustentabilidade. Assim não somente os custos ambientais devem ser internalizados como também deve haver alta eficiência alocativa. Além do mais, é mais um processo de sustentabilidade forte, isto é, é a busca da manutenção dos estoques dos recursos independente do capital natural e físico.

Keohane e Olmstead (2007) quando falam da eficiência de mercados competitivos narram que sob certas condições, a saída de mercado maximiza os benefícios líquidos para a sociedade.

Conforme Callan e Thomas (2007) pelo modelo de equilíbrio, o modo como o sistema de mercado utiliza os recursos é critico, não somente para a produção e para o consumo, também para o ambiente.

> Em uma economia perfeitamente competitiva, o custo marginal de um bem é determinado pela curva de oferta do mercado e o beneficio marginal do bem é determinado pela curva de demanda do mercado. Assim, a quantidade de equilíbrio – onde as curvas de oferta e de demanda se interceptam – também

> é a quantidade eficiente – onde o benefício marginal e o custo marginal são iguais (HALL; LIEBERMAN, 2003).
> Os preços ao longo da curva de demanda são medidas do beneficio marginal (*BM*). Cada preço de demanda comunica-se com o próximo valor de consumo, ou marginal, unidade do bem baseado no beneficio adicionado que se espera receber do consumo. No lado da oferta, há uma interpretação marginal, mas aqui os preços são medidos a partir do custo econômico**.** Porque a oferta de mercado em um mercado competitivo é a soma horizontal das curvas de custo marginal (*CM*) das empresas, cada preço de oferta representa o custo adicional dos recursos necessários para produzir outra unidade do bem. Os custos econômicos incluem dois tipos, o explícito que são os custos associados com a produção e todos os custos implícitos baseados no alto valor do uso alternativo de qualquer recurso econômico (CALLAN; THOMAS, 2007).
> Tomando estas duas interpretações juntas temos um resultado importante. No equilíbrio competitivo, o valor empregado a sociedade do bem é equivalente ao valor do recurso para desistir de produzi-lo, ou mais simplesmente, *BM=CM*. Por definição, este resultado assegura que a eficiência alocativa seja alcançada. A eficiência alocativa requer que o valor adicional empregado a sociedade para outra unidade do bem seja igual ao que a sociedade deva desistir do bem para produzi-lo (CALLAN; THOMAS, 2007).
> Começando por uma perspectiva geral, a motivação da tomada de decisão da empresa é a maximização do lucro. Assumimos também que a variável de escolha para os produtores seja o produto final. Assim, todas as empresas independentemente das condições competitivas, escolham o nível de produto que maximize o lucro. O lucro total (π) é definido como a receita total (*RT*) – custos totais (*CT*). A *RT* é simplesmente o valor monetário de venda da empresa, que é igual ao preço de mercado (*P*) multiplicado pela quantidade de produtos vendidos (*q*) (i.e. $TR = Pq$). Os custos totais (*CT*) incluem todos os custos econômicos associados à produção (CALLAN; THOMAS, 2007).
> Para encontrar o q que alcança o maior π possível, a empresa toma sua decisão para margem, levando em conta os benefícios e custos relativos da produção de cada unidade adicional do produto. Da perspectiva das empresas, o beneficio é mensurado por *RT* e o custo por *CT*. Assim, consideram-se as implicações de lucro de cada unidade sucessiva de produto olhando para as mudanças associadas em *RT* e *CT*. Se produzindo uma próxima unidade do produto adiciona-se mais a *RT* do que a *CT*, então a empresa aumenta a sua produção. Se a produção adiciona mais *CT* do que *RT* a produção diminui. Este processo continua até que não haja incentivo para continuar, ou quando a variação da *RT* (ΔRT) do aumento do produto seja igual a variação do *CT* (ΔCT). Neste ponto, uma mudança em π ($\Delta\pi$) para produção do ultimo produto é zero, e qualquer diminuição adicional no produto poderá causar o declínio de π. Neste ponto preciso, π está no seu máximo (CALLAN; THOMAS, 2007).

Conforme Callan e Thomas (2007) este processo de tomada de decisão baseia-se em variações, que é a definição de análise marginal. Neste contexto, as variáveis marginais relevantes são as seguintes:

a) Receita Marginal (*RM*) é a variação da receita total (*RT*) associada com a variação no produto vendido (*q*), ou $RM = \Delta RT/\Delta q$.
b) Custo Marginal (*CM*) que é a variação nos custos totais (*CT*) associada com a variação no produto vendido (*q*), ou $CM = \Delta CT/\Delta q$.

c) Lucro Marginal ($M\pi$) que é a variação no lucro total (π) associado com a variação no produto vendido (q), ou $M\pi = \Delta\pi/\Delta q$.

Assim, a empresa implicitamente toma suas decisões maximizando o lucro de acordo com as seguintes regras:

a) A empresa aumenta a produção no momento em que $RM > CM$ ou no momento em que $M\pi > 0$.
b) A empresa contrai a produção no momento em que $RM < CM$ ou no momento em que $M\pi < 0$.
c) A empresa alcança a produção no momento em que $RM = CM$ ou no momento em que $M\pi = 0$.

> Observe que o nível de produção ótimo da empresa ocorre precisamente no ponto onde o beneficio marginal (*RM*) da empresa de produzi-lo é exatamente compensado pelo custo marginal (*CM*) dos produtos manufaturados. Assim, este resultado valida o uso dos benefícios e dos custos para a margem, isso não necessariamente resulta em uma conseqüência ou resultado de eficiência alocativa. Por quê? Porque a *RM* é o benefício marginal para a empresa, em que necessariamente não deve ser igual ao benefício marginal para a sociedade, medido pelo preço *P*. De fato, o comportamento otimizador da empresa alcança a eficiência alocativa somente se a *RM* for igual ao *P*, e esta igualdade ocorre somente sob condições competitivas (CALLAN; THOMAS, 2007).
> Como um tomador de preço, cada empresa em um mercado competitivo concorda com o preço determinado pelo mercado como é estabelecido. Ela é incapaz de cobrar um preço maior, pois por suposição seus produtos são idênticos a todos aqueles de seus competidores. Assim, se uma empresa vai aumentar o preço, os consumidores poderão não demandar para seu produto e assim comprar de outros ofertadores. Por outro lado, a empresa não tem incentivo para baixar seu preço, porque pode vender tudo o que quer pelo o preço determinado pelo mercado (CALLAN; THOMAS, 2007).

Segundo Callan e Thomas (2007), porque a empresa competitiva não tem controle sobre as condições de mercado estabelecidas, é que ela enfrenta um preço constante. Entretanto, cada unidade adicional vendida aumenta a receita total por uma unidade exatamente igual ao preço do bem. Este produto vendido transforma-se em uma importante igualdade única para os mercados competitivos, denominada, $P=RM$. Assim, embora as empresas competitivas sigam as regras de maximização do lucro, o equilíbrio é marcadamente diferente quando a eficiência alocativa é assegurada automaticamente. É resumido abaixo:

a) Maximização do lucro requer $RM = CM$
b) Mercado competitivo implica $P = RM$

c) Assim, maximização do lucro para empresas competitivas requer $P = CM$

Assim, está claro porque o equilíbrio de mercado competitivo alcança a eficiência alocativa – porque toda empresa naquele mercado independentemente produz onde $P=CM$ (CALLAN; THOMAS, 2007).

5.5.6 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 excedente do produtor. Comparando estas medidas antes e depois da perturbação do mercado, é possível quantificar como a sociedade foi afetada (CALLAN; THOMAS, 2007).
>
> O excedente do consumidor é uma medida do benefício médio acumulado pelos compradores de um bem estimado pelo excesso pelo qual a disposição a pagar sobre o que eles devem realmente pagar, agregado sobre todas as unidades do bem comprado. Note que 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 varias 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 (CALLAN; THOMAS, 2007).
>
> 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? Um único preço de mercado é determinado, todas as unidades são vendidas por aquele preço simples, mesmo para aqueles que o preço de demanda seja muito alto. Consequentemente, os consumidores recebem um benefício excedente para cada unidade adquirida para um preço de demanda que excede o preço de mercado (CALLAN; THOMAS, 2007).

5.5.7 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 actividades de produção/distribuição/consumo (SOUZA, 2000).

Em geral, livres mercados são socialmente desejáveis para alocar bens e serviços. Quando as condições essenciais para a eficiência de mercado não são cumpridas, portanto, é dito que ocorreu uma falha de mercado (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).

Em 1776, Adam Smith na sua obra "A Riqueza das Nações" enunciou o “Princípio da Mão Invisível” que é um princípio econômico que sustenta que em um mercado livre, em que cada agente econômico atua com vista apenas à prossecução dos seus próprios objetivos, é atingida uma situação eficiente que beneficia a todos. O mecanismo de mercado funciona assim como uma "mão invisível" que conduz os agentes econômicos para uma situação ótima do ponto de vista da eficiência. Por isso, a partir deste principio, Adam Smith sustentava e defendia a não intervenção do Estado em questões econômicas ("laissez-faire"), pois este entendia que qualquer intervenção do Estado no mercado traria certamente ineficiências. Hoje, contudo, com os problemas ambientais que surgem como o das 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 à 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 provêem 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. A metáfora de Adam Smith (1937) da “mão invisível” diz que conseqüentemente o mercado emerge ainda que consumidores e empresas sejam guiados para tomar decisões que aumente o benefício da sociedade. Reconhecendo as implicações de

> eficiência e bem-estar de um equilíbrio competitivo, ressalta que ela entra em jogo quando algo impede o processo de mercado que lhe está subjacente (CALLAN; THOMAS, 2007).

Por outro lado, Stiglitz e Walsh (2002) afirma que o modelo básico da concorrência perfeita leva a concluir que os mercados produzem resultados eficientes. Mas há situações em que o mercado falha e não produz um resultado eficiente. Nessas circunstancias, o governo pode ter um papel a desempenhar. Esta justificativa para o envolvimento do governo no mercado é conhecida como abordagem da falha de mercado para o papel do governo.

Portanto, no caso da permanência de um problema ambiental contumaz, há a existência de falhas de mercado que se tornam preponderantes e temos as propriedades da eficiência da mão invisível sendo destruída. Portanto, na persistência do efeito estufa causado pela emissão de gases, por exemplo, e além do mais, no tratamento do caso da constância do desmatamento e da degradação na Amazônia que comprometem os recursos naturais, uma alternativa é a intervenção no mercado para tentar equilibrar ou diminuir uma externalidade, isto é, uma falha de mercado.

> Quando consideramos o fluxo circular no contexto geral no modelo de balanço de materiais, nos tornamos conscientes de como a atividade econômica gera resíduos que podem comprometer os recursos naturais. Entretanto, precisamos de um olhar adicional para entender a economia do porque a poluição persiste na falta de uma intervenção de uma terceira parte (CALLAN; THOMAS, 2007).

Assim, diante de uma externalidade, como a existência do efeito estufa proveniente da emissão de gases, o mercado é incapaz para responder aos problemas ambientais, pois a emissão de CO_2 das chaminés e o desmatamento e a degradação da Floresta Amazônica está imersa em um mercado de falhas que distorce a clássica produção de mercado.

Segundo Diniz (2008 apud MARGULIS, 1996) no caso dos “bens ambientais” (fauna, flora, água, ar...), uma vez que assumem características de bens (males) públicos: consumo “não-rival”, ou seja, a quantidade do bem que uma pessoa consome em nada afeta a quantidade disponível para outros; e/ou não aplicação do “princípio da exclusão” que significa que, um indivíduo não pode ser excluído de consumir um bem, tem como conseqüência, 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 tem que intervir. Entretanto, se a falha de mercado é entendida, os incentivos podem ser restituídos através de uma política de meio ambiente. Conceitualmente, a idéia 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).
> O mercado falha exatamente porque os consumidores não precisam mais revelar suas preferências para poder se beneficiar do consumo do bem. O consumo dos "ativos ambientais", são, por essa via, considerados "*non-market goods*", uma vez que a "disposição a pagar" não é revelada. Ou, melhor dizendo, o sistema de preços na economia de mercado não capta os custos ambientais da atividade econômica. A racionalidade privada não é coerente com a racionalidade social (SOUZA, 1993).

5.5.8 Falhas de Mercado e Problemas Ambientais

> A teoria da Microeconomia clássica prevê uma saída eficiente dada certas 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 ou 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.

5.5.9 O Bem Público e a Qualidade Ambiental

Um tipo de falha de mercado no campo ambiental surge com os bens públicos – os bens que são partilhados por todos e de propriedade de ninguém (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).

> Os economistas distinguem os bens públicos dos bens privados examinando suas características inerentes – não pelo que se eles estejam sob a condição de público ou de privado. Um bem público, ou mais tecnicamente um bem público puro, é aquele que possui as seguintes características: ele é não rival no consumo, e seus benefícios, vantagens ou privilégios são não exclusivos. No outro extremo temos um bem privado puro, que é caracterizado por rivalidade e excludência (CALLAN; THOMAS, 2007).
>
> Uma economia perfeitamente competitiva pode manter uma alocação eficiente de recursos sob algumas condições muito específicas. Sempre consideramos, entretanto, que nenhum dos bens produzidos seja um "bem público". O que é um bem público? Como saberíamos se víssemos um? Um bem público tem duas características. Em primeiro lugar, está a "não rivalidade", no sentido de que o custo marginal de fornecê-lo a um consumidor adicional é zero. Um bem público (puro) pode ser desfrutado por uma pessoa adicional, sem reduzir a satisfação que oferece a outras (MANSFIELD, 2006).
>
> A não rivalidade refere-se a noção de que os benefícios associados ao consumo são indivisíveis, significando que quando o bem é consumido por um indivíduo, outra pessoa não tem o direito de opção de consumo do bem ao mesmo tempo. Expondo de uma outra forma, o custo marginal (*CM*) de um outro compartilhamento no consumo do bem é zero (CALLAN; THOMAS, 2007).

A não excludência significa que não é possível o impedimento de outros no compartilhamento dos benefícios dos bens de consumo (ou proibitivamente custoso em *strictu senso*) (CALLAN; THOMAS, 2007).

Um bem público é também "não excludente", isto é, as pessoas não podem ser impedidas de consumi-lo (MANSFIELD, 2006).

> Embora a não rivalidade e a não excludência possam parecer semelhantes, elas não são idênticas. A não rivalidade significa que o racionamento do bem não é desejado, enquanto a não excludência significa que o racionamento do bem não é possível. De fato, é possível ao bem possuir um destes atributos, mas não o outro (CALLAN; THOMAS, 2007).

Um bem público pode ser definido como aquele que é não rival e não excludente. Nem todos os bens não rivais são não excludentes e nem todos os bens não excludentes são não rivais (MANSFIELD, 2006).

O modelo básico da concorrência supõe que os custos de produzir um bem e os benefícios de vendê-lo vão todos para o vendedor, e os benefícios de receber o bem e os custos de comprá-lo correspondem todos ao comprador (STIGLITZ; WALSH, 2002).

Mas se acreditamos que no processo de mercado faltam os significativos custos extras – externalidades ambientais – não podemos mais considerar o equilíbrio alcançado pelo mercado como eficiente. Deste ponto de vista, a quantidade inadequada de gases que está sendo emitida está sendo produzida com falhas, por exemplo, os gases emitidos do desmatamento e da degradação. Assim como, o carbono estocado por Sistemas Agroflorestais de cacaueiro na BR-230 que substituem áreas desmatadas e degradadas no passado próximo da historia da colonização da Amazônia, não refletem os verdadeiros custos e/ou benefícios, principalmente os relativos à sociedade, aqueles não capturados pela transação de mercado.

5.5.10 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 (CALLAN; THOMAS, 2007).

Como podem as externalidades alterar a eficiência da alocação de recursos em concorrência perfeita? Pessoas que efetuam ações que contribuem para o bem-estar da sociedade sem compensação são suscetíveis de efetuar tais ações menos frequentemente do que seria socialmente desejável.

O fato da diminuição da degradação e do desmatamento na Amazônia ainda perdurar, não se trata de as pessoas não saberem que suas ações de diminuir a degradação e o desmatamento podem contribuir para o bem-estar da sociedade global, mas que para trocar de atividade rural, diminuindo suas receitas e aumentando o custo, deve haver alguma compensação por gerar serviços ambientais que vão beneficiar a sociedade no fornecimento de tal bem-estar. Assim, em duas situações não haverá mudança de atitude, a primeira é se não há compensação, e a segunda é quando a

compensação é menor que o valor da 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 microeconomica diz que o preço é o mecanismo de sinalização mais importante no processo de mercado. O preço de equilíbrio transmite o valor marginal que os consumidores atribuem a um bem e os custos marginais expostos pelas empresas para produzi-lo. Sob condições ordinárias, esta teoria prediz as realidades para o mercado notavelmente bem. Algumas vezes, entretanto, há o fracasso dos preços para capturar os benefícios e custos de uma transação 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 (CALLAN; THOMAS, 2007).

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 sócio-econômico em que ele ocorre.

> As externalidades de interesse dos economistas são as que causam dano a atmosfera, fornecimento de água, recursos naturais, e a qualidade de vida global. O caso clássico é o da externalidade negativa associada com a produção. Por exemplo, o transporte aéreo causa poluição sonora, danos a 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 (CALLAN; THOMAS, 2007).

No caso, por exemplo, da emissão de gases de efeito estufa, temos uma externalidade negativa associada a produção. A emissão de gases, gera efeito estufa, e assim, aumenta a temperatura do planeta e causa danos ao clima global. Este aumento de temperatura global causa danos ambientais irreparáveis que refletem estragos a

ecossistemas do planeta, gerando custos 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 CO_2, 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 beneficio 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 CO_2 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.

> Externalidades ambientais são aquelas que afetam o ar, a água, ou a terra, todas nas quais tem características de bens públicos. O que isso implica é que, apesar de bens públicos e externalidades não sejam o mesmo conceito, elas estão fortemente relacionadas. De fato, se a externalidade afeta um amplo segmento da sociedade e se seus efeitos são não rivais e não excludentes, a externalidade é em si um bem público. Se, entretanto, os efeitos externos são sentidos por um grupo mais restrito de indivíduos ou firmas, então estes efeitos são mais corretamente modelados como uma externalidade (CALLAN; THOMAS, 2007).

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).

5.5.11 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 CO_2 para a atmosfera e o conseqüente efeito estufa é um resultado de falhas de mercado, falhas estas, decorrentes da falta de direitos de propriedade.

O exemplo da proteção ambiental a partir do Teorema de Coase é o caso do estoque de carbono em SAFs de cacaueiro 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 cacueiro. 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 cacaueiro com a garantia de uma compensação financeira não é utilizado.

Para o caso dos SAFs de cacaueiro, é um problema de externalidade positiva em que os agricultores ou produtores rurais de SAFs de cacaueiro 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 carbno dos SAFs de cacaueiro da BBR-230. Portanto, 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 cacaueiro 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. Entretanto, o governo geralmente não é motivado pela eficiência, e quando ele é, é improvável que estes benefícios e custos sejam exatamente determinados. Não obstante, o critério da eficiência é útil para avaliar qualquer que seja os objetivos políticos que

> sejam fixados relativos ao seu nível ótimo. Também, 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).

5.5.12 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 ambientais, 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 politicas baseadas em mercado chamadas de incentivos "baseados em mercado" e que o subsídio é um instrumento que tem abordagem baseada em preço.

> Os economistas são proponentes vigorosos pela abordagem de mercado porque ela pode alcançar uma solução de custo efetivo para os problemas ambientais. Isto pode ser implementado criando iniciativas políticas que permitam aos poluidores responder de acordo com seu interesse próprio. 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).

Os economistas tem a tendência de favorecer os mecanismos de mercado para para favorecer a eficiência do mercado (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).

> A sensibilização dos ganhos associados aos instrumentos baseados em mercado está aumentando tanto no setor privado como no setor público. Consequentemente é importante entender que esta abordagem política alternativa e suas vantagens estão como as mais tradicionais formas de regulação (CALLAN; THOMAS, 2007).

A taxa eficiente (ou *Pigouviana*) "internaliza a externalidade" forçando os produtores e os consumidores a incorporar os custos totais de suas ações em suas decisões (KEOHANE; OLMSTEAD, 2007).

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

> O que distingue a abordagem de mercado da abordagem de comando e controle é o modo no qual os objetivos ambientais são implementados, ao contrário do nível em que estes objetivos são definidos. De uma perspectiva prática, os objetivos baseados em padrões são fixados a um nível socialmente desejável ao invés de a um nível eficiente. Onde a abordagem de mercado se separa da companhia da abordagem do comando e controle está na forma de como tenta atingir aqueles objetivos, isto é, no projeto dos instrumentos políticos (CALLAN; THOMAS, 2007).

Muitos instrumentos de mercado usam incentivos de mercado, por exemplo, cobrança por poluição, sistema de deposito/reembolso, permissão de poluição por sistemas de negociação e subsídios (CALLAN; THOMAS, 2007).

> 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 media, 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).

5.5.13 Externalidades Ambientais

Uma externalidade tem resultado quando as ações de um individuo 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 reclamar sobre elevação dos preços, mas esses preços refletem os custos reais da emissão de gases para a sociedade.

Desta forma, podemos nos aproximar ou atingir o verdadeiro equilíbrio eficiente, ou ótimo social, em vez de continuar no equilíbrio de mercado não modificado e sem internalizar as externalidades.

Portanto podemos internalizar os efeitos da emissão de gases do efeito estufa atacando os seus emissores e suas emissões ou internalizar os benefícios dos serviços ambientais de quem preserva e estoca carbono subsidiando os que mantêm os estoques de carbono nos SAFs de cacaueiro da rodovia Transamazônica.

Independente do mecanismo exato que usamos, a idéia de internalizar os custos ambientais através de algum tipo de taxa é bem apoiada pela teoria econômica. Determinamos o tamanho da taxa por algum processo de valoração ambiental, e que neste caso, a taxa ou subsídio a ser recebido pelo produtor rural será equivalente a quantidade de carbono estocado nas espécies vegetais. Este processo com uma taxa ou subsídio pode ser a melhor ferramenta para realizar o objetivo da proteção ambiental.

Uma abordagem de mercado alternativa para redução dos danos ambientais é pagar poluidores para não poluírem através de um subsídio ambiental. Existem dois tipos principais de subsídios – subsídios para equipamentos por redução de custos e subsídios para redução de poluição (CALLAN; THOMAS, 2007).

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

> Subsídios para equipamentos de redução de custos têm o objetivo de diminuir os custos das tecnologias de redução de poluição. Porque os subsídios são "taxas negativas", eles têm um mecanismo de incentivo similar ao de cobrança da poluição, a não ser que ele remunera pela não poluição ao contrario de penalizar por empreender uma atividade poluidora. Na prática, os subsídios para os equipamentos por redução de custos são implementados através de subvenções, empréstimos a juros baixos, ou créditos fiscais para investimentos, todos estes dão aos poluidores um incentivo econômico para investir em tecnologia de redução (CALLAN; THOMAS, 2007).

Por outro lado, Cardoso (2008) relata que os subsídios se prestam também para estimular um uso melhor da terra por parte de proprietários privados – é quando as subvenções à agricultura estimulam a proteção de áreas ecologicamente sensíveis

situadas em suas propriedades. E também quando países ricos (do hemisfério norte) subsidiam países pobres (localizados no hemisfério sul), cujos recursos ambientais estão sem monitoramento, ofertando-lhes oportunidade de protegerem ecossistemas de importância mundial ali situados.

> De uma perspectiva teórica, os subsídios são usados para internalizar externalidades positivas associadas com o consumo de atividades de redução. Se um subsídio for oferecido para a instalação de um equipamento de redução especifico, a quantidade demandada irá aumentar porque o preço efetivo poderá ser diminuído. Para alcançar um equilíbrio eficiente, o subsidio deverá ser igual ao Beneficio Marginal Externo (*BME*) do gasto do equipamento medido ao nível eficiente do produto. Note que isto é o análogo da Taxa Pigouviana e de fato, este tipo de subsidio é conhecido como Subsidio Pigouviano (CALLAN; THOMAS, 2007).

No caso de REDD, a compensação será criado para internalizar os custos ambientais da externalidade da emissão de gases para a sociedade e do serviço de proteção e conservação dos serviços ambientais. Este subsídio será internalizado dependendo da forma como o REDD será implantado. Pode ser internalizado para os produtores rurais que absorvem carbono em espécies vegetais. Poderá ser até para estocar, para o posterior abatimento da emissão dos poluidores de gases de efeito estufa e outras formas. Esta abordagem de mercado alternativa para redução dos danos ambientais é pagar a quem implantar, manter, conservar e preservar SAFs da Amazônia para estocar carbono em suas propriedades rurais através de um subsídio ambiental.

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

$CMP = f_1(Q)$ (Custo Marginal Privado) (51)

$BMP = f_2(Q)$ (Benefício Marginal Privado) (52)

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

$BSA = f_3(Q_c)$ (Beneficio Socioambiental) (53)

Q_c é a quantidade de carbono em TC estocado anualmente.

$CMS = CMP - BSA$ (Custo Marginal Social) (54)

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

Por causa da 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.

O Beneficio Socioambiental para o REDD surge como alternativa para ser uma medida tangível, pois este benefício externo pode ser estimado ou calculado além de outras variáveis, a partir da quantidade de carbono estocado nas espécies vegetais dos SAFs e encontrada sua curva para aplicação e dimensionamento do subsídio. Este dimensionamento está alicerçado no benefício ambiental do estoque de carbono por SAFS de cacaueiro da BR-230.

No caso dos produtores de cacaueiros implementados em Sistemas Agroflorestais na Amazônia, há uma grande desvantagem econômica comparando-se a outras atividades produtivas, tais como a pecuária e a monocultura da soja que são atividades ainda muito implementadas na Amazônia, mas que não proporcionam serviços ambientais tal qual os SAFs de cacaueiro. Porém, a questão é que não há incentivo econômico para que estes produtores rurais que praticam a pecuária e o cultivo da soja na Amazônia queiram realizar uma mudança para outra alternativa de atividade produtiva que conserve os serviços ambientais, como por exemplo, o sequestro de carbono, porque os benefícios externos de um ambiente que preserva os serviços ecossistêmicos mantendo o nível de rendimentos ou de lucros ainda não são admitidos, nem certificados e muito menos reconhecidos legitimamente pelos que tomam parte do mercado mundial de cacau ou de qualquer outra commodities que por ventura possa a vir contribuir com os serviços ambientais para a Região Amazônica, principalmente para os produtores rurais de Sistemas Agroflorestais de cacaueiro da rodovia Transamazônica.

6 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA, METODOLOGIA E TÉCNICAS

Assim como temos 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. Desta forma, as atividades produtivas que mantêm os serviços ambientais diminuindo a emissão de GEE, geram externalidades ambientais positivas.

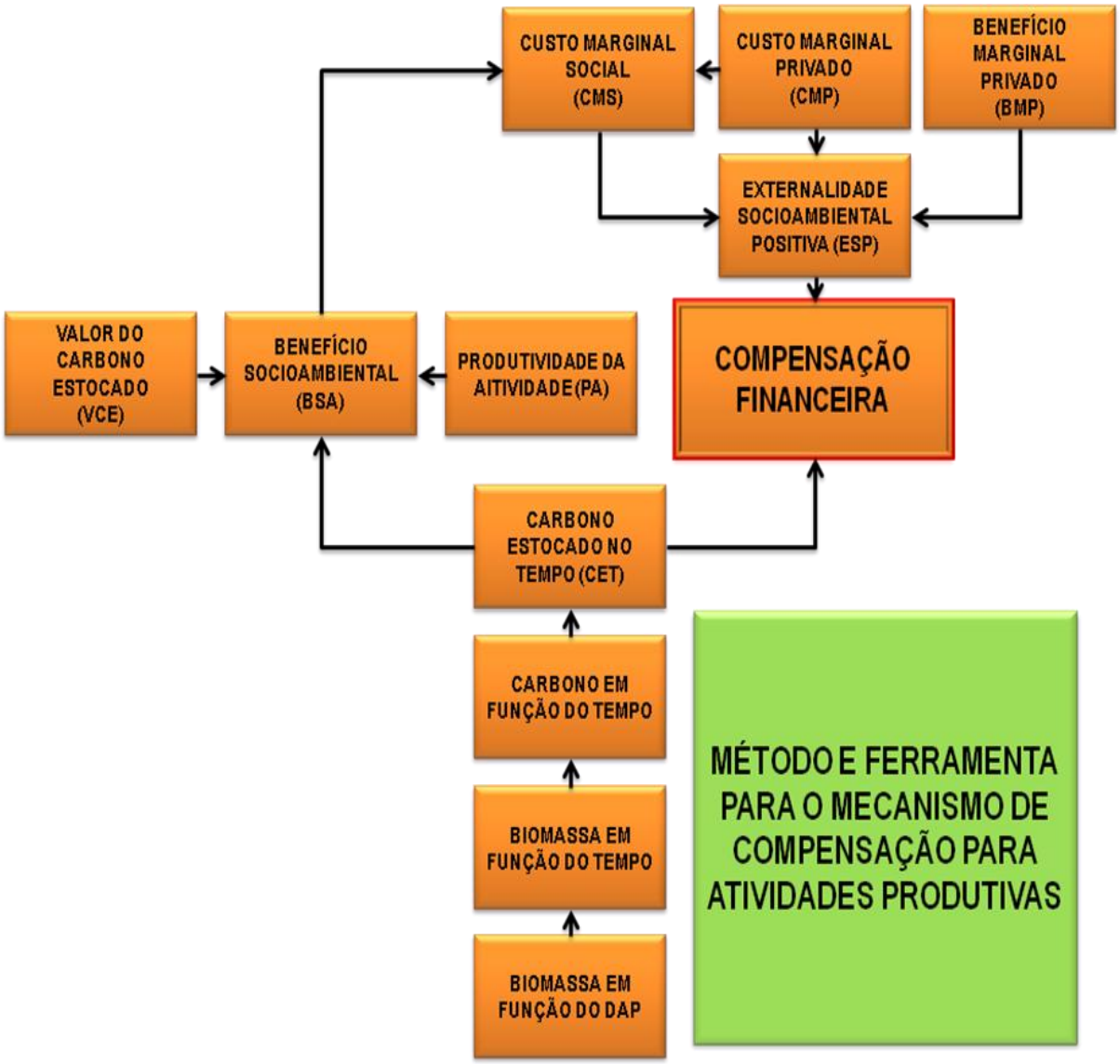
A teoria econômica trata dos custos e benefícios a partir das curvas da oferta e da demanda como os custos e benefícios marginais privados, ou os custos e benefícios de produzir ou consumir mais uma unidade. Portanto, a partir do mercado da oferta e da demanda do cacau pode se inferir os custos e benefícios privados do mercado de cacau do Estado do Pará.

Além disso, a manutenção dos serviços ambientais de um hectare de SAF de cacaueiro gera um benefício socioambiental (BSA). Portanto, deve ser encontrado o valor deste benefício socioambiental da manutenção dos serviços ambientais.

Dispondo dos custos e benefícios privados do mercado de cacau e, além disso, encontrando o valor do benefício socioambiental dos serviços ambientais dos SAFs de cacaueiro, poderemos descobrir o valor do subsídio que é a externalidade socioambiental positiva (ESP) de um hectare de SAF de cacaueiro para a região da BR-230 apresentando desta forma, um mecanismo de compensação para os produtores rurais de SAFs da BR-230. Para todas as equações encontradas no estudo foi realizada regressão dos dados usando 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.

O método para a determinação do mecanismo de compensação financeira para SAFs da região da BR-230 é uma ferramenta que utiliza o Custo Marginal Privado, o Benefício Marginal Privado para encontrar para a atividade produtiva o seu o Subsídio que é a 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).

Fluxograma 1 - Método de determinação da Compensação Financeira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Por outro lado, para a estimativa do Carbono Estocado no Tempo é necessário encontrar a Biomassa em função do DAP. De posse da informação de Biomassa em função do DAP para todas as árvores do SAF encontra-se a Biomassa em função do tempo através das equações alométricas de Biomassa em função do tempo. Portanto 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 Carbono em função do tempo encontra-se o Carbono Estocado no Tempo. Finalmente, a partir dos valores de Carbono Estocado no Tempo e da Externalidade Socioambiental Positiva há possibilidade de se

encontrar o Mecanismo de Compensação para atividades produtivas, conforme o Fluxograma 1 que demonstra todo o diagrama que contem não somente o procedimento para se encontrar a Compensação Financeira, mas também para a análise do método que deve ser usado como uma ferramenta para se encontrar o Mecanismo de Compensação para atividades produtivas, especialmente os SAFs de cacaueiro da BR-230.

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

6.1 BIOMASSA E CARBONO DOS SAFS DA BR–230

A implantação e manutenção de uma atividade produtiva, como os SAFs de cacaueiro 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, como por exemplo, os SAFs de cacaueiro da região da Transamazônica. 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 cacaueiro, que é um elemento ou fator intangível, passa pelo questionamento de como atribuir um valor monetário para os serviços ambientais dos SAFs de cacaueiro. Desta forma, temos que encontrar um fator ou uma qualidade dos SAFs de cacaueiro que possa ser contabilizada ou computada 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 estabelecido a partir da capacidade ou quantidade de carbono estocado por ano por um hectare de SAF de cacaueiro ou a Taxa de variação do Estoque de Carbono no Tempo e, pode ser entendido conforme método mostrado a seguir.

Todas as equações encontradas mostram a tendência do fenômeno da relação entre a biomassa ou o carbono estocado em função do Diâmetro a Altura do Peito (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 dos SAFs de cacaueiro da BR–230 foram inferidos três talhões de SAFs de cacaueiro 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 m^2, e inicialmente, como área total de avaliação de biomassa e carbono foram selecionados seis parcelas com cerca de 0.2 hectar no Talhão Paulo Júlio, seis parcelas com cerca de 0.2 hectar no Talhão D6 e, 10 parcelas de cerca de 0.2 hectar no Talhão D3 perfazendo uma área de cerca de 4,4 hectares no total, com o inventário de mais de 4700 árvores de cacaueiro 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 55.

$$N = n_i \,/\, \text{ha} \tag{55}$$

A abundância encontrada para todas as amostras foi em média de 930 cacaueiros/ha e de 64 plantas sombreadoras/ha para o espaçamento entre cacaueiros de 3x3m e entre plantas sombreadoras ou essências florestais de 12x12m. Tal espaçamento entre cacaueiros e essências florestais é um dos menores encontrado na região, e desta forma pode ser considerado agrupado, sendo o que mais tem potencial para acumular biomassa por hectare quando se leva em consideração a densidade de árvores por hectare.

Para os Talhões estudados foi identificado o ano de implantação e a localização segundo o que segue: 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).

O fato de se usar para a determinação de biomassa e carbono a área dos três Talhões não foi planejado de antemão, mas tendo que ser a forma escolhida pela situação de não poder abater árvores de outros talhões da CEPLAC de Medicilândia,

isto é, foi ocasionada pela limitação de corte e derrubada de cacaueiros de outros Talhões da Estação da CEPLAC de Medicilândia. Além disso, pelo fato dos produtores rurais terem áreas plantadas em produção, com pouca logística para a realização do trabalho de campo e muitas vezes sem autorizar o abate das árvores e também por não ter o controle de dados dos SAFs como, por exemplo, a informação de idade, não foi possível selecionar e abater árvores de plantações de produtores rurais, pois estavam em uso para o retorno econômico para eles.

Além disso, a escolha da Estação da CEPLAC de Medicilândia para se realizar o levantamento, foi por conta de se selecionar SAFs com características representativas de boas práticas e bons tratos culturais para a região, como por exemplo: controle de plantas daninhas, calagem e adubação, combate às pragas, manejo adequado, e etc, garantindo desta forma, o bom trato e a qualidade das espécies dos SAFs de cacaueiro, o que é requerido para todos os agricultores da região para se ter uma boa produtividade. Além disso, a Estação da CEPLAC possui equipamentos para a realização da derrubada das árvores e suporte aos trabalhos, como por exemplo, motosserra, balança, cavador, enxada, peneira, combustível e, oferece também alojamento e refeitório para os pesquisadores, estagiários e bolsistas, que no total a equipe de campo foi composta por catorze pessoas fixas.

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

Foram contabilizados em cada parcela de SAF estudado cerca de 930 cacaueiros/ha e foram encontradas em média somente 64 plantas sombreadoras/ha nas parcelas dos SAFs. Desta forma, esta quantidade foi utilizada para o cálculo de biomassa e carbono no tempo para os SAFs da BR–230.

Inicialmente, no inventário florestal com uma equipe de 16 pessoas foram medidos os DAPs de todos os cacaueiros e das plantas sombreadoras ou essências florestais para todas as parcelas de cada Talhão da CEPLAC para conhecer a distribuição diamétrica dos Talhões de idades diferentes. Após a medida dos DAPs, foi realizada a contabilização destes DAPs em cada parcela de cada Talhão, isto é, 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 dependendo se a quantificação era para o cacaueiro ou para as essências florestais: para as essências florestais foi utilizado o método indireto e para os cacaueiros o método direto e posterior criação das equações alométricas para estimativa de volume, biomassa e carbono dos cacaueiros dos SAFs.

Portanto, 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 reflete e representa o fenômeno restrito a 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, foi inicialmente encontrado classes de diâmetro e respectivas frequências da distribuição diamétrica de cada parcela dos Talhões em classes de amplitude que dividia o total da largura de faixa em 3, 4 e 5 classes e. para cada classe uma árvore de cacaueiro foi abatida . Para 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 curva normal ou gaussiana. Como para toda largura de faixa houve esta tendência, selecionou-se dentre todas as que tivessem a maior classe de amplitude que foi a com três classes de diametro. Apesar da escolha por diâmetro dos cacaueiros que seriam abatidos, estes foram selecionados randomicamente dentro da estratificação para o tamanho ou valor do diâmetro selecionado. As árvores de cacaueiro foram derrubadas e pesadas, sendo

feita em seguida a extrapolação da avaliação para a área total de interesse para um hectare. Com base nos dados do inventário florestal realizados, os diâmetros das árvores de cacaueiro foram agrupados em classes e foi selecionada uma árvore de cada uma das classes diamétricas obtidas no inventário florestal, de forma que toda amplitude dos dados fosse contemplada.

Para dar continuidade ao método, para as árvores de cacaueiro 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 cacaueiros, 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 cacaueiros 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 cacaueiro foi de 12,7 cm, de outra forma, para o Talhão D6 a média de todos os DAPs de cacaueiro foi de 15 cm e de outro lado, para o Talhão D3 a média de todos os DAPs de cacaueiro 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 cacaueiro foram suficientes para cada classe, inclusive foi usado apenas uma árvore para cada classe que no total foram três classes por Talhão.

Para o cacaueiro, há uma quantidade que bifurca e trifurca, portanto, para as árvores de cacaueiro 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 conforme a equação 56 abaixo para encontrar o diâmetro geral da árvore:

$$DAP = \sqrt{4A/\pi} \tag{56}$$

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

Para cada árvore de cacaueiro abatida para os 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 cacaueiros 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 cacaueiro abatido e também para cada cacaueiro abatido foi retirada amostra de oitenta frutos e medido a sua massa verde. Somente para uma árvore de cacaueiro do Talhão Paulo Júlio de DAP=13,1 cm foi retirado a raiz 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. Esta operação com a raiz de uma única árvore de cacau demandou um dia inteiro, o que fez com que não fosse possível realizar a medida de biomassa de outras árvores por conta da demanda de tempo. Também foram retiradas amostras das raízes. Como todo o abate dos cacaueiros e corte de seus compartimentos foi realizada em cima de lona, para cada compartimento, a serragem produzida no corte foi levada a balança para compor a massa verde do seu respectivo compartimento.

Para estimar a densidade dos cacaueiros, discos de amostra de seções diferentes dos compartimentos fuste e galhos dos cacaueiros foram retirados. As amostras de fuste, galhos, folhas e raízes de cada árvore abatida foram levadas a laboratório. Fearnside (1986) cita que a condição de umidade usualmente se refere a amostra de madeira imersa na água em laboratório ate 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 "ρ *amostra"* de todas as amostras em gramas por centímetro cúbico ou g/cm^3, conforme a equação 57.

$$\rho\, amostra = \frac{massa\,\text{verde}}{volume} \tag{57}$$

Desta forma, encontramos três valores *j* de densidade "*ρ amostra"* para cada compartimento. A densidade *ρ* dos compartimentos foi encontrada a partir da média aritmética das densidades das amostras para cada compartimento, mostrada na equação 58.

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^{3} \rho\, amostra_j}{3} \tag{58}$$

Todas as amostras foram levadas a estufa especial para secagem de plantas por três dias (folhas a uma temperatura aproximada de 70^{o}C e raízes, galhos e fustes a aproximadamente 100^{o}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 "*ρ básica amostra"* de todas as amostras em gramas por centímetro cúbico ou g/cm^3, equação 59.

$$\rho \text{ básica } amostra = \frac{massa\,\text{seca}}{volume} \tag{59}$$

A partir da equação 59 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 60.

$$\rho \text{ básica} = \frac{\sum_{j=1}^{3} \rho \text{ básica } amostra_j}{3} \tag{60}$$

Para fustes, galhos, folhas e raízes, foram encontradas a biomassa para todos os compartimentos das árvores de cacaueiro 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, chamada de biomassa.

Para se encontrar a estimativa da biomassa dos cacaueiros 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 61 representa a alometria do Talhão a partir das parcelas, em que temos a Biomassa em função do DAP.

$$\ln B = (a_1 + b_1\, dap^{0.5}) \quad (61)$$

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.

O objetivo de se determinar ou estimar a biomassa dos SAFs de cacaueiro da BR-230 está no fato de se poder estimar o carbono estocado nos SAFs.

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 cm ≥ 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, usamos uma ou outra equação. Tal método foi utilizado por conveniência de não se poder utilizar o método direto, pois os SAFs estão em produção e necessitando de árvores sombreadoras, também porque a derrubada de uma árvore de essência florestal iria demandar mais tempo e logística, inclusive iria ocasionar a destruição de parte do SAF implantado. Portanto, existindo equações alométricas que dão conta da biomassa e do carbono de árvores de essências florestais, decidimos estimar a biomassa para as essências florestais dos SAFs da BR-230 a partir destas equações alométricas usadas. O método é aprovado e sugerido pela *UNFCCC/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 cacaueiro e para as essências florestais, para cada Talhão foi encontrada a biomassa de cada árvore de cacaueiro e de essência florestal.

Para cada uma das árvores das parcelas do Talhão dos SAFs, foi encontrada a biomassa individual e, portanto, a soma da biomassa de todas as árvores de cacaueiro de cada parcela gerou a biomassa total, isto é, após extrapolação a partir da abundância para as parcelas, foi determinada a biomassa total.

A biomassa das árvores de cacau para um hectare de cada Talhão gerou a biomassa total dos cacaueiros 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 62 abaixo com a_2, b_2 e c_2 coeficientes da equação de regressão.

$$Bcacau = a_2 + b_2\ \mathrm{t}^2 + \mathrm{c}_2\ \mathrm{t}^{0.5} \tag{62}$$

De outra forma, usando as equações alométricas para as parcelas das essências florestais foi encontrada a biomassa individual e, portanto, a soma da biomassa de todas as árvores de essências florestais das parcelas de cada Talhão gerou a biomassa total das árvores de essências florestais para os três Talhões com idades diferentes.

Para encontrar a Biomassa em função do tempo para as essências florestais *"Bessencias"* foi realizada regressão usando o método dos mínimos quadrados. A equação 63 mostra a estimativa de Biomassa das essências florestais com a_3, b_3 e c_3 coeficientes da equação de regressão.

$$Bessencias = a_3 + b_3\ \mathrm{t} + c_3\ \mathrm{e}^{\mathrm{t}} \tag{63}$$

O conjunto da equação 62 da biomassa total dos cacaueiros com a equação 63 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 cacaueiros em função do tempo foi utilizado para o conteúdo de carbono correspondente a 50% da massa seca, isto é, para esta consideração, metade da biomassa é composta por carbono e, assim, encontrando a função Carbono Total dos cacaueiros.

Da mesma forma, para a obtenção as estimativas do carbono estocado nas árvores de essências florestais também foi utilizado para o conteúdo de carbono correspondente a 50% da massa seca.

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

6.2 EXTERNALIDADE SOCIOAMBIENTAL DOS SAFS DA BR-230

De outra forma, para atribuir um valor aos serviços ambientais da produção de cacaueiro em SAFs que não só trás benefícios para o solo, para o ciclo da água e outros, mas também proporciona a absorção de carbono na região, é estabelecido um Benefício chamado de Benefício Socioambiental ou 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 do cacaueiro em SAFs para cada ano. Assim, o Estoque de 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 64.

$$BSA = \frac{CET\ \mathrm{VCE}}{PA} \tag{64}$$

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 cacaueiro. 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 (CE*T*), que para o nosso estudo está estabelecido para um período de trinta anos, representado pela equação 65.

$$CET = \frac{\partial C}{\partial t} \tag{65}$$

$$CET = a_4 + b_4 t^2 + c_4 e^t + \frac{d_4}{t^{1.5}} \tag{66}$$

A equação 66 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

67. 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*.

$$TACS = \frac{\int_0^t f(t)dt}{t} \quad (67)$$

Usando a equação 67 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 cacaueiro da região da Rodovia Transamazônica, foi usada a somatória dos estoques de carbono *EC* dividido pelo ciclo em anos, conforme equação 68. Desta forma, estas duas variáveis podem ser comparadas para controle do método.

$$TACS = \frac{\sum_1^t EC}{t} \quad (68)$$

Para a produtividade da atividade *PA* dos SAFs de cacaueiro para a Amazônia, Almeida et al. (2010) apresentam a produtividade para Cacau x Essências. Na Tabela 9 são mostrados os níveis de produtividade do SAF Cacau x Essências.

Tabela 10 - Níveis de produtividade estimados para espécies consortes em SAFs

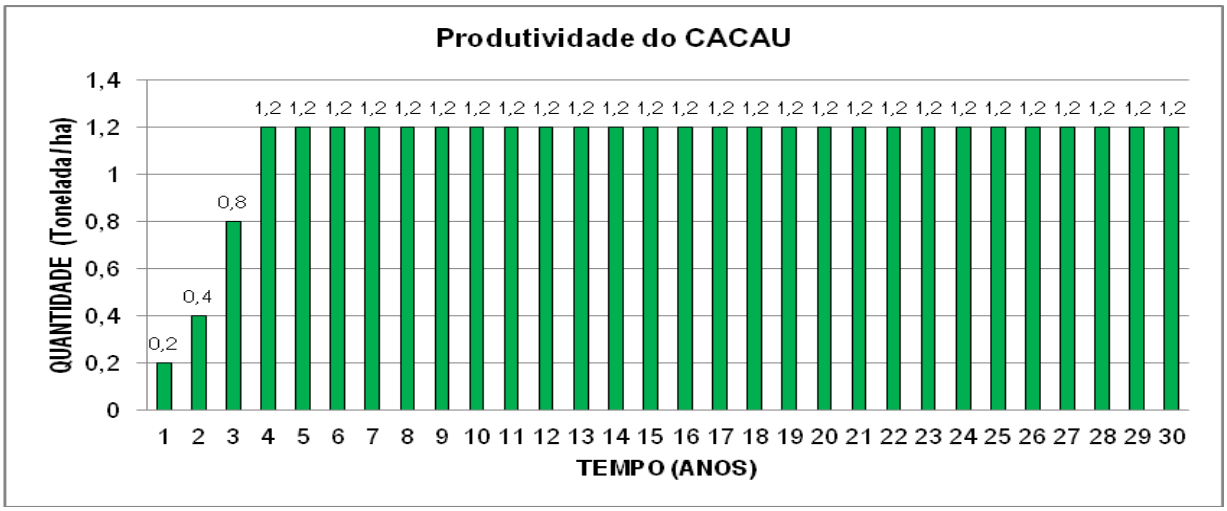
Idade pós-plantio Cacau x Essências (anos)	1	2	3	4	5	6
Tonelada de cacau seco/há	0	0	0,2	0,4	0,8	1,2

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

Almeida et al. (2010) narram que os níveis de produtividade apresentados na Tabela 10 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 cacaueiro para a BR-230 (ver Gráfico 5).

De outro lado, atribuímos vários valores para compor o Valor do Carbono Estocado por Tonelada ou *VCE*, dentre os quais os valores de US$ 3.67/tC, US$ 18.35/tC, US$ 36.7/tC e US$ 73.4/tC representam valores para a tonelada de carbono. Portanto, qualquer Valor do Carbono Estocado por tonelada poderia ser estabelecido, pois este valor pode variar de acordo com o valor da tonelada do carbono.

Gráfico 5 – Produtividade dos SAFs de Cacaueiro.



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

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 69.

$$EC_n = \sum_{i=1}^{n} EC_i \tag{69}$$

com n=1,2,3...,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*). Para cada Valor do Carbono Estocado por Tonelada foi encontrada uma equação para o BSA que foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados em que a variável independente é Q e está em tonelada.

De outra forma, 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.

6.3 POLÍTICA DE COMPENSAÇÃO SOCIOAMBIENTAL PARA OS SAFS DO PARÁ

Uma alternativa de mercado para valorizar os serviços ambientais de uma atividade produtiva é pagar produtores por manter serviços ambientais, isto é, 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 cacaueiro para a rodovia Transamazônica.

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

> Sabe-se que muitas situações econômicas do mundo real 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 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).

Além disso, 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 viesados e inconsistentes, gerando o que se conhece por viés de equações simultâneas.

Assim, não foi utilizada 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 como o termo de erro.

> O conjunto das relações que fazem parte do modelo simultâneo é denominado de sistema. E 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 obterem as estimativas consistentes dos parâmetros de modelo estrutural de equações simultâneas, devem-se obter as formas reduzidas para as equações do modelo simultâneo. Uma equação é considerada na forma reduzida quando a variável endógena é estabelecida como função de todas as variáveis predeterminadas do modelo (SANTANA, 2003).

Para a demanda de mercado para o cacau utilizamos a proposição ou estrutura de modelo de demanda da equação 70.

$$QCAC_t^D = \beta_{d0} + \beta_{d1} PCACC_t + \beta_{d2} RENDA_t + \beta_{d3} VD_t + \beta_{d4} PACAI_t + \varepsilon_{dt} \quad (70)$$

De outra forma, para a oferta de mercado para o cacau utilizamos a seguinte proposição ou modelo de oferta (equação 71).

$$QCAC_t^O = \beta_{o0} + \beta_{o1} PCAC_t + \beta_{o2} SRURAL_t + \beta_{o3} CRLAV_t + \beta_{o4} QCAC_{t-1} + \varepsilon_{ot} \quad (71)$$

No equilíbrio temos a igualdade das equações 70 e 71 o que resulta em uma quantidade de equilíbrio $QCAC_tEQU$ 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. Além disso, para o modelo estimado as avariáveis exógenas e as variáveis instrumentais são $PCACC_t$ é o preço do cacau na demanda 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 é apresentado 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 tem 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 idéia 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 [...] e 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).

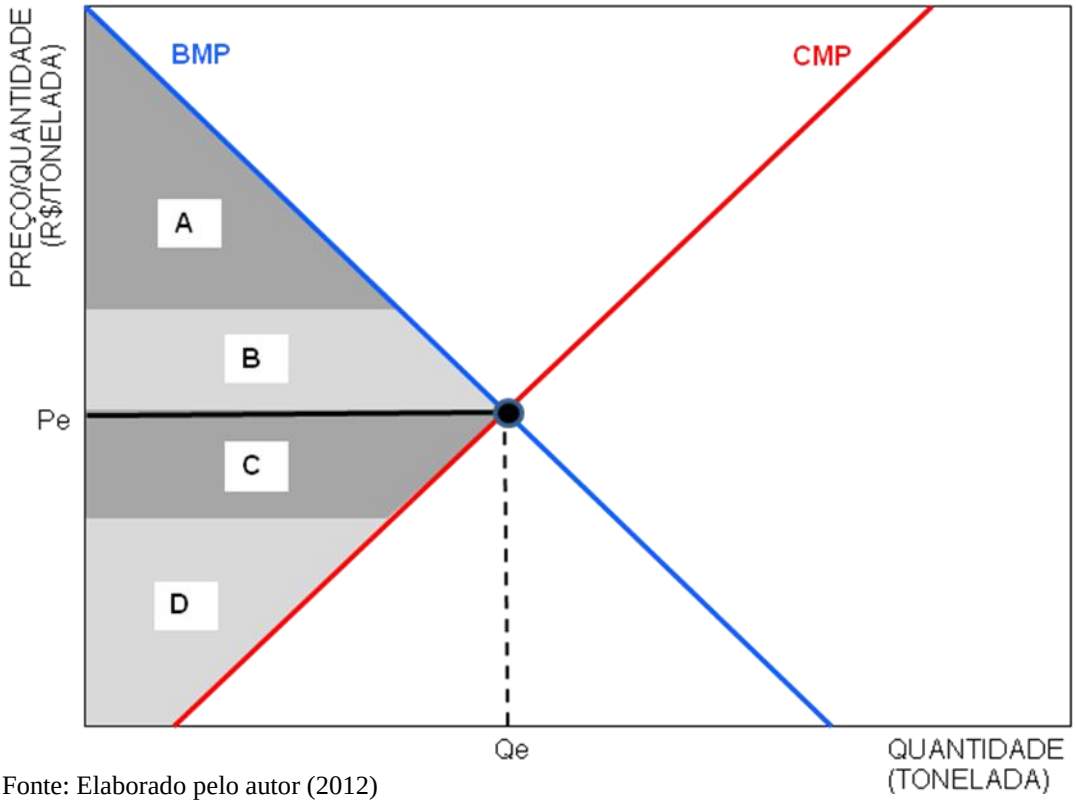
Assim, de posse das equações de oferta e demanda do mercado de cacau e, em condições de mercado competitivo, foi encontrada a relação entre o preço e a quantidade de cacau tanto para a oferta quanto para a demanda com a substituição do valor médio de todas as outras variáveis nas equações 70 e 71. Assim, 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.

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 *Qe* (ponto de coordenadas *Qe Pe*) 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 *Pe*, 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*.

Gráfico 6 – Benefício Marginal Privado e Custo Marginal Privado



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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 beneficio total obtido pelo consumo de um determinado produto, subtraído do custo total de sua aquisição (PYNDICK; RUBINFELD, 1994).

O excedente do produdor, por sua vez, é representado pela área sombreada situada abaixo do preço de equilíbrio do mercado *Pe* 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 72.

$$CMS = CMP - BSA \tag{72}$$

Já foi visto que o equilíbrio competitivo é atingido quando *CMP=BMP* onde a quantidade de (equilíbrio) de mercado é *Qe*. Entretanto, para o caso de SAFs de cacaueiro da BR-230 o equilíbrio (eficiente) de mercado ocorre quando *CMS=BMP*, isto é, para a quantidade *Qs* (ponto de coordenadas *Qs* e *Pb*) 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 consumidor é *Pb* e a quantidade que será adquirida pelos consumidores é informada pela curva do *BMP* correspondendo ao preço por tonelada *Pb*.

Do mesmo modo, para os produtores rurais de SAFs de cacaueiro da BR-230 o preço líquido por tonelada que receberão é *Ps*. Além disso, 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: *Qs*.

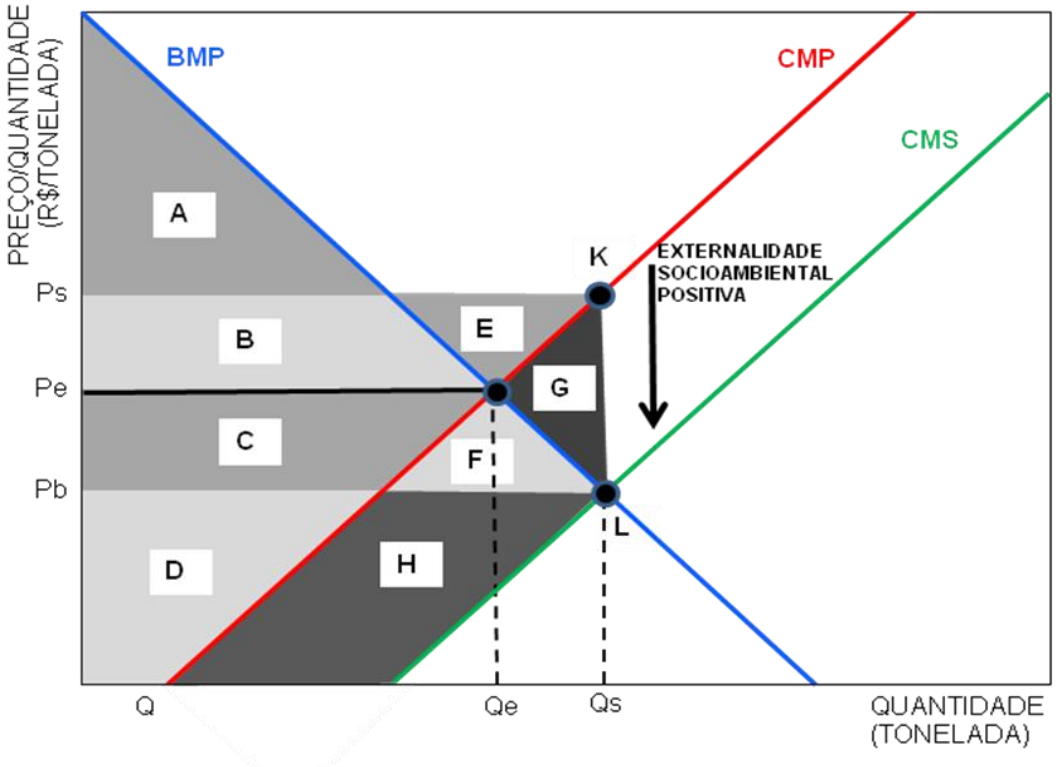
Portanto, como apenas uma quantidade é comprada e vendida, esta corresponde ao preço por tonelada *Pb* conforme a curva do *BMP* e ao preço por tonelada *Ps*

conforme a curva do *CMS*, de tal forma que a diferença entre *Ps* e *Pb* é 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).

Assim, com o subsídio (Externalidade Socioambiental Positiva), temos não somente um incremento no excedente do consumidor (composição da área sombreada *C* com a área sombreada *F*, isto é, *C+F*) quanto um incremento no excedente do produtor (composição da área sombreada *B* com a área sombreada *E*, isto é, *B+E*). Além do mais, o benefício social líquido, isto é, o benefício para a sociedade do estoque de carbono ou mecanismo de compensação é composto pela área sombreada *F+H*.

Gráfico 7 - Subsídio do Mecanismo de Compensação do REDD



Fonte: Elaborado pelo auto. (2012)

Desta forma, foi dimensionada a Externalidade Socioambiental Positiva para a atividade produtiva de SAFs de cacaueiro 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 cacaueiro 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.

6.4 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 o 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 cacau na Amazônia utilizamos a definição de VPL a partir da seguinte expressão 73.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^{n} \frac{R_t - C_t}{(1+k)^t} \tag{73}$$

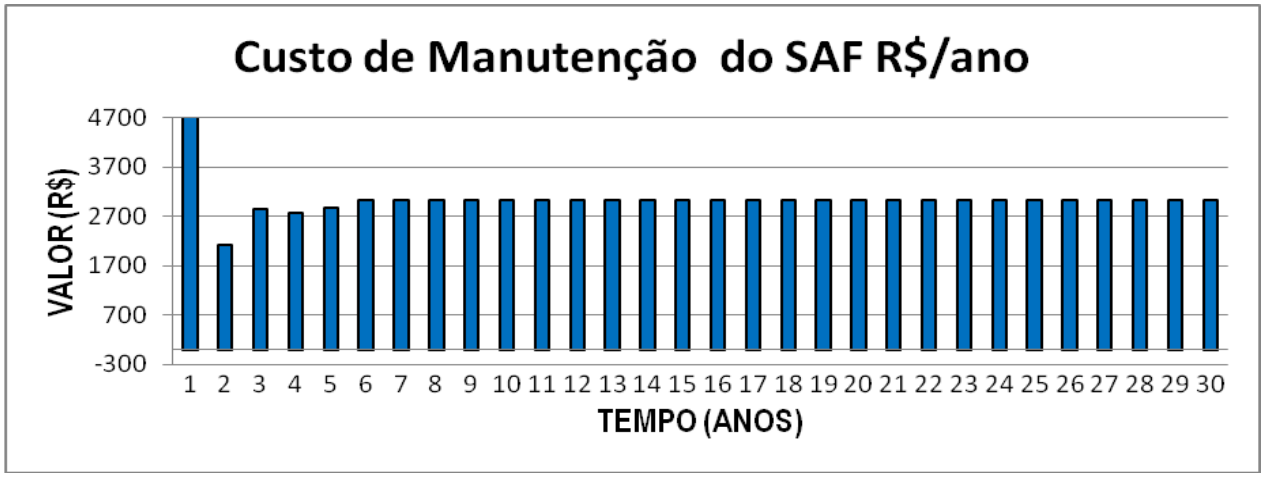
em que VPL é o valor presente líquido, I é o investimento inicial, R_t são as Receitas no período t em anos, C_t são os custos no período t em anos, n é a duração do projeto em t anos e r é a taxa de desconto.

Portanto, a partir dos dados de Custos e Receitas para SAFs de Cacau x Essências há 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 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 cacaueiro 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.

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

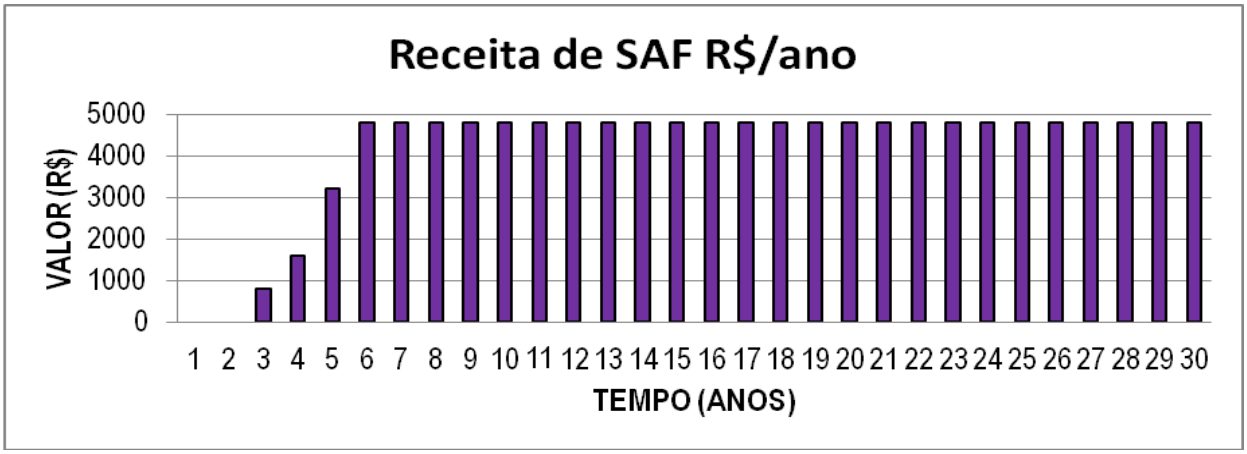
Gráfico 8 – Custos Nominais de Implantação e Manutenção de SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos.



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

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

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



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

7 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 cacaueiro da BR-230.

A implantação e manutenção de uma atividade produtiva, como os SAFs de cacaueiro na região da Transamazônica tem possibilidade de conservar e manter os serviços ambientais da região gerando benefícios externos e 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, como por exemplo, os SAFs de cacaueiro da região da Transamazônica.

Porém, para encontrar os benefícios dos serviços ambientais dos SAFs de cacaueiro, que é um elemento ou fator intangível, passa pelo questionamento de como atribuir um valor monetário para os serviços ambientais dos SAFs de cacaueiro. Desta forma, temos que encontrar um fator ou uma qualidade dos SAFs de cacaueiro que possa ser contabilizada ou computada 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 cacaueiro ou a Taxa de Variação do Estoque de Carbono no Tempo.

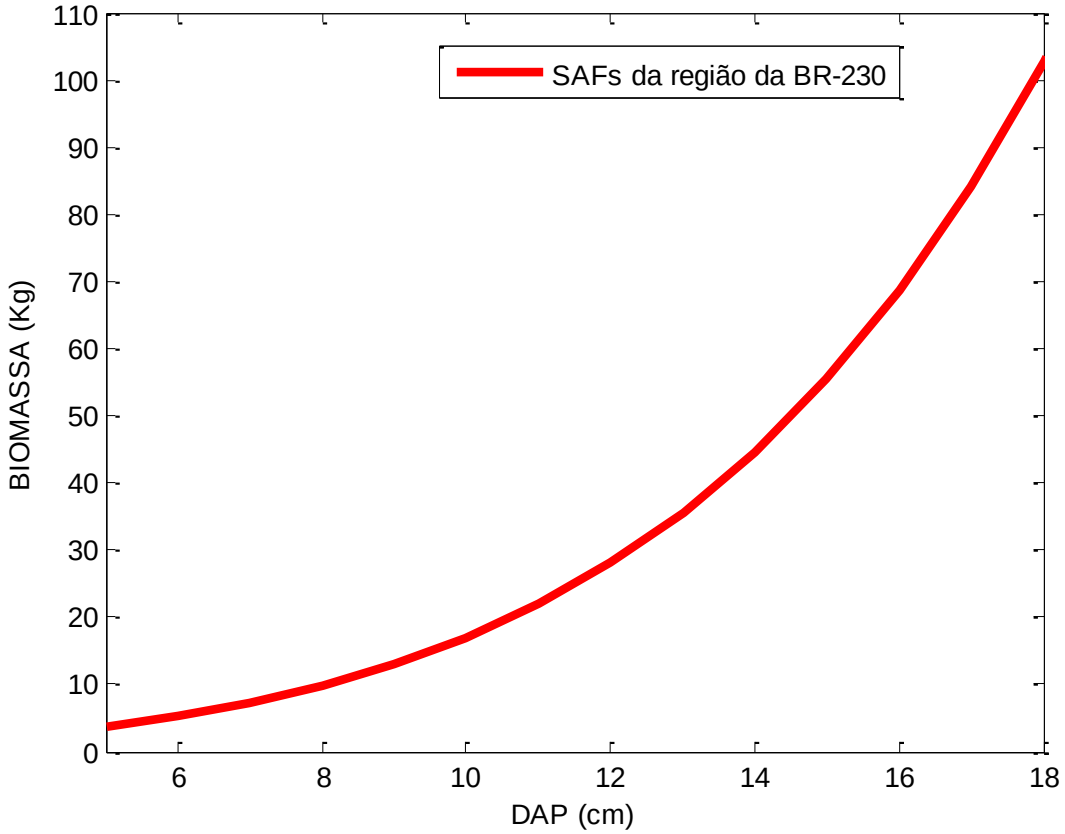
Todas as equações encontradas mostram a tendência do fenômeno a partir de regressão usando o método dos mínimos quadrados. Maior coeficiente de determinação ou R^2 foi o critério estatístico de seleção do melhor modelo para as equações com intervalo de confiança de 90%.

Para o Talhão Paulo Júlio com idade de 10 anos, a equação 74 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.

$$\ln B10 = (-2.4321235 + 1.6652519 dap^{0.5}) \quad (74)$$

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

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 cm ≥ DAP < 18 cm



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

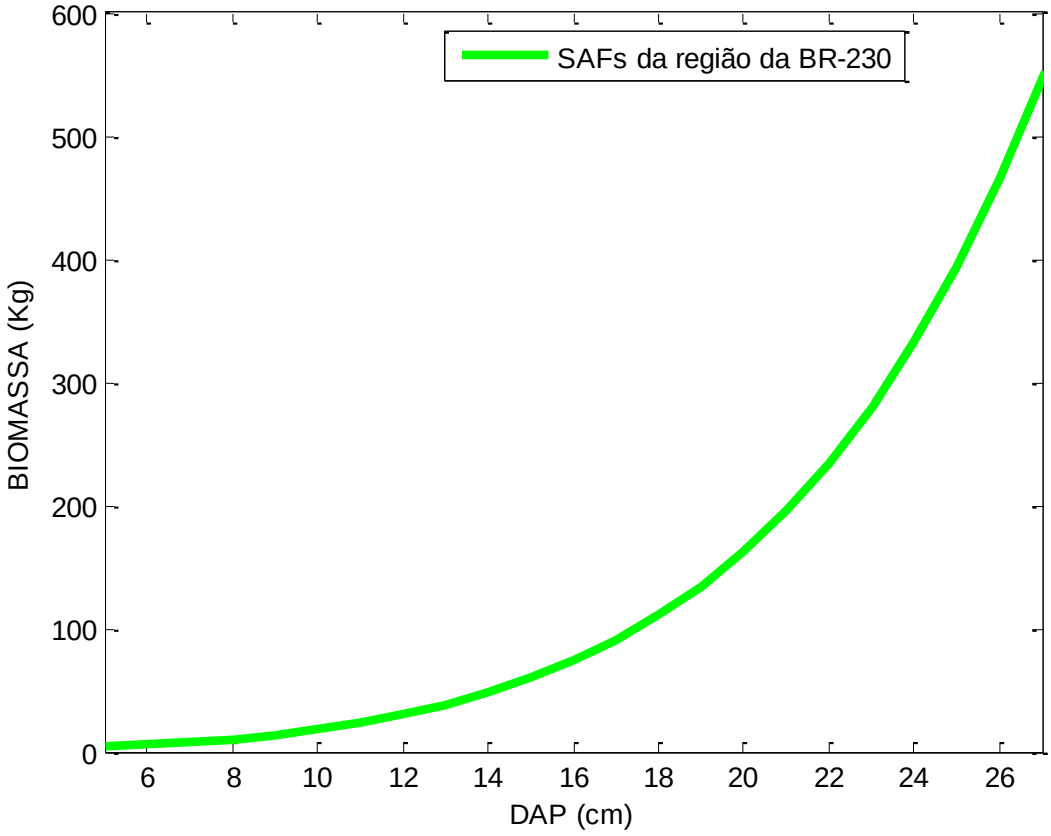
No Gráfico 10, no eixo das abcissas temos o DAP das árvores em centímetros, enquanto que no eixo das ordenadas temos a Biomassa em toneladas. A curva é representada por uma exponencial, o que reflete o aumento de Biomassa em função do DAP das árvores. As árvores medidas tinham DAP mínimo de 5 cm e DAP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

Por outro lado, para o Talhão D6 com idade de 28 anos, a equação 75 representa a alometria do Talhão. B28 é a Biomassa para o Talhão com 28 anos de implantação.

$$\ln B28 = (-2.386954 + 1.6729013 dap^{0.5}) \quad (75)$$

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

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 cm ≥ DAP < 27 cm



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

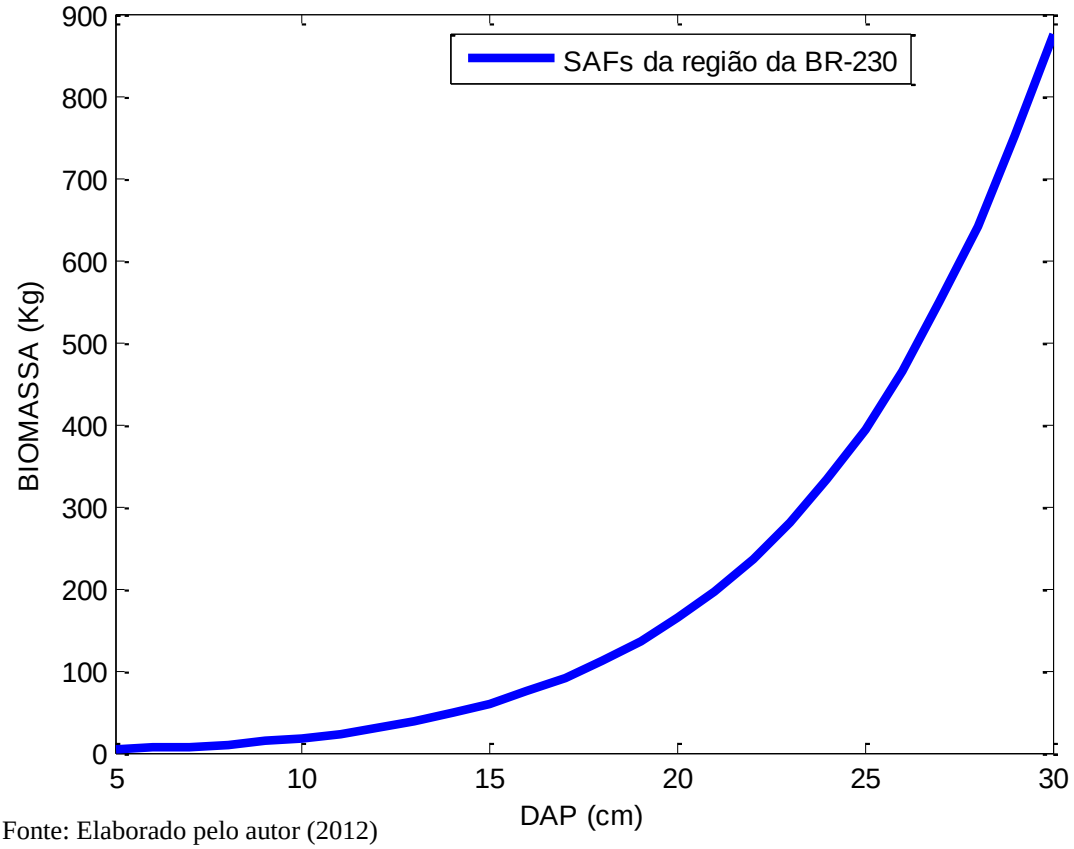
No Gráfico 11, no eixo das abcissas temos o DAP das árvores em centímetros, enquanto que no eixo das ordenadas temos a Biomassa em Toneladas. Também, a curva é representada por uma exponencial, o que reflete o aumento de Biomassa em função do DAP das árvores. As árvores medidas tinham DAP mínimo de 5 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 76 representa a alometria do Talhão. B32 é a Biomassa para o Talhão com 32 anos de implantação com R^2=0.90.

$$\ln B32 = (-2.3814833 + 1.6717688 dap^{0.5}) \quad (76)$$

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

Gráfico 12 – Curva da Biomassa (toneladas) em função do DAP (cm) para cacaueiros de SAFs com 32 anos de idade da BR – 230 para 5 cm ≥ DAP < 30 cm



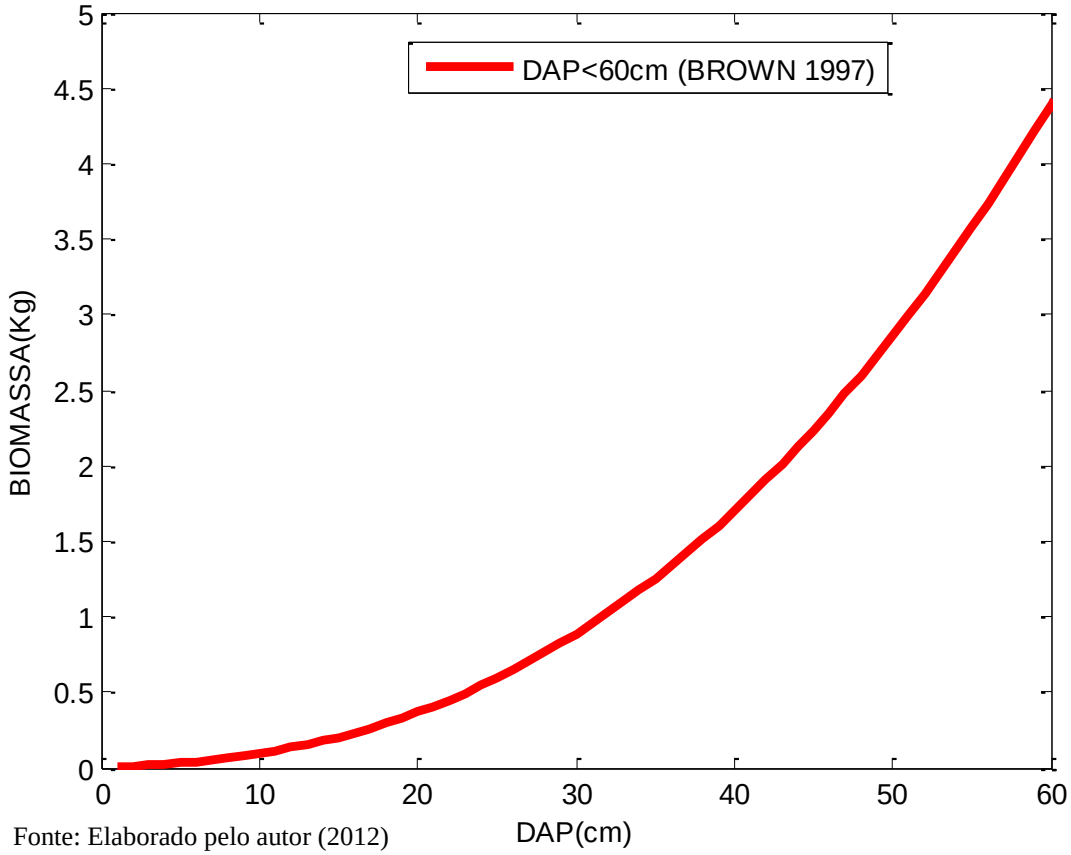
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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 tinham DAP mínimo de 5 cm e DAP máximo de 30 cm e cuja média dos DAPs do Talhão é de 15,6 cm.

O objetivo de se determinar ou estimar a biomassa dos SAFs de cacau da BR-230 está no fato de se poder estimar o carbono estocado nos SAFs.

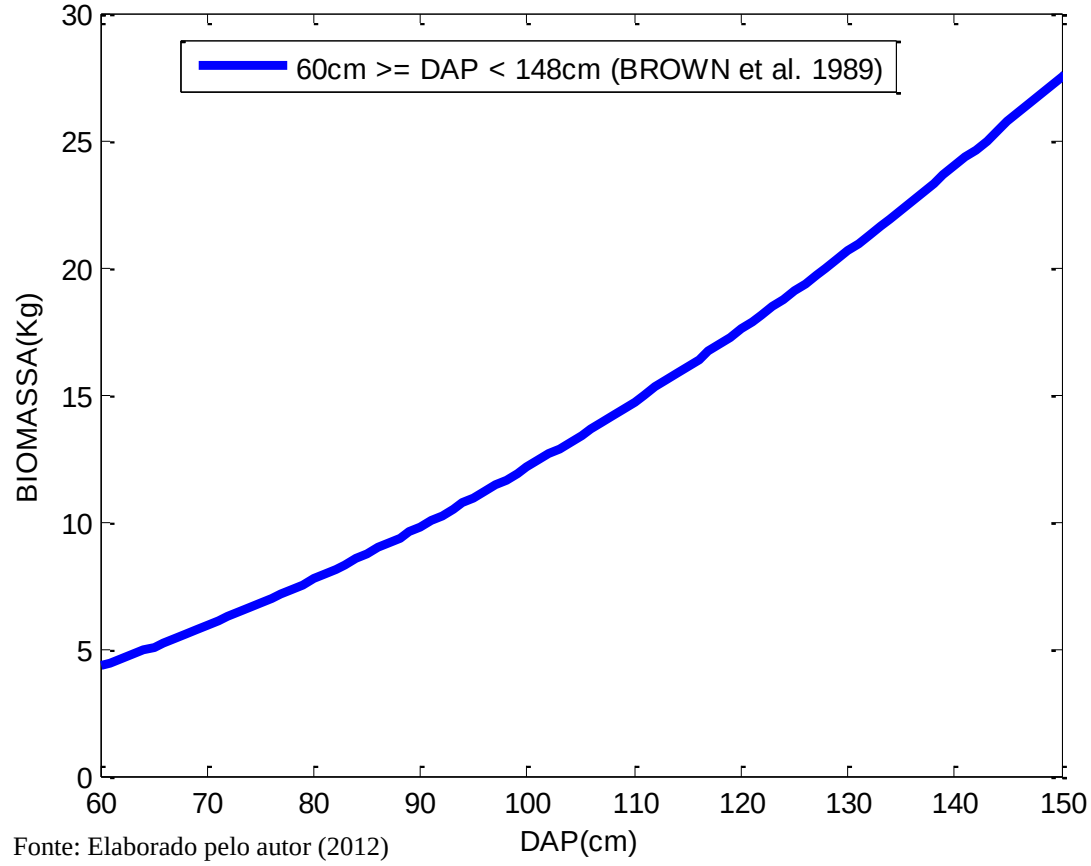
Por outro lado, para a estimativa de Biomassa das árvores de Essência Florestais foi utilizado o Método Indireto que dependendo da faixa do DAP pode ser usada a equações alométricas de Brown et al. (1989) equação 42 para DAP < 60 cm com coeficiente de determinação R^2= 0,84 ou para a outra faixa de DAP usa-se a equação alométrica Brown (1997), equação 43 para 60 cm≥ DAP < 148 cm cujo R^2= 0,97.

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 ≥ dap < 148 cm



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

O Gráfico 13 mostra a Curva da Biomassa em Toneladas em função do DAP 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 em centímetros para as essências florestais para dap maior ou igual a 60 cm e menor que 148 cm.

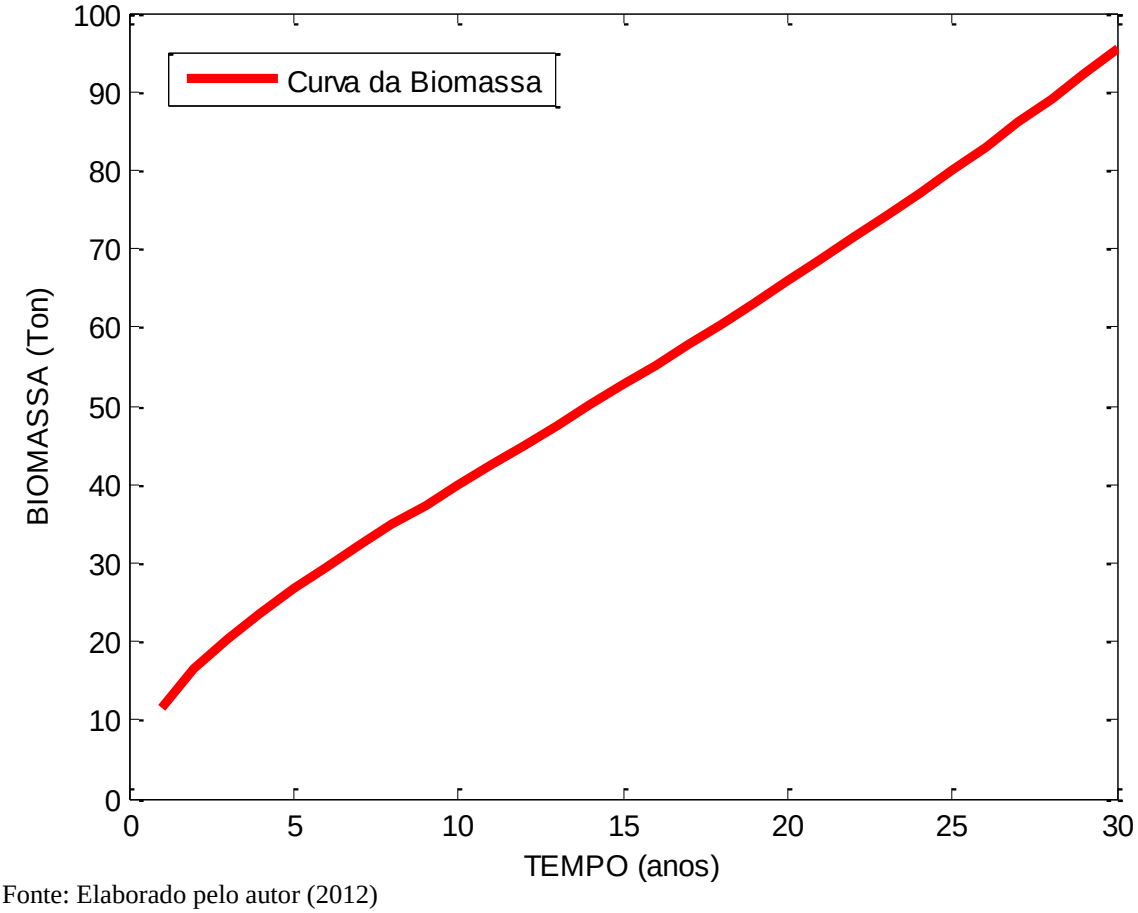
Para a Biomassa em função do tempo *"Bcacau"*, foi realizada regressão usando o método dos mínimos quadrados para os valores de Biomassa Total dos Talhões inferidos.O resultado da regressão gerou a equação 77 abaixo com R^2= 0.99.

$$Bcacau = 0.0086603651 + 0.036026278\,t^2 + 11.496806\,t^{0.5} \quad (77)$$

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

De outra forma, usando 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 cacaueiros 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 usando o método dos mínimos quadrados com a informação de biomassa para os três Talhões.

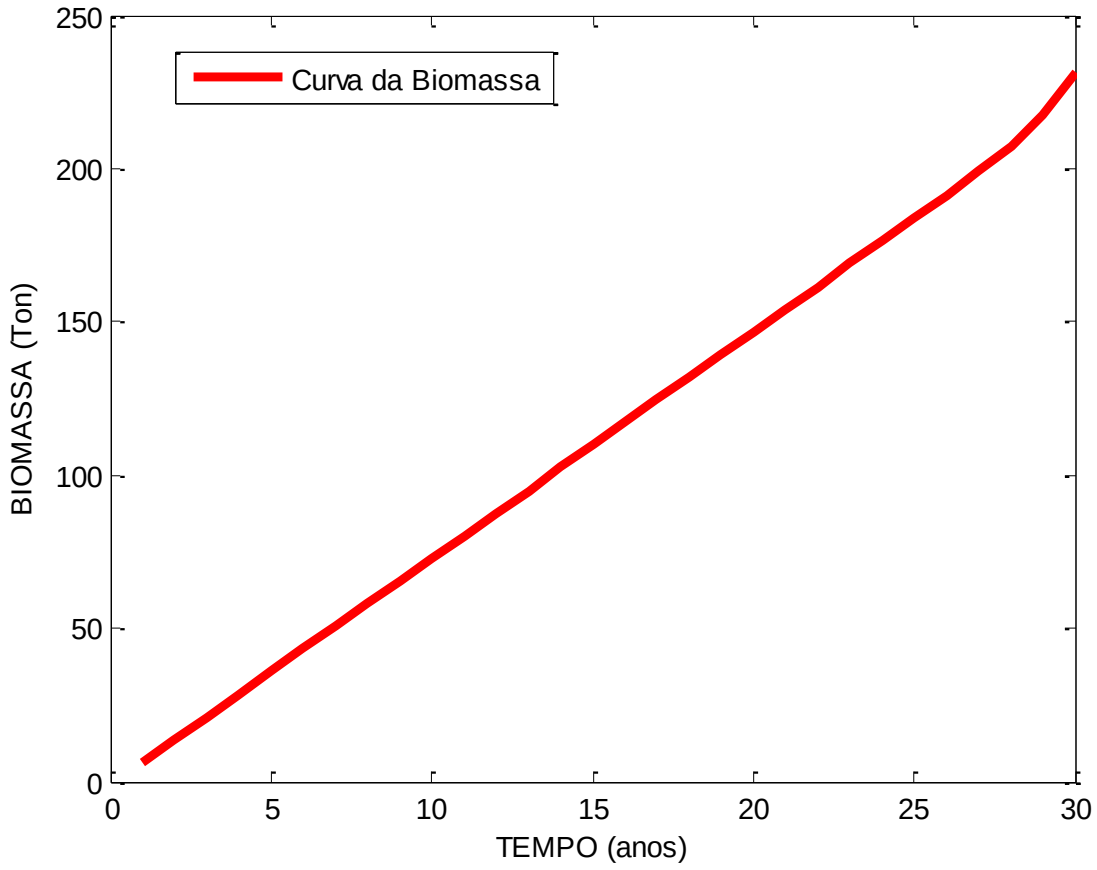
A equação 78 mostra a estimativa de Biomassa das essências florestais com R^2= 0.99.

$$Bessencias = -1.1477024 + 7.3935672\,t + 0.0000000000010202949\,e^{t} \quad (78)$$

A Biomassa das essências florestais em função do tempo é representada pelo Gráfico 16.

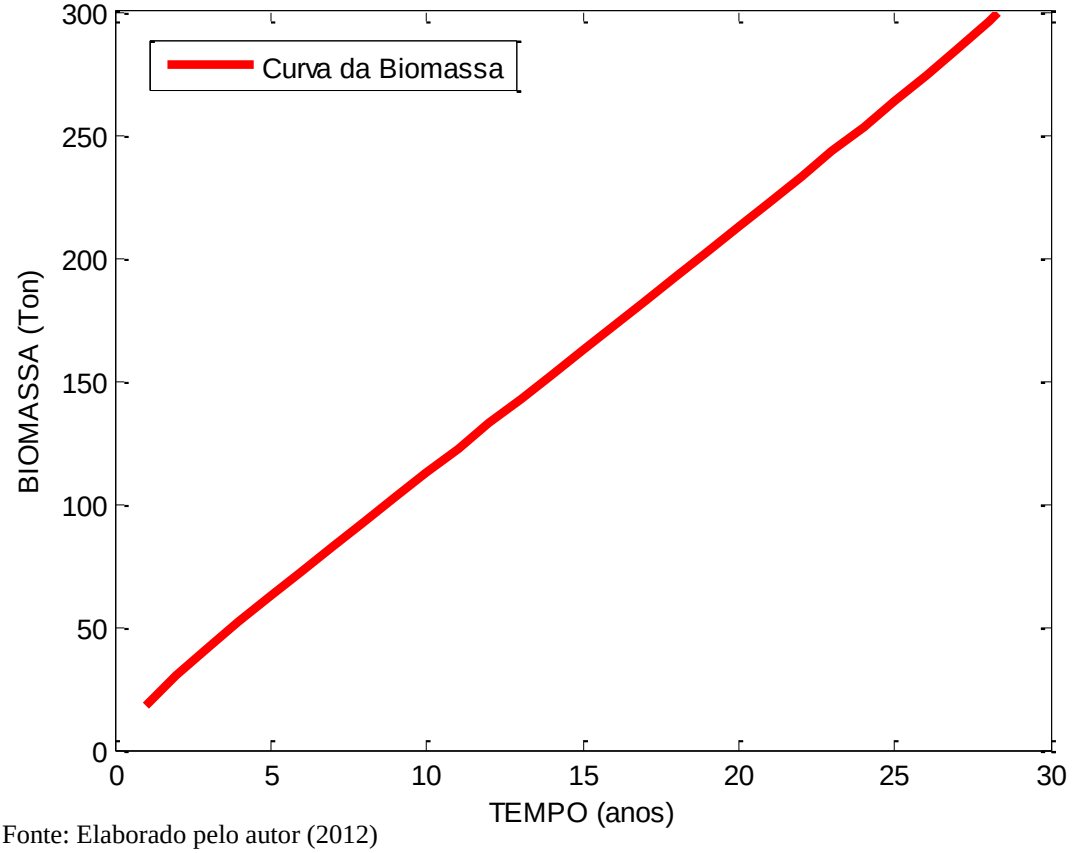
O conjunto da equação 79 da biomassa total dos cacaueiros com a equação 80 da biomassa total das essências florestais para cada Talhão gerou os dados de biomassa total em função do tempo para os SAFs da região da Transamazônica. A curva de Biomassa Total para os SAFs da BR-230 do Gráfico 17 demonstra a estimativa de acúmulo de biomassa em função do tempo para 30 anos de produção de SAFs de cacaueiro.

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



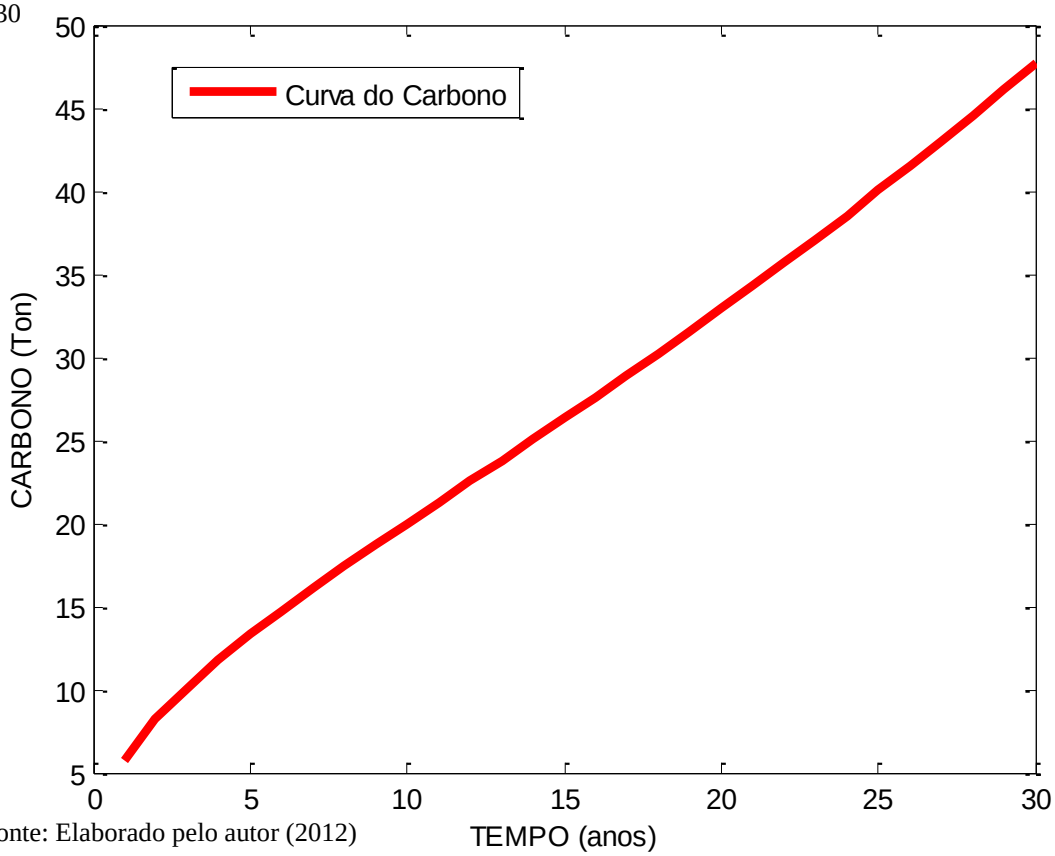
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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



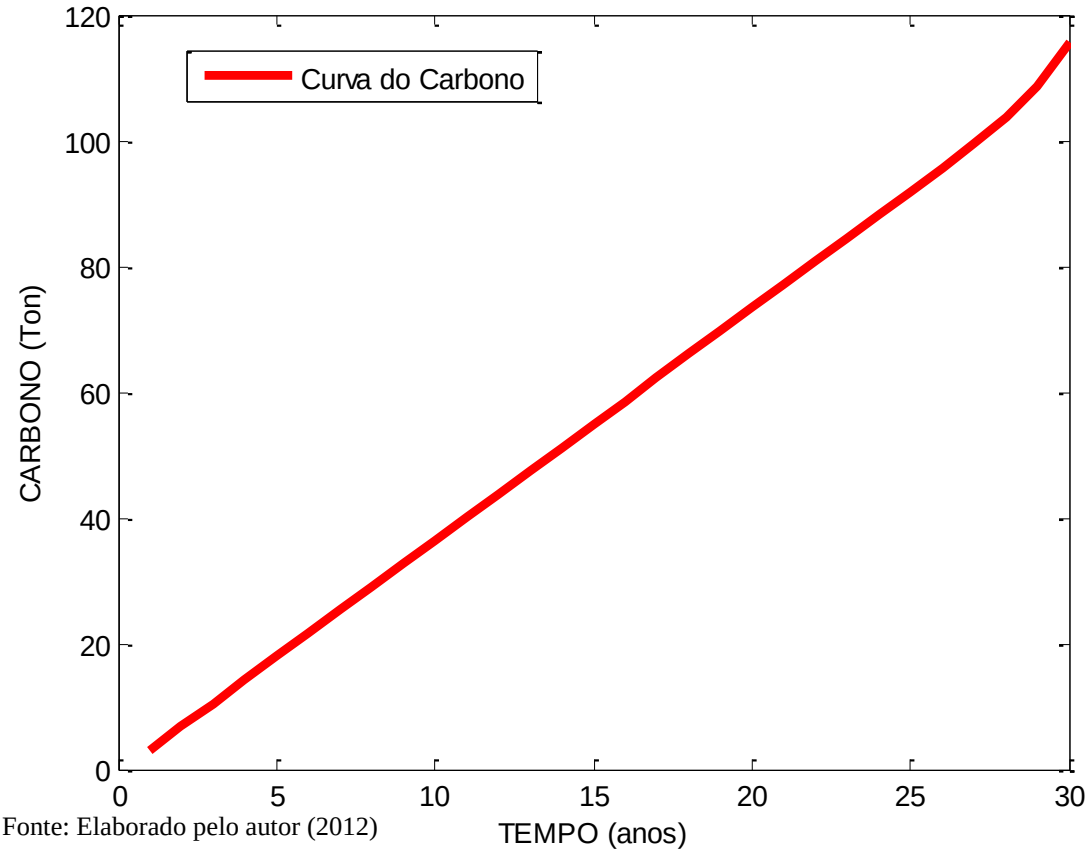
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Gráfico 18 – Curva do Carbono (toneladas) em função do tempo (anos) para cacaueiros de SAFs da BR–230



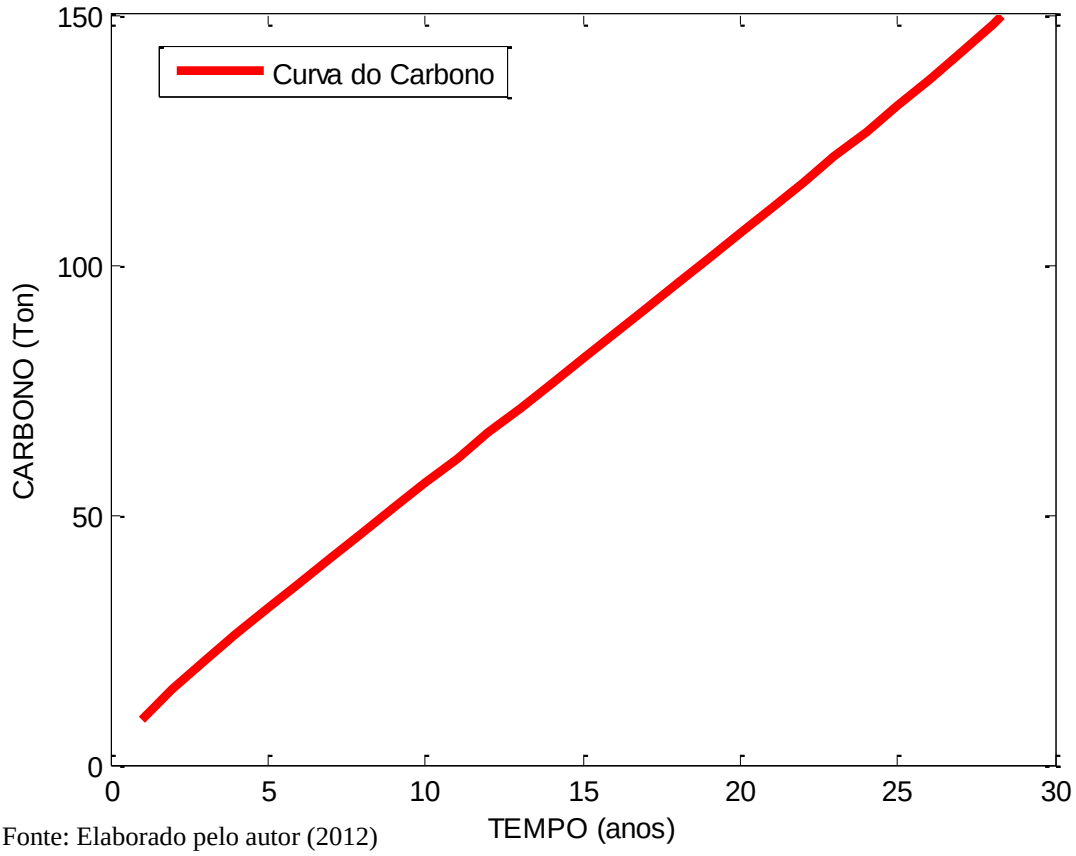
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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 cacaueiros 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.

Portanto, de posse dos valores de biomassa em função do DAP para os cacaueiros e para as essências florestais foi possível encontrar a biomassa em função da idade de SAFs da BR-230.

Esta biomassa do SAF de cacaueiro 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 o volume ou a biomassa em função do DAP na forma de equação alométrica, estas equações de Volume e Biomassa em função do DAP podem ser utilizadas para os SAFs da região do Xingu, pois a região estudada que contem 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 cacaueiro ou de essência florestal, a Biomassa individual que cada árvore pode acumular e, portanto, se estimar a Biomassa para cada situação ou disposição de SAF refletindo a capacidade do serviço ambiental.

De antemão o método direto de estimativa de Biomassa para os cacaueiros deu suporte para a estimativa da Biomassa do SAF através das equações alométricas para o cacaueiro e essências florestais.

Há trabalhos sobre estimativa de Biomassa de SAFs de cacaueiro, como por exemplo, Santos et al. (2004), que estudaram sete SAFs de cacaueiro em várzeas do Estado do Pará e que estimou 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) e 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 cacaueiro para uma área às

margens do Rio Tocantins no Estado do Pará. Contudo, trabalhos que constroem equações alométricas para o cacaueiro são escassos, sem falar que 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 que dependem de vários fatores, como por exemplo, clima, solo, intensidade de chuvas e etc, para garantir a taxa de retirada de Carbono do ar e conseqüente acúmulo na Biomassa florestal.

O acúmulo de Biomassa dos SAFs de cacau compreende o acúmulo tanto dos cacaueiros 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 um certo período de tempo. Assim, 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 cacaueiro da BR–230.

Tabela 11 - Estimativa de Biomassa dos SAFs de cacaueiro da BR-230 (t/ha)

	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

Fonte: Elaborado pelo Autor

Assim, além da informação de estimativa de biomassa de SAFs de cacaueiro para idades diferentes na região da BR-230, a biomassa dos três Talhões estudados é apresentada na Tabela 11. Nesta Tabela são individualizados os resultados obtidos para Biomassa dos cacaueiros e das essências florestais dos SAFs.

Além disso, várias publicações relatam valores de biomassa acumulada na região Amazônica. Na Tabela 12 segue informação de biomassa e biomassa média para vários tipos de vegetação na Amazônia.

Tabela 12 - 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, isto é o atual 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 cacaueiro de várzea em Cametá 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 Cametá.

Porém, os valores de biomassa da Tabela 13 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 trás mais uma informação relacionando a Biomassa acumulada em função do tempo a partir da implantação dos SAFs. Portanto, as equações para cacaueiros e essências florestais encontradas são equações que em qualquer período de tempo há possibilidade de se estimar não só a biomassa de SAFs de cacaueiro no tempo, mas também a quantidade de biomassa estocada isoladamente em cada espécie dos SAFs.

Para a estimativa de Biomassa dos cacaueiros dos SAFs foi encontrada isoladamente a biomassa dos compartimentos Fuste, Galhos e Folhas, cujos resultados

médios são apresentados na Tabela 13. O compartimento Galhos é o que contem a maior parte da biomassa do cacaueiro 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 cacaueiro.

Tabela 13 – Biomassa para cada Compartimento dos Cacaueiros da BR-230

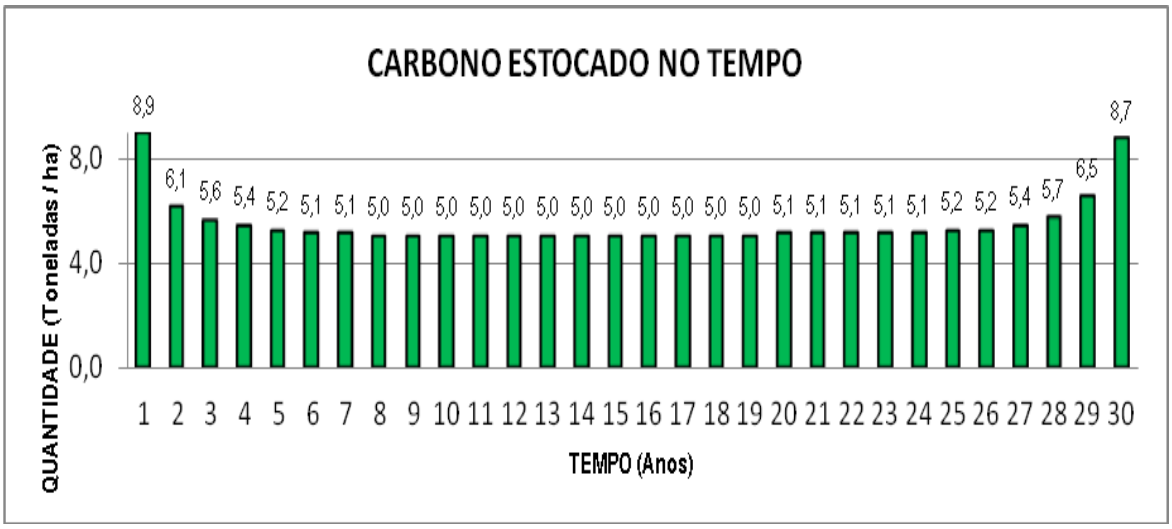
Fuste	Galhos	Folhas
26,43 %	65,38 %	8,19 %

Fonte: Elaborado pelo Autor

Finalmente, a composição do estoque de carbono dos cacaueiros e das essências florestais gerou a curva de Estoque de Carbono Total dos SAFs de cacaueiro 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 cacaueiro é representada no Gráfico 21. Além de apresentar o estoque de carbono em cada ano, também foi realizada regressão e encontrou-se a equação 79 que descreve o Carbono Estocado no Tempo (CE*T*) cujo R^2=0.998. O Gráfico 21 mostra o Carbono Estocado no Tempo para SAFs da região da BR–230.

$$CET = 4.817 + 0.000485\,t^2 + 0.00000000000032014\,e^t + \frac{4.0413}{t^{1.5}} \qquad (79)$$

Gráfico 21 – Carbono Estocado no Tempo (*CET*) de SAFs de cacaueiro da Região da BR–230



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

Portanto, para a quantificação dos benefícios oriundos do mecanismo de compensação define-se o Carbono Estocado no Tempo para um hectare de SAF de cacaueiro e, que é uma informação inerente ao Benefício Ambiental dos SAFs de cacaueiro 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 trás benefícios para a região. Esta informação de carbono estocado é de extrema importância, pois se há dados da distribuição da quantidade de estoque por ano do SAF, se tem 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 a região em que está estabelecido o SAF, e assim, este passa a ter uma contribuição para o planeta como um todo, pois o serviço ambiental de retirada de carbono da atmosfera se reflete em bem estar social e econômico para todo o globo, o que potencializa a situação abordada no caminho da sustentabilidade.

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 70 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, 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.

Desta forma, 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.

Portanto, 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$/ton, que no caso são demonstrados a seguir a *BSA* para os seguintes valores: US$ 3.67/tC, US$ 18.35/tC, US$ 36.7/tC e US$ 73.4/tC.

Portanto, com os valores de Carbono Estocado no Tempo e da Produtividade do Cacau há condições de compor o Benefício Socioambiental para os SAFs de cacaueiro 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.

$$BSA = 63.571805 + \frac{56589.462}{Q^2} \tag{80}$$

As equações do *BSA* para *VC*E 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 80.

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 *VC*E 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 cacaueiro. 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 81

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 81. O *BSATACS* foi calculada para o TACS de 5,3 t*C ha*$^{-1}$ por ano estimado para os SAFs da BR-230 em função do Carbono Estocado Agregado no Tempo (*CEAT*).

$$BSATACS = 78.739839 + \frac{11775.18}{Q^2} \quad (81)$$

Logo, tanto para o *BSA* quanto para o *BSATACS* há a rotina para compor a Externalidade 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 Externalidade Socioambiental Positiva para os SAFs de cacaueiro.

Portanto, 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 cacaueiro 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.

Assim, 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. De outra forma, a mesma 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.

Tabela 14 - Resultados da equação da demanda de Cacau

Variável Dependente: $QCAC^D$ (Quantidade de cacau)				
	Coeficiente	Desvio Padrão	Estatistica - 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 Açai	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			

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados para a equação 70 da demanda é apresentado na Tabela 14. Os sinais dos coeficientes das variáveis estão em concordância com o esperado para a 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 preço do açaí envolve uma relação de substitutibilidade por gosto e preferencia como substituto da amêndoa de cacau.

De outro lado, os resultados para a equação 71 da oferta é apresentado na Tabela 15. 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 gricultura, exceto cacau, há valorização das outras atividades

produtivas com possível decrescimento 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).

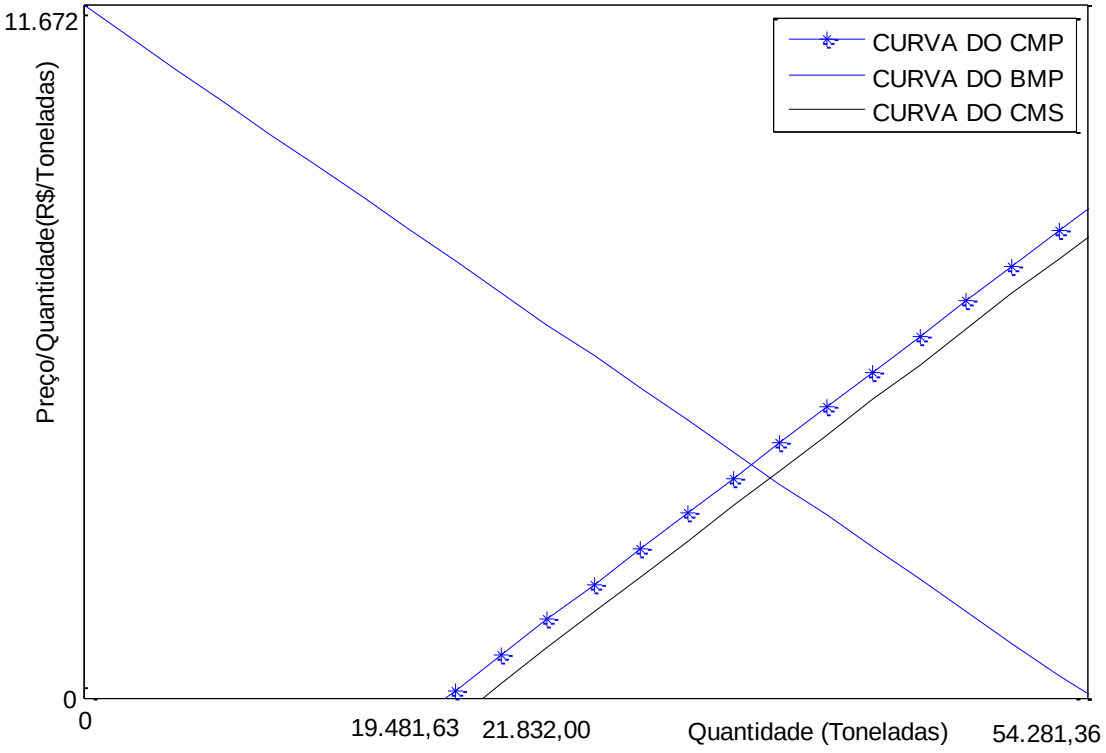
Tabela 15 - Resultados da equação da oferta de Cacau

Variável Dependente: $QCAC^{O}$ (Quantidade de cacau)				
	Coeficiente	Desvio Padrão	Estatistica - 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			

Fonte: Elaborado pelo Autor

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

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

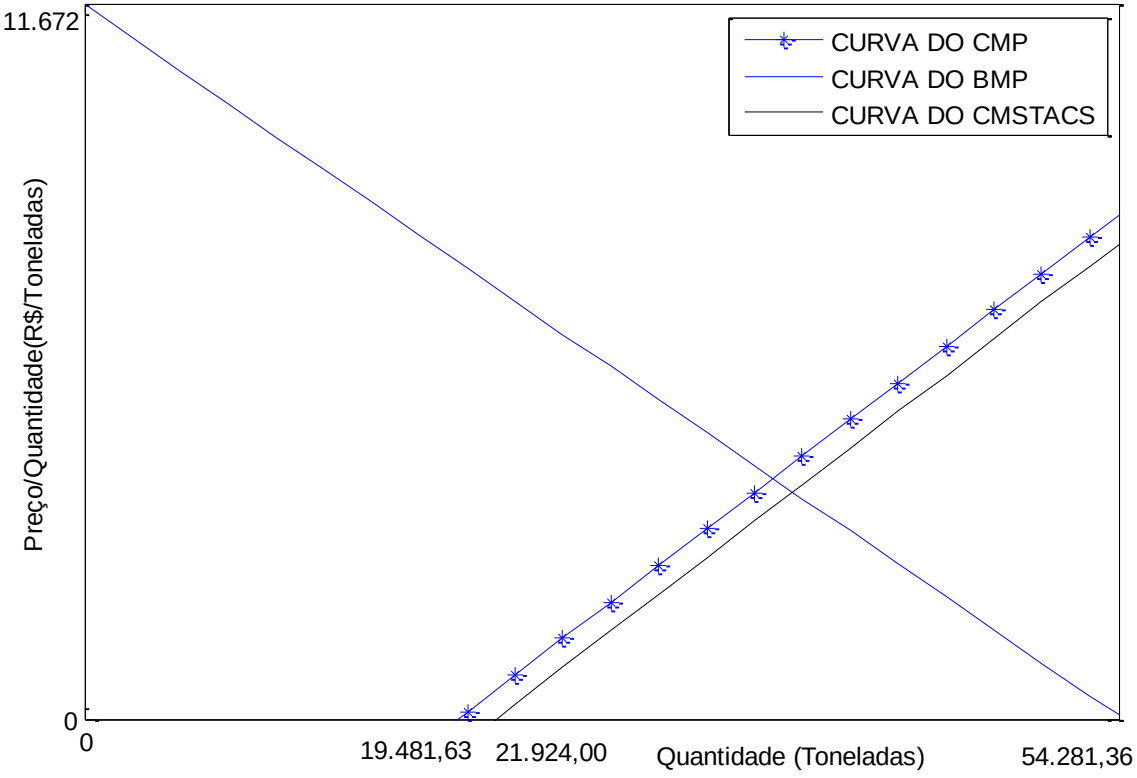


Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

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

Para o caso dos SAFs de cacaueiro da BR-230 sem o *BSA* tem-se um equilíbrio de mercado ineficiente. Portanto, há 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.

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



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

A curva de Benefício Marginal Privado para a atividade produtiva dos SAFs de cacaueiro reflete os benefícios privados, pois no ponto de equilíbrio privado temos que a quantidade é *Qe*=35.978 e *Pe*= 3.935,74 que reflete a quantidade e preço por tonelada que leva a um equilíbrio de ótimo privado. Porém, o equilíbrio de ótimo privado não reflete os benefícios sociais, pois no ótimo social *Qs*, inclui-se os benefícios dos serviços ambientais da atividade produtiva e, portanto, o ganho da sociedade com a conservação do ambiente.

As Tabelas 16 (*BSA*) e 17 (*BSATACS*) mostram os valores das coordenadas dos pontos *K*(*Qs, Ps*) e *L*(*Qs, Pb*), além dos valores do subsídio para estimativa para os seguintes valores de *VCE*: US$ 3.67/tC, US$ 18.35/tC, US$ 36.7/tC e US$ 73.4/tC.

O valor de US$ 18.35/tC (equivalente ao valor de US$ 5.0/tCO_2) 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 n^o 4: redução de 42% da taxa de desmatamento no período 2006-2010. Portanto este valor de US$ 18.35/tC é um dos valores estratégicos para o estudo do mecanismo de compensação, pois já usado serve como parâmetro para compor a compensação pela manutenção dos serviços ambientais na Amazônia e consequentemente para uma estratégia de REDD.

Tabela 16–Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSA*

VCE (US$/t)	*Qs* (t)	*Ps* (R$/t)	*Pb* (R$/t)	*ESP* = Externalidade (R$/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

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17–Externalidade Socioambiental para diferentes valores de *VCE* com *BSATACS*

VCE (US$/t)	*Qs* (t)	*Ps* (R$/t)	*Pb* (R$/t)	*ESP* = Externalidade (R$/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

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, 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 82 e 83).

$$ESPTC = 7{,}64\,VCEtC \tag{82}$$

$$ESPTCO2 = 28{,}04\,VCEtCO2 \tag{83}$$

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 cacaueiro 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 18 e 19 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 cacaueiro 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.

Tabela 18 – Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para *BSA* (R$)

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

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 – Incremento do Excedente do Consumidor, Incremento do Excedente do Produtor e Benefício Social Líquido para BMETACS (R$)

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

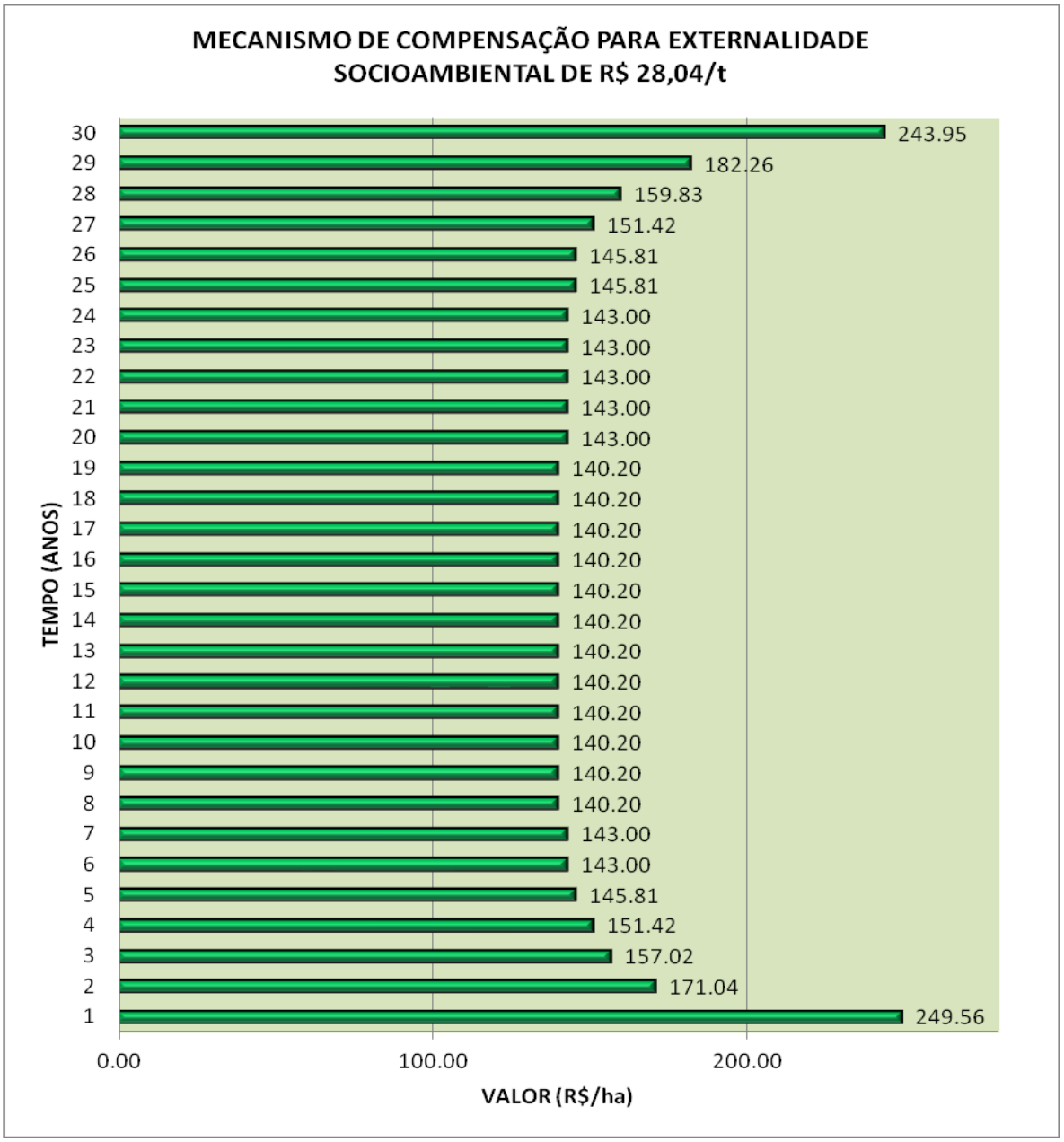
Fonte: Elaborado pelo autor

O Valor da Compensação Financeira para os SAFs de cacaueiro 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 cacaueiro da BR-230.

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.

Gráfico 24- Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 28,04/t



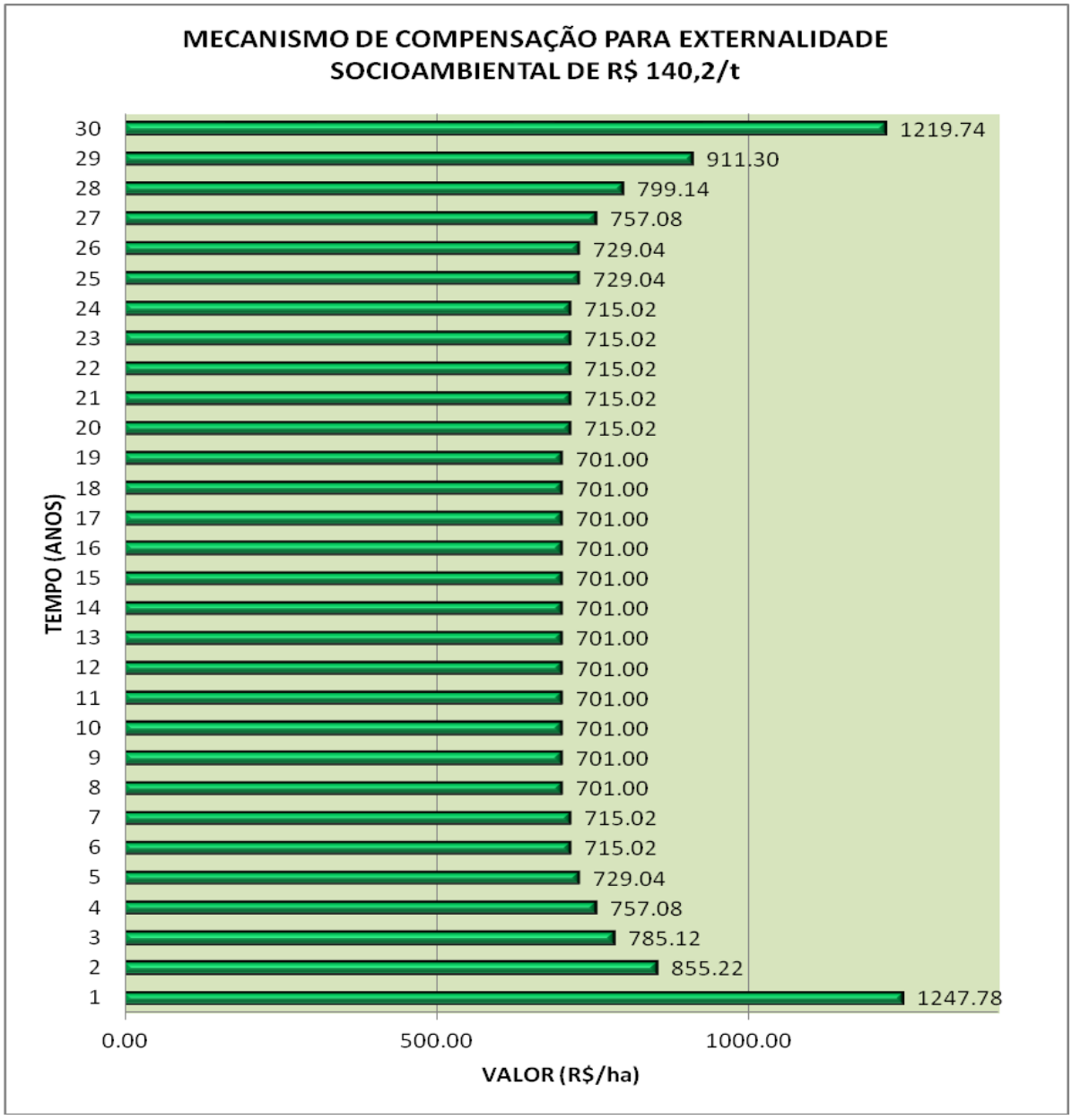
Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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 cacaueiro 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.

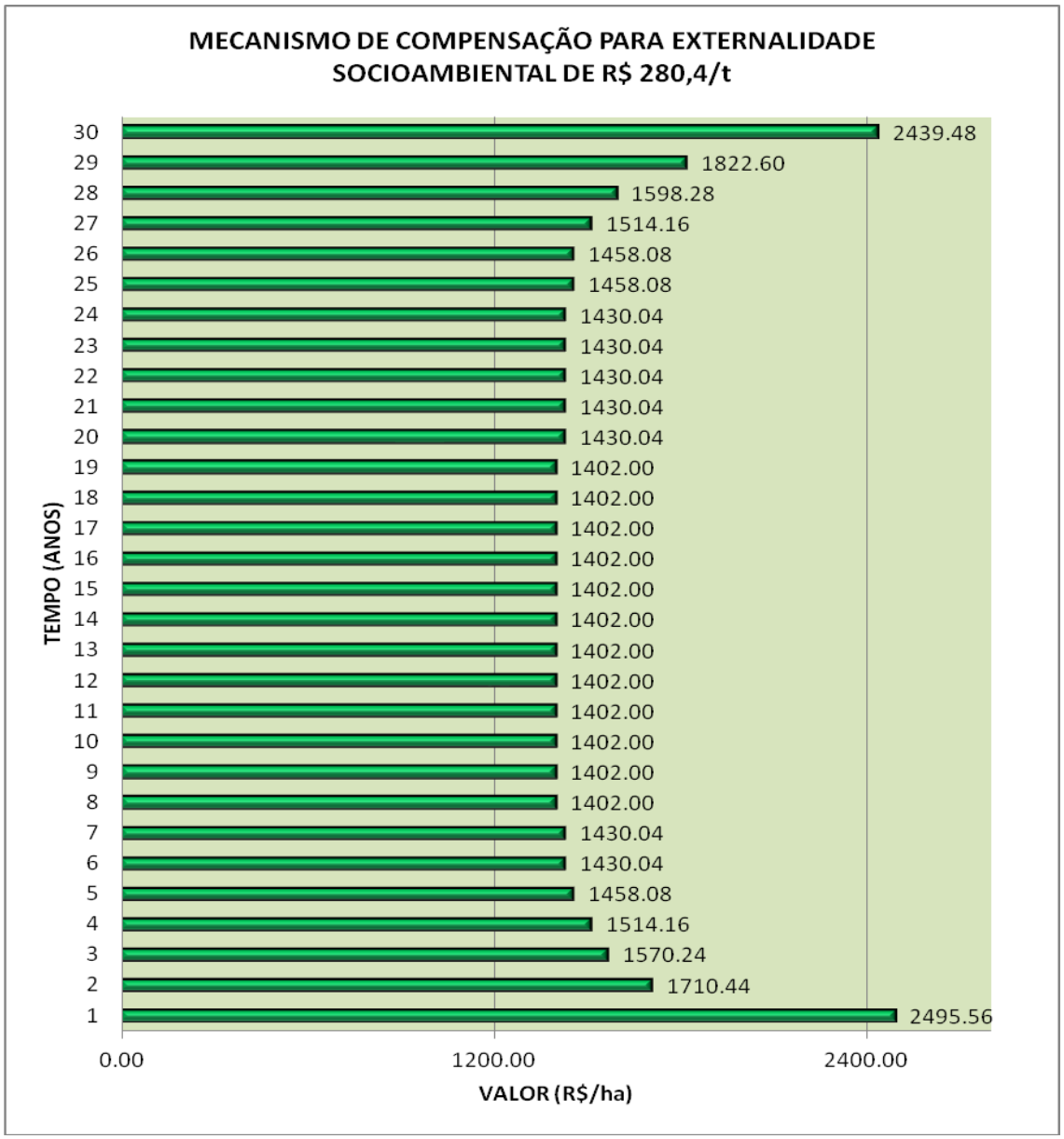
Gráfico 25 – Valor da Compensação Financeira para *ESP* de R$ 140,20/t



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

O Gráfico 26 contem os resultados sobre o 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.

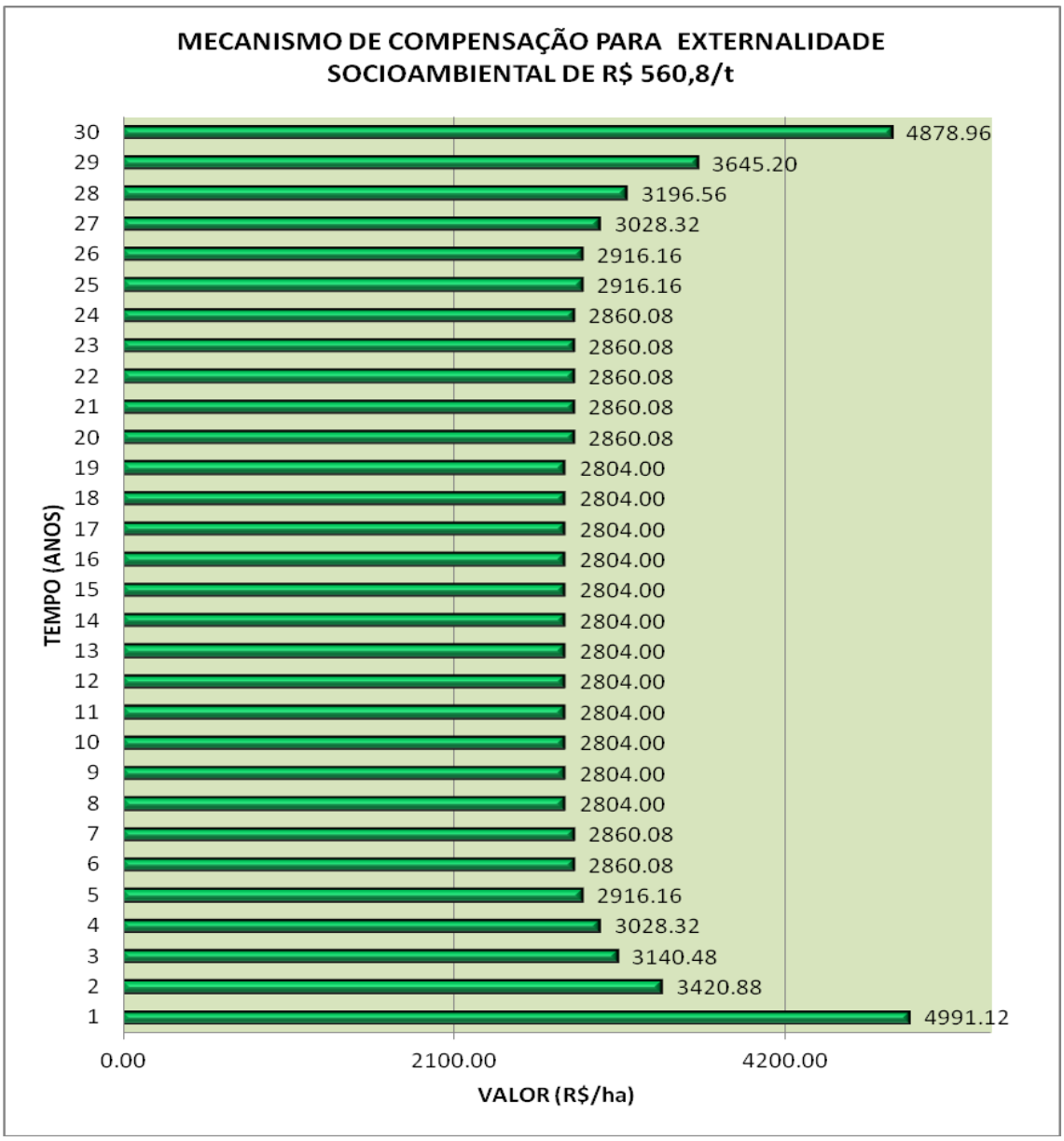
Gráfico 26 – Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 280,40/t



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

O Gráfico 27, adicionalmente, consta da 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.

Gráfico 27 – Mecanismo de compensação para *ESP* de R$ 560,80/tC



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

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 cacaueiro 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.

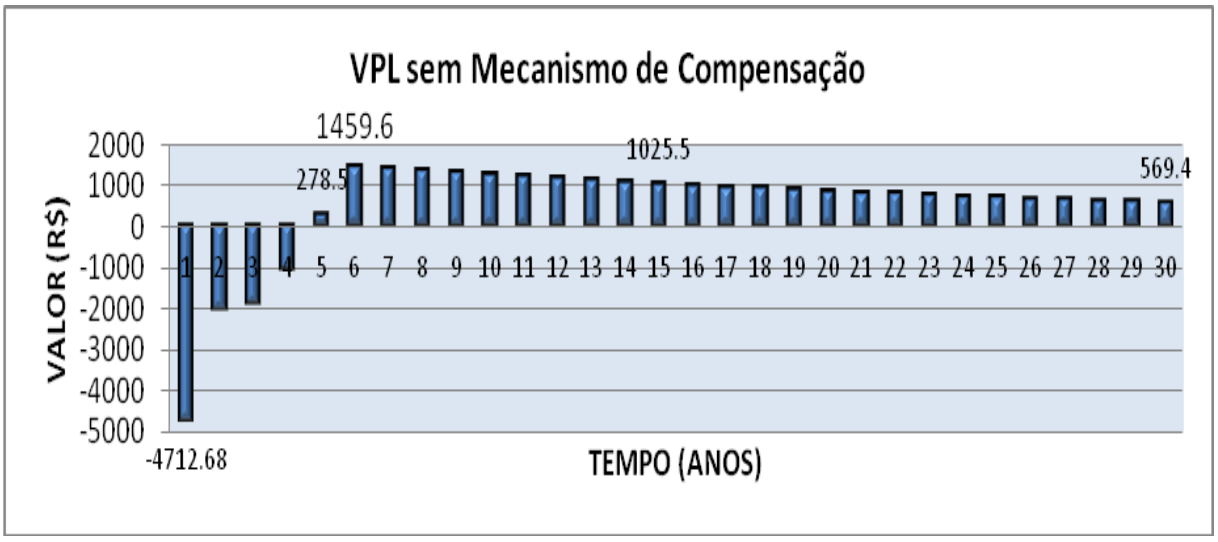
Assim, o Valor Presente Líquido da atividade produtiva para um hectare de SAFs de cacaueiro para trinta anos sem o mecanismo de compensação é mostrado no

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$/R$=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.

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.

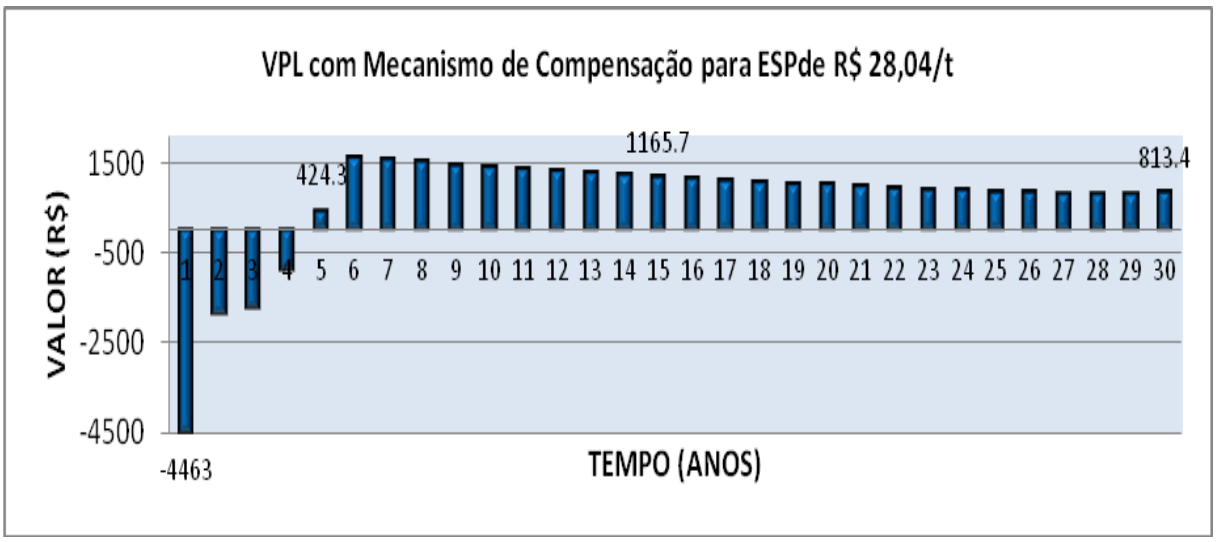
Gráfico 28 – VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos sem mecanismo de compensação



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

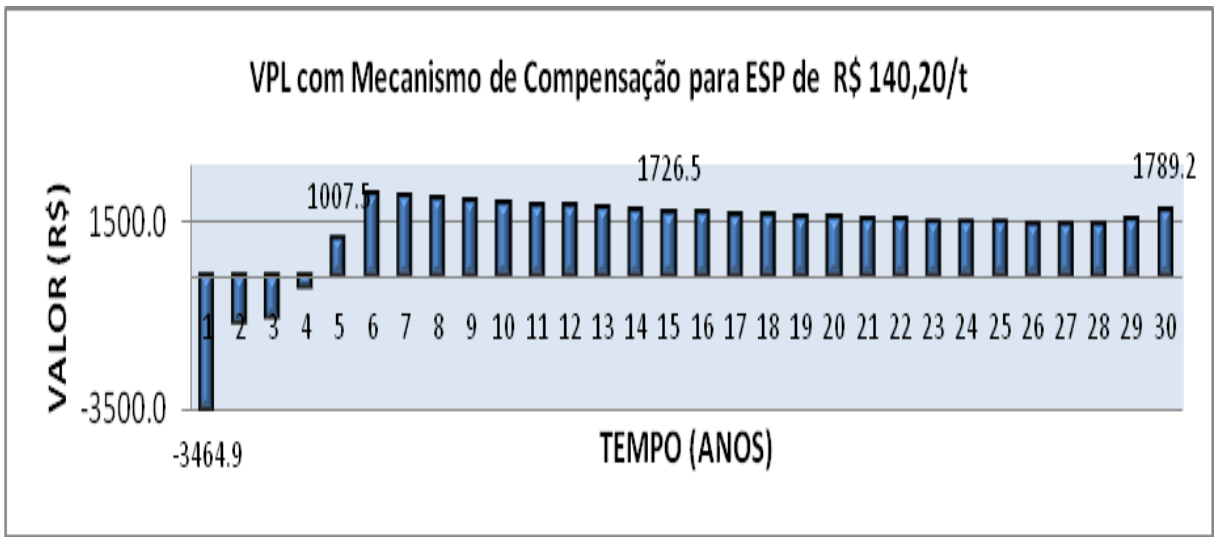
Para os valores de externalidade socioambiental de R$ 28,04/t e R$ 140,20/t também temos nos quatro primeiros anos o VPL negativo. Além disso, há do quinto ao vigésimo sétimo valores decrescendo, mas a partir do vigésimo oitavo ano há uma retomada de crescimento por conta do Mecanismo de Compensação.

Gráfico 29 – VPL para SAFs de cacaueiro 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 cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 140,20/t



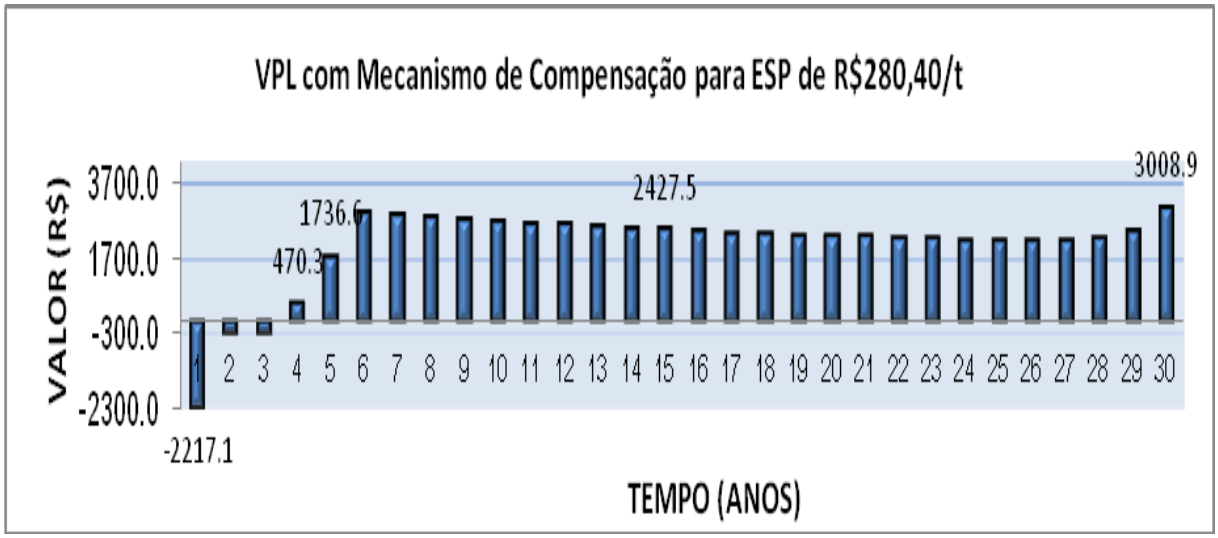
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida et al. (2010)

Por outro lado para o valor de subsídio de R$ 280,40/t já temos no quarto ano da atividade 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/tCO_2) teremos já no quarto ano VPL 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.

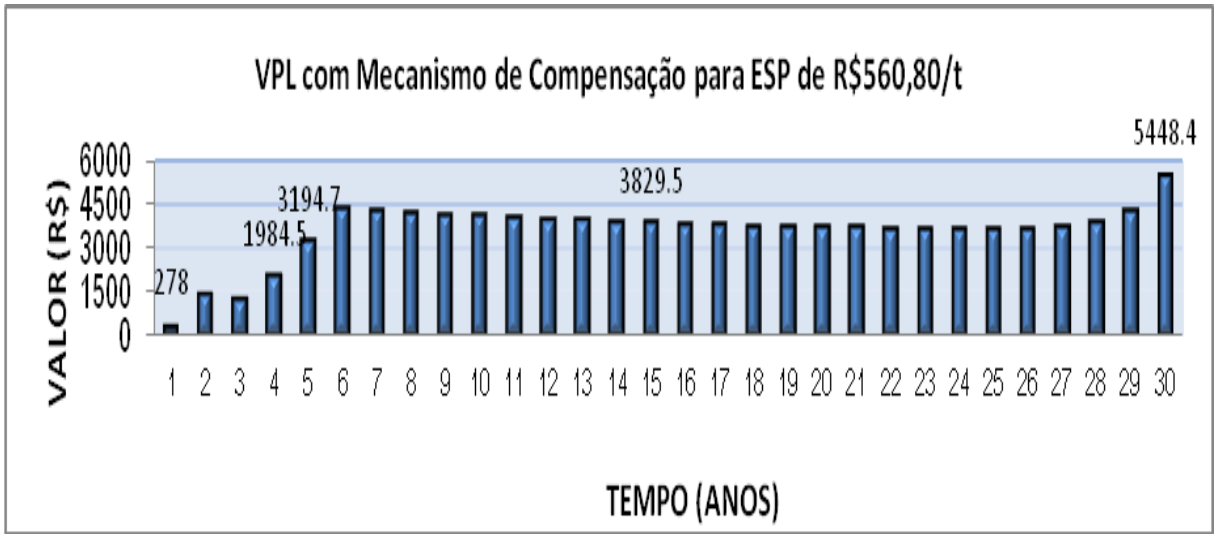
Gráfico 31 - VPL para SAFs de cacaueiro para um período de trinta anos com Mecanismo de Compensação para externalidade socioambiental de R$ 280,40/t.



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

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).

Gráfico 32 - VPL para SAFs de cacaueiro 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 20 - Valor Presente Líquido para diferentes Compensações (câmbio US$/R$ = 1,85)

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 subsidio/VPLsem subsídio	-	1,3209	2,6044	4,2089	7,4178
% VPL com subsidio/VPLsem subsídio	-	32,09	160,44	320,89	641,78

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 20 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/tCO_2, 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/tCO_2, 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 cacaueiro 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 se injeta mais recursos nos anos posteriores. Inclusive, nos últimos 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 cacaueiro. Portanto, este retorno representa um benefício da compensação financeira para um início de investimento na atividade dos SAFs de cacaueiro da BR-230 para manter os serviços ambientais dos SAFS de cacaueiro.

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 21.

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.

Tabela 21 – Relação de Área, Rendimento e Carbono para municípios da BR-230

Município	Área plantada (ha)	Rendimento médio em (t/ha)	Carbono estocado médio por ano TACS (t/ha)	Carbono estocado médio/qunatidade 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

Fonte: Elaborado pelo autor

8 CONCLUSÕES

As principais conclusões são expostas a seguir:

- Foi estabelecida uma metodologia para a fixação e quantificação do carbono estocado para dimensionar o benefício socioambiental para os SAFS de cacauerio da BR-230 com a valorização da produtividade da cultura, o valor do carbono estocado e o carbono estocado no tempo com a consequente externalidade socioambiental positiva dimensionada para os SAFs de cacaueiro da região da BR-230
- No caso dos SAFs de cacaueiro da BR-230 internalizou-se a externalidade positiva a partir das falhas de mercado como um tratamento do caso da constância do desmatamento e da degradação na Amazônia.
- Foram encontradas as seguintes variáveis para o cacaueiro: biomassa do fuste, galhos e folhas, biomassa total e carbono total dos SAFs de cacaueiro da BR-230. Além disso, foi encontrada a relação de Biomassa versus tempo e Carbono versus tempo no fenômeno de crescimento e acumulação de Biomassa nos vegetais. Temos que a estimativa de Biomassa para um SAF de cacaueiro da BR-230 para trinta anos de atividade é de 327 toneladas por hectare e a estimativa de Carbono Estocado é de 163,5 toneladas, com uma média de estoque de carbono de 5,4 toneladas de carbono por ano.
- Com os resultados obtidos no estudo e com a emergência dos Mecanismos de Redução de Emissão por Degradação e Desmatamento, o estoque de carbono em sistemas agroflorestais, mais que outros serviços ambientais, poderá representar uma oportunidade real de complemento de renda para as atividades produtivas na Amazônia e de potencial uso da Reserva Legal por atividade produtiva que mantém os serviços ambientais, principalmente o serviço carbono.
- A aplicação do método de compensação financeira para atividades produtivas demonstra que é viável propor dentro de uma perspectiva do REDD uma compensação financeira para externalidade socioambiental positiva que se mostra eficiente aos SAFs de cacaueiro da região da Transamazônica como alternativa aos produtores rurais para permanecer com a atividade produtiva que

promove a manutenção de estoque de carbono com serviço ambiental concomitante com a geração de renda da atividade.

- Pelos resultados obtidos nota-se que para a permanência da relação das dimensões social, econômica e ambiental e, em conjunto com as regras tradicionais, como por exemplo, as já usadas estratégias de comando e controle fazem-se necessário a adoção de instrumentos econômicos, como o do subsídio para internalizar não só as falhas do mercado de cacau, como também oferecer alternativa aos produtores rurais de SAFs de cacaueiro da BR-230 para a garantia da proteção e da manutenção dos serviços ambientais.
- A taxa de carbono estocado no tempo encontrada neste estudo para os SAFs da BR-230 não chegam a estocar carbono proporcionalmente a taxa de uma floresta, entretanto, são capazes de ser bons sorvedores de carbono do ar, o que promove o acúmulo de carbono nas espécies dos SAFs de cacaueiro e garantem a função ecológica da atividade produtiva junto com os outros atributos ambientais do sistema.
- Os testes demonstram que sem o mecanismo de compensação, os SAFS da região da BR-230 ao longo dos trinta anos são economicamente viáveis, porém nos quatro primeiros anos há um maior custo que receita por conta do elevado gasto com a implantação e com a manutenção da atividade. Com a implementação do mecanismo de compensação há um aumento das receitas em todos os anos, mas principalmente nos primeiros quatro anos da atividade produtiva, o que é benéfico para equilibrar os custos iniciais da atividade.
- Considerando a análise dos dados do trabalho verifica-se que o carbono estocado por SAFs de cacaueiro da BR-230 depende do tempo de implantação, entretanto, em média, o estoque supera as cinco toneladas de carbono por ano por hectare. Além disso, o valor deste carbono estocado varia de acordo com o mercado de carbono, e assim, o valor da externalidade socioambiental positiva e do mecanismo de compensação para os SAFs também é proporcional ao valor do carbono no mercado e que para o valor do carbono de US$ 5,00 tCO_2 temos a externalidade socoambiental positiva de R$ 140,20 por tonelada de carbono estocado.
- Com as especificações do modelo testadas, na presença da externalidade socioambiental positiva, o mecanismo de compensação financeira por estoque de

carbono para os SAFs da Transamazônica atribui um valor maior nos primeiros e nos últimos dos trinta anos da atividade. Esta disposição não regular do mecanismo em diferentes anos possibilita a melhora da renda do produtor rural nos primeiros anos onde há maior custo da atividade e nenhuma receita de retorno e, nos últimos anos com valores de Valor Presente Líquido crescentes como forma de investimento de uma renovação da área em uso com um novo plantio ou com a manutenção de uma área antiga ou implantação de nova área e assim, este mecanismo de compensação é um importante fator no financiamento de um novo modelo de desenvolvimento da Amazônia com uma política de subsídio ou de REDD. O excedente do produtor para o valor do carbono de US$ 5,00 tCO_2 é de R$ 2.665.133,20 e o Benefício Social Líquido é de R$ 139.019.960,28.

- Neste modelo dimensionado, o mecanismo de compensação é um instrumento econômico que pode contribuir para a manutenção da atividade produtiva dos SAFs de cacaueiro da BR-230 e assim, consequentemente, contribuir com a conservação ambiental. Entretanto, não se pode presumir que o instrumento do mecanismo de compensação irá resolver todos os problemas de conservação do meio ambiente. Ele pode ser bom para a região da BR-230, com seus fatores de clima, solo e outros que promovem a taxa de carbono estocado e a alta produtividade do cacaueiro fornecendo melhor geração de renda e convívio sustentável entre a atividade produtiva e o meio ambiente com uso da terra capaz de fornecer níveis de serviço ambiental carbono conjuntamente com renda da atividade produtiva.
- Para estes resultados de estudo é preciso observar que o método do mecanismo de compensação baseado no carbono estocado é o começo do debate sobre a compensação financeira para SAFs da BR-230. Desta forma, há mais relações econômicas e sociais e serviços ambientais envolvidos no caso além do carbono e, o processo de valorar os outros serviços ambientais ou o bem público fornecido por estes serviços não foi levado em consideração e não se trata de menosprezá-los, mas de servir como foco para novos estudos para o mecanismo de compensação.
- Em última análise, este estudo não se trata da única forma de se implementar mecanismo de compensação para atividades produtivas rentáveis que mantém os

serviços ambientais, mas promove a abertura para que outros estudos sobre metodologia de implementação do mecanismo de compensação ou REDD para atividades produtivas sejam apresentados como alternativa para práticas produtivas para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

Desta forma, com os resultados obtidos internalizaou-se os Benefícios Ambientais provenientes dos serviços ambientais disponibilizados pelos SAFs através de uma política de subsídio apoiado pela teoria econômica e assim determinou-se o tamanho ou a dimensão da ferramenta da exteranlidade socioambiental positiva por um processo de valoração ambiental para compensar e até estimular ainda mais a garantia da proteção ambiental da região dos SAFs de cacaueiro da BR-230 através deste mecanismo econômico de compensação.

9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. V. C. et al. **Implantação do cacaueiro 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. **Ciencia & 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 Agriculturas Amazônicas, Belém, 2009.

CAMPOS, C. P. **Emissões históricas de CO_2 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.

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. **Equações de volume e peso para estimar biomassa de Eucalyptus**. In: SIMPOSIO 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 productity 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. Clüsener-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 conseqüências. [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 Bárué, Manica**. Moçambique. Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2001. Relatório das actividades 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 CO_2 – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, 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 NEGOCIOS 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.

IBGE. **Cidades**. [S.l.: s.n.], 2011. <http://ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2010.

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 Assessment 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 Uniandes, 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. IslandPress. 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**. Berlim: 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.

MAPAS INTERATIVOS. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2010.

MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO_2 – 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 phytomass 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**. Brasilia, 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/ CP.9). [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, Cametá, Pará. **Acta Amazônica**. v. 34, n. 1, p. 1 – 8. 2004.

SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. **Forest biomass**. 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.

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, 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: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais** ...Santos: INPE, 1998. 1 CD-ROM. 1998.

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, 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.

SPURR, S. H.; BARNES, B. V. **Ecologia Forestal**, 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 rais Forest bird diversity in Sumatra. **BioScience**. Washigton, 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.; TRÜBY, 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 kohlenstoffvorrate in den waldern thuringens. Abschlussbe-richt zur 1. Phase des BMBF-Projektes ‘‘Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls’’. **Max-Planck Institute for Biogeochemistry**, Jena, p. 328, 2003.

ANEXO A - DADOS DO MODELO ECONOMÉTRICO DO MERCADO DE CACAU

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
Fonte	IBGE 2011	Agrianual 2011	IBGE 2011	FGV 2011	Anualpec 2011	IBGE 2011	IBGE 2011	

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