**Universidade De São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em
sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu - PA, Brasil**

Marco Araujo Bonamico

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada

**Piracicaba
2017**

Marco Araujo Bonamico
Bacharel em Ciências Biológicas

**Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em sistemas
agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu - PA, Brasil**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FLÁVIO BERTIN GANDARA MENDES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Bonamico, Marco Araujo

Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu, Brasil / Marco Araujo Bonamico. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

94 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

1. Sistema agroflorestal 2. *Theobroma cacao* 3. São Félix do Xingu 4. Biomassa acima do solo 5. Fertilidade 6. Carbono 7. Sombreamento 8. Índice de Fechamento de Dossel 9. Produtividade 10. Cacau 11. Agricultura familiar 12. Solo I. Título

DEDICATÓRIA

À floresta, e aos seres que a habitam, humanos ou não, na esperança de uma convivência mais harmoniosa e próspera.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Carmen, pela inspiração como pessoa forte, por seu amor, dedicação, apoio e paciência, e a meu padrasto Fernando Nogueira, pelo cuidado e exemplo de retidão;

À minha namorada Fernanda Lemos, por todo o amor, carinho, paciência, companhia e suporte, imprescindíveis nas horas mais duras, inclusive em campo no Pará;

À família Paiva Lemos pelo carinhoso acolhimento, torcida e suporte nas idas e vindas em Piracicaba;

Ao meu orientador Dr. Flávio Gandara, pela oportunidade, paciência e sabedoria;

Aos professores Dr. Ciro Righi e Dr. Sergius Gandolfi pelas preciosas orientações na qualificação;

Ao IMAFLORA e equipe, em especial à Andressa Neves e Kássio Luz, pela amizade e apoio logístico em campo;

Ao meu amigo e colega de pós e campo, Daniel Braga, pelas dicas, ajudas, contatos e orientação no complexo mundo do cacau amazônico;

Aos amigos da ESALQ, Henrique Brant, Adriana Bellemo, Jhinmy Batra, Victor Gálvez, Rafael Vela, e demais colegas do Laboratório de Ecologia Vegetal e Agroecologia, LASTROP e LERF. Os risos, ombros e amizade de vocês foram e são essenciais para mim e para a conclusão deste trabalho;

À Jade Ribeiro, pela amizade, pela hospitalidade e paciência durante as idas e vindas;

Ao professor Carlos Tadeu Dias e ao meu amigo e colega de pós Marcos Busanello, pelo direcionamento e auxílio em estatística;

À família Barros: Sirlene, Edilene, Daniela, Gabriel, Maria, Bilu e Cássia por carinhosamente me adotarem como parte de sua família em São Félix;

Aos produtores xinguenses do Xadá, Nova Vida e Tancredo Neves: Walter, Edro (Eudes), Miúdo, Nelci, Edmilson, Tampinha (*in memoriam*), Zé Militão, Jó Pena, Zé Domingos, Genésio, Juscelino, Edison, Edigar, Leudimar, Elmar, Zeca, e suas famílias, que me receberam em suas casas de braços abertos e possibilitaram (muitas vezes auxiliando) a coleta dos dados em suas terras;

Aos amigos da pousada Rio Xingu e da cidade, Cledson e Cledson Júnior, Paulo, Rose e Joelma, e ao médico amigo José Perez;

À NORAD e à The Nature Conservancy e sua equipe, em especial Bronson Griscom, Rodrigo Freire, Raimunda Mello, Márcio e Erivaldo, pelo financiamento, equipamento e apoio em campo. Este estudo não seria possível sem vocês.

À direção do ILEX da UNIFESSPA em São Félix do Xingu, que me permitiu o uso de suas instalações e preciosa internet via satélite.

À Elza, do Lab. de Ecologia Vegetal e Agroecologia da ESALQ, pelo apoio e prestatividade;

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia Aplicada Interunidades pela oportunidade de estudo, e à sua equipe, em especial à Mara Casarin pelas dicas, positividade e simpatia;

À CAPES pelo imprescindível financiamento, via Demanda Social do PPGI-EA;

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

Cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) Fonte: Autor, 2015.

SUMARIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
1.1. ANTROPOCENO	11
1.2. AGRICULTURA, DESMATAMENTO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	12
1.3. SÃO FÉLIX DO XINGU - PA	15
1.4. A PRODUÇÃO DE CACAU COMO ALTERNATIVA.....	18
1.4.1. <i>Sistemas agroflorestais como alternativa mitigatória dos impactos negativos da ação humana sobre as florestas</i>	19
1.4.2. <i>O cacau e seu cultivo agroflorestal</i>	20
1.5. ESTOQUE DE CARBONO: UM SERVIÇO AMBIENTAL DO SAF-CACAU	22
1.5.1. <i>Biomassa e carbono estocado - impactos na produção de cacau</i>	23
1.6. SOMBREAMENTO, FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO CACAUEIRO	25
2. OBJETIVOS	28
2.1. OBJETIVO GERAL.....	28
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA AMOSTRADA	31
3.1.1. <i>Localização e clima</i>	31
3.1.2. <i>Contexto climático durante a coleta de dados</i>	32
3.1.3. <i>Solos</i>	35
3.1.4. <i>Vegetação</i>	35
3.1.5. <i>Propriedades amostradas e seus agricultores</i>	36
3.2. DESENHO AMOSTRAL	38
3.2.1. <i>Biomassa acima do solo e estoque de carbono</i>	39
3.2.2. <i>Análise química e física do solo</i>	40
3.2.3. <i>Cobertura de Dossel e ICD</i>	41
3.2.4. <i>Produtividade</i>	42
3.2.5. <i>Caracterização dos produtores e do manejo agroflorestal</i>	44
3.2.6. <i>Análise estatística</i>	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. PERFIL DOS PRODUTORES E CARACTERIZAÇÃO DO MANEJO DA ÁREA	47
4.1.1. <i>Perfil dos produtores</i>	47
4.1.2. <i>Manejo do SAF-cacau</i>	49
4.2. RESULTADOS GERAIS.....	55
4.3. BIOMASSA ACIMA DO SOLO E CARBONO	55
4.4. RELAÇÕES ENTRE BIOMASSA, SOMBREAMENTO E PRODUTIVIDADE DO CACAUEIRO	56
4.4.1. <i>Regressão da idade do SAF-cacau e carbono total estocado no componente arbóreo acima do solo.</i>	57
4.4.2. <i>Regressão carbono acima do solo em cacau e produtividade do cacau</i>	58
4.4.3. <i>Regressão Carbono acima do solo de árvores de sombreamento e Produtividade de cacau</i>	59
4.4.4. <i>Regressão Carbono Total e Produtividade</i>	61
4.4.5. <i>Regressão Carbono acima do solo de árvores de sombreamento x ICD</i>	62
4.4.6. <i>Índice de Cobertura de Dossel e Produtividade de cacau</i>	64
4.5. SOLO	68
4.5.1. <i>Análise química da fertilidade</i>	68
4.5.1.1. pH	69
4.5.1.2. <i>Matéria orgânica</i>	70
4.5.1.3. <i>Fósforo</i>	70
4.5.1.4. <i>Potássio</i>	71

4.5.1.5. Cálcio	71
4.5.1.6. Magnésio	71
4.5.1.7. Capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e acidez potencial (H+Al)	71
4.5.2. <i>Análise física do solo</i>	72
4.6. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	73
5. CONCLUSÕES	77
6. REFERÊNCIAS	79

RESUMO

Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu - PA, Brasil

Considerando os desafios do aumento da pressão antrópica, das emissões de gases do efeito estufa, das mudanças climáticas e do crescimento da área de desmatamento acumulado na Amazônia - incentivado pelo avanço da fronteira agropecuária - é necessário encontrar formas alternativas de produção agrícola que apresentem potencial mitigatório. A presente pesquisa coletou dados em sistemas agroflorestais de cacau (*Theobroma cacao* L.) (SAF-cacau) em 40 parcelas de 20 x 50 metros (1000 m²) amostradas em 20 pequenas propriedades, no município de São Félix do Xingu, no sudeste do Pará, objetivando encontrar a relação entre o estoque de carbono acima do solo de indivíduos arbóreos e a produção de cacau, buscando sua relação ótima. Para melhor compreensão da relação carbono x produção também foram estimadas variáveis que influenciam na produtividade do cacau, como fertilidade do solo, entrada de luz no sistema, e manejo. Para tanto, os métodos utilizados na coleta dos dados foram: (1) estimativa da altura do dossel; (2) medida da circunferência à altura do peito (CAP) dos indivíduos arbóreos de sombreamento; (3) medida da circunferência a 30 cm do solo dos cacaueiros; (4) amostra do solo em duas profundidades – 0-10 cm e 20-30 cm; (5) cálculo do Índice de Cobertura de Dossel (ICD) utilizando densiômetro florestal; (6) estimativa da produção de cacau por contagem de frutos e (7) levantamento por meio de questionário semiestruturado das condições socioeconômicas e percepção dos agricultores sobre seu plantio, além do manejo dado a ele. Os dados referentes ao SAFs-cacau foram analisados com uso de Análise de Componentes Principais e regressões polinomiais, de forma a compreender de que forma as variáveis se relacionavam. Como resultado, constatamos que os SAFs-cacau possuem em média $14,35 \pm 4,9$ anos de plantio, produzem em média $354,32 \pm 335,52$ kg de amêndoa seca de cacau.ha⁻¹.ano⁻¹ estocando em média $13,53 \pm$ MgC.ha⁻¹ em cacaueiros, $16,05 \pm 23,56$ MgC.ha⁻¹ em árvores de sombreamento, compondo um total de $29,58 \pm 24,37$ MgC.ha⁻¹ de biomassa arbórea acima do solo, sob índice de cobertura de dossel (ICD) acima do cacaueiro médio de $27,85 \pm 22,84$. Foi averiguado que quando considerada a relação renda por área, a cultura do cacau provê renda até 8 vezes maior que a pecuária. As análises indicam uma grande variedade de formas de manejo, resultando em grande variação dos dados amostrados, inclusive produtividade. A parcela com melhor relação carbono/produtividade, com produtividade acima da média local, apresentou carbono de sombreamento de 17,92 MgC.ha⁻¹, estoques de carbono acima do solo em cacaueiros de 11,53 MgC.ha⁻¹ e carbono total acima do solo de 29,45 MgC.ha⁻¹, com produtividade de 501,28 kg de amêndoa seca/ano e ICD de 48,83%. As análises de solo mostraram pH, fósforo, magnésio e cálcio em média fora do desejável para cultivo do cacaueiro. As regressões polinomiais indicam que há potencial para enriquecer os SAFs-cacau com árvores de sombreamento de uso econômico, compensando a perda de renda advinda da menor produtividade do cacaueiro, além de prover serviços ambientais.

Palavras-chave: SAF-cacau; Carbono; *Theobroma cacao*; Cacau; Biomassa acima do solo; Fertilidade; Sombreamento; Índice de Cobertura de Dossel; Produtividade; Agricultura familiar

ABSTRACT

Relationship between aboveground carbon stock and cocoa production in cocoa agroforestry system in São Félix do Xingu - PA, Brazil

Considering the challenges posed by the increasing anthropogenic pressure, greenhouse gas emissions, climate change and the growth of deforestation in the Amazon - encouraged by the advancement of the agricultural and livestock frontier - it is necessary to find alternative forms of agricultural production that has potential for mitigation. The present study collected data on 20 cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems (AFS), 2 plots of 20 x 50 meters (1000 m²) sampled in 20 small farms in the municipality of São Félix do Xingu, in the southeast of the Pará, aiming to find the relation between the aboveground carbon stocks and cocoa production, searching for its optimal relation. For a better understanding of the carbon x production relationship, we also estimated variables that influence cacao yield, such as soil fertility, light input into the system, and management. To do so, the methods used in data collection were: (1) canopy height estimation; (2) measurement of the circumference at the chest height (CAP) of shade trees; (3) measurement of the circumference at 30 cm of the soil of cacao trees; (4) soil sample at two depths: 0-10 cm and 20-30 cm; (5) calculation of the Canopy Coverage Index (DCI) using a forest densitometer; (6) estimation of cocoa yield by fruit counts and (7) semi-structured questionnaire survey of socioeconomic conditions and farmers' perception of their AFS, in addition to the management given to them. The data concerning cocoa-based AFS were analyzed using Principal Component Analysis and polynomial regressions, in order to understand how the variables were related to each other. As a result, we found that cocoa SAFs have a mean of 14.35 ± 4.9 years of planting, producing on average 354.32 ± 335.52 kg of dry cocoa beans.ha-1.year-1 stocking on average $13.53 \pm$ MgC.ha-1 in cacao trees, 16.05 ± 23.56 MgC.ha-1 in shading trees, composing a total of 29.58 ± 24.37 MgC.ha-1 of aboveground tree biomass, under canopy cover index (ICD) (measured above the cocoa tree) of 27.85 ± 22.84 . It was verified that when considering the relation income by area, the cocoa AFS provides income up to 8 times greater than livestock. The analyzes indicate a wide variety of management methods, resulting in a large variation of the data sampled, including yield. The plot with best carbon/yield relation and with yield above the local average, showed shading tree carbon stocks of 17.92 MgC.ha-1, aboveground carbon stocks in cacao trees of 11.53 MgC.ha-1 and total aboveground carbon of 29.45 MgC.ha-1, yielding 501.28 kg of dried cocoa beans/year and ICD of 48.83%. Soil analyzes showed soils with averages of pH, phosphorus, magnesium and calcium below recommended values for cacao cultivation. Polynomial regressions indicate that there is potential to enrich cocoa-based AFS with shading trees for economic use, compensating for the loss of income from lower cocoa yield, as well as providing environmental services.

Keywords: Cocoa AFS; Carbon; *Theobroma cacao*; Cocoa; Aboveground biomass; Fertility; Shading; Canopy Coverage Index; Productivity; Family farming

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTROPOCENO

O ambiente terrestre atravessou um raro período de estabilidade nos últimos dez mil anos. Compreendido como o período geológico desde a última era glacial até o presente, o Holoceno testemunhou o surgimento e crescimento da civilização humana. Após a Revolução Industrial do século XVII, porém, as ações humanas vêm criando mudanças ambientais suficientemente significativas para que uma nova era geológica fosse criada - e cunhada - em sua alusão: O Antropoceno (ROCKSTRÖM et al., 2009; STEFFEN; CRUTZEN; MCNEILL, 2007).

Com uma população atualmente estimada em 7 bilhões de habitantes, e com projeções da ONU indicando crescimento para 9 ou 10 bilhões até 2050 (DURAIAPPAH et al., 2005), a humanidade possui demandas crescentes por recursos naturais, que se traduzem em pressões também crescentes sobre os ecossistemas e seus serviços, já sobrecarregados além de sua capacidade suporte (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Dentre os limites planetários estipulados que já foram ultrapassados, o relacionado às mudanças climáticas está sendo intensamente debatido na comunidade internacional. As alterações climáticas decorrentes de atividades humanas, em grande parte pela emissão de gases de efeito estufa, estão consequentemente alterando ecossistemas e sua biodiversidade.

A comunidade científica aponta, com certeza mediana, que haverá significativos impactos em serviços ecossistêmicos ao redor do planeta se as médias de temperatura globais subirem mais que 2 graus centígrados acima dos níveis pré-industriais, ou se subirem mais que 0,2 graus centígrados por década. As projeções do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC) são incertas quanto ao aquecimento resultante de concentrações de gases do efeito estufa estabilizadas, mas as projeções requerem uma estabilização em níveis menores que 450 ppm de CO₂ (STEFFEN; CRUTZEN; MCNEILL, 2007).

Infelizmente, desde 1750 as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono passaram de estáveis 280 (DURAIAPPAH et al., 2005; MOLINA et al., 2014) a 404 partes por milhão em 2016 (NOAA, 2016), um aumento de 92%, oriundo principalmente da queima de combustíveis fósseis e alterações no uso do solo (DURAIAPPAH et al., 2005). Nos últimos 100 anos o planeta já apresentou aumento de 0,5 graus centígrados em suas médias de temperatura.

As mudanças climáticas, especialmente o aquecimento em temperaturas regionais, estão causando redistribuição de espécies, alteração no tamanho das populações, o momento de seus eventos migratórios e o aumento e frequência de surtos de pragas e doenças. Diversos recifes de coral, já estão sob efeito de episódios de branqueamento devido ao aumento da temperatura superficial dos oceanos nos meses mais quentes do ano (STEFFEN; CRUTZEN; MCNEILL, 2007).

Como exemplo deste impacto, durante nossa curta estada no planeta as taxas de extinção de espécies aumentaram aproximadamente 1.000 vezes além das taxas médias de extinção encontradas ao longo da história

geológica do planeta. De 10 a 30% dos mamíferos, aves e anfíbios estão atualmente ameaçados de extinção (DURAIAPPAH et al., 2005, p.4).

1.2. AGRICULTURA, DESMATAMENTO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As alterações climáticas também estão impactando as atividades humanas. Nos últimos 50 anos o número tanto de inundações quanto de incêndios aumentou significativamente, em parte devido a danos aos ecossistemas. Prejuízos econômicos advindos de eventos extremos aumentaram em dez vezes desde 1950, para aproximadamente 70 bilhões de dólares em 2003. Dentre estes prejuízos, catástrofes naturais como terremotos, inundações, incêndios e secas perfizeram 84% das perdas (GRIMALDI et al., 2014, p. 58).

A agricultura está entre as atividades humanas mais impactadas pelas mudanças climáticas, pois diversas culturas agrícolas são adaptadas a climas e regiões específicas e apresentam sensibilidade a estas alterações. A disponibilidade de água também pode ser alterada em determinadas regiões; e temperaturas mais elevadas podem influenciar o crescimento, desenvolvimento e distribuição de pragas e doenças agrícolas (THORNTON; CRAMER, 2012). O mesmo sistema de produção de alimentos que sofre os impactos das mudanças climáticas também contribui de 19 a 29% do total de emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (VERMEULEN; CAMPBELL; INGRAM, 2012).

Ademais, no sistema global de produção de alimentos, a produção agrícola é considerada a principal emissora de dióxido de carbono. Segundo estimativas de 2005, 2007 e 2008, a produção agrícola foi responsável pela liberação de 12 bilhões de toneladas de CO² equivalente por ano, tendo sido responsável por 86% de toda emissão antropogênica relacionada à produção de comida (VERMEULEN; CAMPBELL; INGRAM, 2012).

Um dos principais fatores que contribui com a emissão de gases de efeito estufa é a mudança de uso do solo, em especial a conversão de florestas nativas em área agrícola e madeireira. A queima de florestas contribui com 20% dos gases de efeito estufa emitidos por seres humanos (IPCC, 2007; FIELD et al., 2011).

No Brasil, segundo dados de emissões de CO² equivalente, as emissões da agricultura, somadas às provenientes de mudança no uso do solo (Figura 1) - que em grande parte são provenientes de desmatamento para fins agrícolas- equivaleram, em 2015, a 68% do total de emissões brasileiras (SEEG, 2016).

Figura 1 – Emissões brasileiras de CO₂ equivalentes, em gigatoneladas, e a taxa anual de desmatamento, em hectares, segundo métrica GWP-AR5. Fonte: SEEG 2016.

Segundo relatório do SEEG (2014), as emissões eram concentradas nos estados do Sul e Sudeste do país, porém, estão avançando em direção à Amazônia à medida que a fronteira agrícola avança nessa direção. Segundo Nobre (2014, p. 29), de forma grosseira 20% da Amazônia já foi desmatada, e nos próximos 40 anos outros 20% de floresta podem ter o mesmo destino. Esta alteração de cobertura vegetal desencadearia eventos climáticos que levariam, entre outros impactos negativos, à savanização do bioma.

Outro aspecto que acaba sendo prejudicado é o social: as populações tradicionais e comunidades rurais não se beneficiam economicamente de forma adequada e ainda perdem os recursos florestais essenciais para sua subsistência. (ADEODATO et al., 2011; DEAN, 1996)

Na Amazônia, a expansão pecuária (Figura 2) é uma das principais causas diretas do desmatamento, e está associada ao crescimento do mercado para seus produtos; ao crescimento populacional; a fatores estruturais culturais e a políticas governamentais (GEIST; LAMBIN, 2001, 2002). Dados do IBGE (2005) apontam que entre 1990 e 2003, o rebanho bovino na Amazônia Legal Brasileira aumentou de 26,6 milhões para 64 milhões de cabeças, o que representa um aumento de 140%. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indica que as taxas de desmatamento atingiram o ápice de 26.000 km² em 2003 e depois reduziram ano após ano até alcançar 7.000 km² em 2010, uma diminuição de 70%.

Figura 2 - Gráfico demonstrando o deslocamento da pecuária nacional do antigo polo em MT em direção a outros territórios da Amazônia Legal, de 1970 a 2013. Fonte: SEEG, 2014.

No início dos anos 70, sob regime militar, o governo federal promoveu créditos e incentivos fiscais como política de desenvolvimento visando atrair capital privado para a região Amazônica e financiou a construção da rodovia Transamazônica – partindo do Maranhão e Pará no Leste, cruzando a bacia amazônica, - até então inexplorada - chegando até o Acre, como parte do Plano de Integração Nacional (SCHIMINK; WOOD, 2012).

Na época, a máquina de propaganda federal afirmava que a Transamazônica conectaria “os homens sem terra à terra sem homens”, e que seriam oferecidas terras agrícolas gratuitamente aos pequenos produtores para a formação de povoados esparsos, com o objetivo de assegurar o controle do território norte do país. Entretanto, o projeto atraiu uma quantidade massiva de imigrantes – muito além da capacidade de assentamento dos órgãos públicos - que acabaram ocupando desordenadamente as terras da região (SCHIMINK; WOOD, 2012).

Além dos pequenos migrantes, também foram atraídos investidores de grande porte de todas as partes do Brasil, inclusive do centro e do Sudeste, ocupando e transformando porções maiores de terra em pastagens ou para produção pecuária ou para especulação contra futura inflação (SCHIMINK; WOOD, 2012).

Elemento importante do arco do desmatamento amazônico e palco dos desdobramentos históricos da ocupação da Amazônia pelo ser humano, desde 2006 o estado do Pará ultrapassou o Acre e passou a liderar o ranking brasileiro de taxas de desmatamento na Amazônia legal, desmatando em 2016 3.025 km² de vegetação nativa (PRODES, 2017). Esta taxa representa uma redução de 71% em relação à registrada em 2004 (pico recorde), quando o Governo Federal iniciou o Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm). Apesar de baixa se comparada à taxas anuais do passado, a taxa de desmatamento estimada em 2016 indica um aumento de 29% em relação a 2015 (PRODES, 2017).

A Figura 3 abaixo demonstra a partir de dados do PRODES – Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - a evolução

das taxas de desmatamento (km^2/ano) na Amazônia e no estado do Pará, e aponta a taxa de 7.989 km^2 de corte raso no período de agosto de 2015 a julho de 2016.

Figura 3 - Evolução das taxas de desmatamento (km^2/ano) na Amazônia Legal (azul) e no estado do Pará (laranja). (a) Média entre 1977 e 1988 (b) Média entre 1993 e 1994 (c) Taxas Anuais Consolidadas (d) Taxa Estimada Fonte: Autor, 2017, dados do PRODES, 2016.

1.3. SÃO FÉLIX DO XINGU - PA

Inserido no contexto de desmatamento e ocupação paraense, o município de São Félix do Xingu, localizado no sul do estado, foi considerado líder do desmatamento na região amazônica em 2008 e desde 2001 lidera de maior área de desmatamento acumulado (TNC, 2013; PRODES, 2017). No período de 2000 a 2015, São Félix do Xingu teve $17.885,4 \text{ km}^2$ de vegetação nativa desmatada, que equivale a $17.885.400$ hectares (PRODES, 2017). A Figura 4 expõe a evolução da taxa de desmatamento e o desmatamento acumulado no período de 2001 a 2016 no município.

Figura 4 - Distribuição do desmatamento no município de São Félix do Xingu – PA. Fonte: PRODES, 2017 (adaptado).

São Félix do Xingu é o segundo maior município paraense e sexto maior município do país, e apresenta dimensões aproximadas ao dobro do tamanho do estado do Rio de Janeiro – cerca de 80.000 km² (IBGE, 2007). Sua origem está relacionada à produção de borracha, extrativismo de castanha, garimpo, caça e pesca, quando o acesso ao município era realizado via navegação subindo o rio Xingu de Altamira em direção à sua nascente, no Mato Grosso.

Nas últimas décadas, com o processo migratório e de colonização, expandiram-se as atividades madeireiras, mineradoras, de agricultura e pecuária (SCHMINK; WOOD, 2012; IBGE, 2015). Contudo, a ocupação e consolidação do território ocorreu de forma desordenada e conflituosa, envolvendo principalmente indígenas e extrativistas, intensificando-se entre novos atores como pecuaristas, madeireiros, grileiros e garimpeiros após a construção da rodovia PA-279, responsável por conectar São Félix do Xingu ao município de Xinguara e ao resto do Brasil (SCHIMINK; WOOD, 2012).

O município apresentava PIB (Produto Interno Bruto) a preços correntes de 2014, de aproximadamente 1,03 bilhões de reais, sendo 47% representado pelas atividades agropecuárias, com a pecuária responsável por 98,5% (IBGE, 2017). A Figura 5 apresenta a relação entre os dados do desmatamento acumulado (PRODES, 2017) com o crescimento do rebanho bovino (em nº de cabeças de gado) em São Félix do Xingu, que em 2015 alcançou aproximadamente 2,2 milhões de cabeças (IBGE, 2015).

Figura 5 - Relação entre o desmatamento acumulado e o crescimento do rebanho bovino em São Félix do Xingu. Fonte: IBGE, 2015 (adaptado)

Alarmados com a realidade do desmatamento no município, em 2011 foi firmado o “Pacto Municipal para a Redução do Desmatamento” (Pacto Xingu), estabelecido entre o Brasil (Ministério do Meio Ambiente, em parceria com as secretarias de meio ambiente do Estado do Pará e do município) e a União Europeia, administrada pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), com o propósito de apoiar os esforços do governo brasileiro para reduzir o desmatamento da Floresta Amazônica, especialmente em São Félix do Xingu (FAO, 2014).

O projeto teve duração de três anos e objetivava: criação do Pacto Municipal para a redução do desmatamento com apoio dos atores públicos, privados e da sociedade civil; Cadastro Ambiental Rural e mapeamento dos imóveis rurais no município; Plano Municipal de Recuperação de Áreas Degradadas e fortalecimento das capacidades técnicas e institucionais dos órgãos públicos (FAO, 2014).

Este pacto visou, entre outros objetivos, reduzir o desmatamento a menos de 40 km² anuais ano no município, para retirá-lo da lista criada com base no Decreto Presidencial 6.321/07 (BRASIL, 2007), que penaliza municípios com altas taxas de desmatamento (MORAES, 2014) mas até a data deste trabalho São Félix ainda consta na lista do IBAMA como município prioritário. Dependendo em grande parte da matriz econômica que se estabelece a partir da pecuária, o município mesmo sob monitoramento direto do Ministério do Meio Ambiente ainda apresenta índices maiores que os aceitáveis (MMA, 2017).

Os benefícios advindos da manutenção e preservação da floresta amazônica são amplamente reconhecidos pela comunidade científica, considerando principalmente o potencial alimentício e farmacológico (HIGUCHI, 2012). Dentre estes benefícios é válido ressaltar também os serviços ecossistêmicos prestados pela floresta: estoque de carbono; abrigo às outras formas de vida; regulação de cheias e enchentes; controle de erosão; proteção das bacias hidrográficas; conservação da biodiversidade; oportunidades recreacionais e valores estéticos (SANTOS et al., 2012).

O bioma amazônico ocupa uma área territorial de 6,4 milhões de km², abrangendo nove países sul americanos, cuja bacia amazônica possui 3,9 milhões de km². O Brasil detém cerca de 63% desse bioma, o que representa 49% do território brasileiro (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013). As florestas além de cobrirem aproximadamente 1/3 da superfície do planeta, estocam 90% de todo carbono em matéria viva do sistema terrestre, sendo que a maior quantidade de carbono estocado em florestas encontra-se no Brasil. (Martinelli et al, 2009).

Tendo em vista o grau de importância do bioma, e da situação ambiental de São Félix do Xingu, é necessário o estabelecimento de formas alternativas de produção, que possibilitem ao mesmo tempo um retorno financeiro aos produtores da região. Para isso, os sistemas agroflorestais são vistos como excelente estratégia, melhorando a qualidade de vida das comunidades rurais e atraindo investimentos que promovam sustentabilidade (PORRO, 2009).

1.4. A PRODUÇÃO DE CACAU COMO ALTERNATIVA

A atual elevada demanda mundial por cacau, a despeito de seu complexo e inconstante mercado internacional, e o potencial produtivo dessa cultura no Pará fizeram o governo desse Estado investir na expansão da produção, fazendo com que ele se tornasse o segundo maior produtor de cacau em amêndoas do Brasil e o primeiro em produtividade (880 Kg/ha) (ANUÁRIO BRASILEIRO DO CACAU, 2012; IBGE, 207).

O cacau no estado do Pará pode representar uma opção para pequenos produtores e agricultura familiar, pois a maioria destina entre 5 a 10 hectares à atividade. Essa é uma cultura que se adapta muito bem aos sistemas agroflorestais locais, contribuindo para a conservação da Floresta Amazônica (ANUÁRIO BRASILEIRO DO CACAU, 2012).

São Félix do Xingu, já foi o município campeão de desmatamento no país. Em uma década, cerca de 12 mil km² de floresta deram lugar ao pasto e mais de 2 milhões de cabeças de gado. Hoje com o auxílio de organizações não-governamentais e poder público, as agroflorestas de cacau estão sendo implantadas para cumprir o papel contrário, mitigando os danos (TNC, 2015).

Nesse município, o cacau vem sendo usado como ferramenta de recuperação de áreas degradadas e como garantia de fonte de renda, sobretudo para pequenos produtores. Apesar de muitos dos seus cidadãos estarem dedicados à agricultura, menos de 4% do território municipal é ocupado por essa atividade, mas são importantes contribuintes para a manutenção ecológica da paisagem como um todo (ANUÁRIO BRASILEIRO DO CACAU, 2012).

O desenho do sistema agroflorestal de cacau na região, no entanto, é variável. Fatores como a diferença no número de espécies e sombreamento do cacaueiro podem afetar a produtividade e provimento de serviços ambientais pelo sistema agroflorestal (BRAGA, 2015).

1.4.1. Sistemas agroflorestais como alternativa mitigatória dos impactos negativos da ação humana sobre as florestas

Na produção agrícola, cada vez mais os sistemas agroflorestais vêm ganhando espaço dentro das práticas alternativas de uso do solo, uma vez que vêm sendo amplamente reconhecidos como atividades de menor impacto e com potencial para conciliar produção e conservação do meio ambiente, oferecendo serviços ambientais.

Nyhoff (1982) define agrofloresta como “uma palavra nova para práticas antigas onde plantas lenhosas crescem com cultivos e/ou gado na mesma unidade de área”. Isso porque, como prática agrícola, o sistema agroflorestal não é uma novidade, sendo um exemplo disso as culturas de café e cacau estabelecidas na América Central em tempos pré-colombianos (NAIR, 1991; DE MELO et al., 2011; MULLER, 2012).

A definição básica de sistemas agroflorestais (SAF) é apresentada por vários autores (LUNDGREN e RAIN TREE, 1982; MUSÁLEM, 2001; RAMÍREZ, 2005; ICRAF, 1990 apud GOB, 2006) e abrange o uso da terra onde se aplicam práticas e técnicas ecologicamente viáveis de combinação de árvores ou arbustos perenes, associados a cultivos agrícolas e/ou animais, onde se deve considerar as escalas espacial e temporal e a existência de uma interação significativa entre os elementos que o constituem. Outro aspecto seria a interação ecológica e econômica entre os diferentes componentes.

Combe (1982) assinala a importância do empreendimento de estudos de caso acerca das aplicações bem sucedidas de sistemas agroflorestais, para que após isso sejam difundidas novas técnicas de cultivo desse modelo de sistema produtivo. O autor pontua ainda sobre o caráter interdisciplinar envolvido na prática de pesquisa sobre sistemas agroflorestais, colocando a análise completa dos fatores envolvidos no agroecossistema como a melhor abordagem para tanto.

Segundo Nair (1989) os sistemas agroflorestais podem ser classificados de diversas formas, principalmente segundo seus componentes. Avaliados sob tal perspectiva, os sistemas agroflorestais podem ser divididos em sistemas agrosilviculturais, silvipastoris e agrossilvipastoris. Os primeiros são caracterizados como sistemas que incluem cultivares agrícolas e espécies arbóreas, também incluindo lianas e arbustos. Já os sistemas silvipastoris são caracterizados por pastagens e animais em meio a indivíduos arbóreos, e os sistemas agrosilvipastoris, que incluem animais/pastagens, cultivares e o componente arbóreo.

Segundo Daniel et al. (1999), os SAFs podem influenciar positivamente diversas características do ambiente no qual são implantados, entre elas, a recuperação das características físicas e químicas dos solos e dos demais atributos do ecossistema como água, ar, microclima, fauna e flora. Os autores pontuam que tal potencialidade das agroflorestas estão pautadas nos serviços ambientais providos, dentre os quais destacam a fixação de nitrogênio, a redução dos processos erosivos atuantes no solo local, o aumento do teor de matéria orgânica no sistema, a regulação dos níveis de umidade e do microclima, a composição da fauna do solo, a transformação da paisagem e o aumento da biodiversidade. O cultivo do cacaueiro constitui um ótimo exemplo para a abordagem de sistemas agroflorestais, pois é uma planta tolerante ao sombreamento, que pode ser

cultivada à sombra de outras espécies arbóreas ou consorciada com diferentes espécies agrícolas, perenes ou não (MÜLLER e GAMA-RODRIGUES, 2012).

1.4.2. O cacaueteiro e seu cultivo agroflorestal

O cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie sul americana arbórea, perenifolia e pertence à família Malvaceae. Supõe-se que o cacaueteiro tenha seu centro de diversidade na região das nascentes do Rio Amazonas e Orenoco, de onde se espalhou, cobrindo o norte da América do Sul e Central e México, sendo cultivado pelas culturas Asteca e Maia no México (MORORÓ, 2012; WOOD, 1985, p. 1-2).

Sua altura, ausente o manejo de poda, pode chegar a 20 metros em ambientes sombreados de floresta, contudo, em condições de cultivo agrícola, sua altura é mantida entre 3 e 5 metros (MÜLLER, 2012; NETO, 2001; TOXOPEUS, 1985, p.13) (Figura 6).

Figura 6 - *Theobroma cacao* e seus frutos, em SAF-cacau de São Félix do Xingu-PA. Fonte: Autor, 2015.

O cacaueteiro apresenta cauliflora, pois suas diminutas flores hermafroditas surgem de almofadas florais no tronco ou em ramos lenhosos, em uma gema desenvolvida na axila de uma antiga folha. A planta produz um grande número de flores (Figura 7A), até 100.000 anualmente, das quais 1 a 5% são fertilizadas quase que exclusivamente por diminutos insetos dípteros do gênero *Forcipomya*, sendo que apenas cerca de 0,1% das flores se transformam em frutos (SILVA NETO, 2001; TOXOPEUS, 1985, p. 21). A grande importância da presença das moscas *Forcipomya* sp. no sistema para a produção de frutos de cacau enfatiza um manejo racional ou mesmo livre de aplicação de inseticidas (SILVA NETO, 2001).

Na região amazônica o cacaueteiro apresenta dois picos distintos de floração: um menor junto ao início do período menos chuvoso e outro após a estiagem e início das chuvas. O tempo de desenvolvimento do fruto, da polinização à maturação varia de 140 a 205 dias, com média de 167 dias (SILVA NETO, 2001).

Os frutos, de formato ovoide ou alongado e cores que variam do verde ao roxo, desenvolvem-se sustentados por pedúnculo lenhoso (SILVA NETO, 2001), e contém em média 40 sementes (Figura 7B) (LEÃO, 2010). Na região amazônica o índice de frutos, ou a quantidade de frutos que é necessária para se obter 1 quilo de amêndoas secas de cacau, oscila entre 15 e 30 frutos (SILVA NETO, 2001).

Figura 7 - (A) Flor e (B) fruto aberto do cacaueiro. Fonte: Autor, 2015.

A semente fermentada, chamada de amêndoa (Figura 8B), é o principal produto comercializado do cacaueiro. Após passar por processo de fermentação, geralmente em cochos de madeira, ela é usualmente seca ao sol (Figura 8A) e vendida, sendo empregada na produção do chocolate. Delas se extrai também a manteiga, utilizada pela indústria farmacológica e cosmética. A mucilagem que envolve as sementes é rica em açúcares e pode ser utilizada na fabricação de geleia, vinho, vinagre e suco, entre outros produtos (NETO, 2001; MORORÓ, 2012).

Figura 8 – (A) Sistema de secagem ao sol de amêndoas de cacau em barcaça e (B) Amêndoas. Fonte: Autor, 2016.

A temperatura média máxima ideal para o cultivo do cacaueiro encontra-se entre 30-32°C, estando a mínima compreendida entre 18-21°C, com mínimo absoluto 10°C (WOOD; LASS, 1985 p.58). Temperaturas baixas afetam o cacaueiro inibindo sua floração, reduzindo o aumento da circunferência do tronco e ainda aumentando a incidência de podridão parda, uma doença fúngica que acomete o cacaueiro. Müller e Valle (2012,

p.32) citam um experimento fenológico de Alvim (1988), que constatou que sob baixas temperaturas, o cacaueteiro apresenta baixa intensidade de floração e paralisação do crescimento cambial, contudo sua frutificação neste período foi mais numerosa, já que o cacaueteiro desviou os fotoassimilados da floração para a frutificação.

Oscilações de temperatura maiores que 9 °C também são consideradas deletérias, e podem levar a um desenvolvimento não satisfatório do cacaueteiro (HARDY, 1961, p.17).

Os limites de altitude para o cultivo do cacaueteiro estão relacionados às temperaturas características desta altitude, sendo estimados em função dela. A maior parte das áreas de cultivo de cacau encontram-se abaixo de 300 metros acima do nível do mar, existindo, contudo, áreas desse cultivo em até 1400 metros de altura, como ocorre na Colômbia (WOOD; LASS, 1985).

Os índices de pluviosidade considerados por Wood (1985, p.58) como ótimos para o cultivo dessa espécie vão de 1.250 a 3000 milímetros por ano, preferencialmente de 1.500 a 2.000 mm anuais. Os autores pontuam ainda ser ideal que a estação seca não dure mais do que 3 meses, com não menos do que 100 mm de chuva ao mês. Os níveis ideais de umidade relativa no cultivo do cacaueteiro são especialmente altos, variando de 70-80% o período diurno, e 100% durante a noite. Tal variável também se relaciona à temperatura, sendo o clima quente e úmido favorável ao crescimento do cacaueteiro (WOOD; LASS, 1985; SILVA NETO, 2001).

Seu sistema radicular é tido como pivotante, com uma raiz que em solos profundos pode desenvolver-se até 2 metros de profundidade. Aos primeiros 20-30 centímetros desta raiz pivotante, ramificam-se de 70 a 90% das raízes laterais, que são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrição do cacaueteiro (SILVA NETO, 2001; WOOD; LASS, 1985). Estas raízes laterais se subdividem formando densos tufos de radículas, formando um tapete de finas raízes recobrimdo os primeiros 20 cm do solo, e alcançando radialmente até 6 metros no entorno da planta (WOOD; LASS 1985).

O cacaueteiro não se mostra tolerante a ventos fortes, acima de 2,5 m/s, pois além de aumentarem sua evapotranspiração, as rajadas de vento podem acarretar danos aos pulvinos foliares, provocando desfolhamento e prejudicando o desenvolvimento do vegetal, principalmente em indivíduos jovens (MÜLLER, 2012; WOOD; LASS, 1985; SERNE, 2001). Esta fragilidade inicial é contornada pela recomendação de se plantar o cacaueteiro jovem protegido por espécies de sombreamento temporário, como bananeiras, e quebra-ventos, o que torna seu sistema de plantio um sistema agroflorestal (SAF-cacau) (SILVA NETO et al., 2001).

O cacaueteiro tem a sua mais representativa experiência de cultivo no Brasil sob o sistema “cabruca”, implementado há mais de 200 anos em meio à Mata Atlântica no sul baiano, e sendo utilizado até hoje como um sistema que é considerado um exemplo de conciliação entre conservação e produção. (LOBÃO, 2012). Nele o cacaueteiro é plantado em meio à Mata Atlântica após o raleamento do sub-bosque, garantindo a permanência de árvores nativas de grande e médio porte, e sua fauna associada. O sistema de plantio cacau cabruca pode ser considerado silvicultural ou agroflorestal, uma vez que pode produzir tanto madeira quanto frutos e culturas agrícolas (NAIR, 1980).

1.5. ESTOQUE DE CARBONO: UM SERVIÇO AMBIENTAL DO SAF-CACAU

Como mencionado anteriormente, o sistema de produção de alimentos corresponde atualmente por aproximadamente um terço das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa, sendo que a produção agrícola responde por até 86% destas emissões (VERMEULEN; CAMPBELL; INGRAM, 2012). Medidas mitigatórias das emissões de gases de efeito estufa são, portanto, desejáveis.

Entre os serviços ambientais prestados pelos sistemas agroflorestais com cacau (SAF-cacau), destaca-se o sequestro de carbono, que ocorre por meio da incorporação do gás carbônico atmosférico à biomassa do vegetal, por meio das reações químicas da fotossíntese (SOTO PINTO et al., 2010; EVERT; EICHHORN, 2013). Apesar dos SAFs usualmente estocarem menores quantias de carbono quando comparados às florestas nativas, eles tem o potencial para atuar tanto no sequestro de carbono, quanto em sua conservação no solo e mitigação de emissão de carbono de origens não-renováveis (BASS et al., 2000; MONTAGNINI; NAIR, 2004).

Em Camarões, por exemplo, foi constatado que os sistemas agroflorestais de cacau apesar de apresentarem menor conteúdo de carbono que matas primárias, apresentam maior biomassa acima do solo que cultivos agrícolas anuais (DUGUMA; GOCKOWSKI; BAKALA, 2001).

Para estimar de forma não destrutiva a quantidade de biomassa, e consequentemente de carbono armazenado em determinado compartimento da biomassa vegetal, faz-se uso de equações alométricas. Tais funções matemáticas, a partir de entradas de determinadas variáveis morfológicas medidas nos indivíduos arbóreos, retornam uma estimativa de biomassa seca. Esta estimativa de biomassa é então convertida segundo índices de carbono encontrados em experimentos de avaliação de queima controlada da biomassa (SEGURA; KANNINEN, 2005; TUMWEBAZE et al., 2013).

1.5.1. Biomassa e carbono estocado - impactos na produção de cacau

Sabe-se que o cacaueiro é uma árvore frutífera tolerante à sombra, e que em condições naturais cresce sob o dossel de árvores de dossel alto e emergentes (HARDY, 1961; WOOD; LASS, 1985). Visando simular as condições nativas de crescimento do vegetal, agricultores ao redor do mundo plantam o cacaueiro consorciado com uma ampla gama de outras espécies arbóreas, arbustivas, palmeiras, e até mesmo espécies herbáceas, nativas e exóticas (Figura 9), objetivando obter tanto sombreamento quanto serviços ambientais e produtos madeireiros e não-madeireiros (MULLER; GAMA-RODRIGUES, 2012; WOOD, 1985, p.128-144). Esta diversidade de formas de plantio gera diferentes níveis de produtividade do cacaueiro, que são expressão da complexa combinação das interações bióticas e abióticas particulares de cada sistema agroflorestal, em combinação com as condições edafoclimáticas do local (BEER, 1987).

Figura 9 - Árvore nativa utilizada como sombreamento em SAF-cacau em São Félix do Xingu. Fonte: Autor, 2015.

Entender estas relações ecológicas e ecofisiológicas é, portanto, essencial no esforço de se atingir o equilíbrio ótimo entre a prestação de serviços ecológicos e obtenção de recursos madeireiros e não madeireiros, principalmente a produção de frutos de cacau, carro-chefe dos SAFs-cacau de São Félix do Xingu (MULLER; VALE, 2012, p.31)

Somarriba e colaboradores (2013) estudaram a relação não linear da produtividade do cacaueiro com as quantidades de carbono estocado em sistemas agroflorestais na América Central. Quando se considera o incremento de biomassa acima do solo - ou seja, a biomassa de uma árvore sem o cômputo de suas raízes - derivado do adensamento de cacaueiros em uma parcela, há um incremento positivo tanto de biomassa arbórea quanto da produção de cacau. No entanto, quando o crescente incremento de estoque carbono da biomassa passa a ser advindo da inclusão de árvores de sombreamento no sistema agroflorestal, há um ponto de inflexão desta curva, pois o sombreamento excessivo acarretará em menores taxas fotossintéticas e consequentemente menor produção de frutos de cacau pelos cacaueiros (SOMARRIBA et al., 2013a). Schroth e colaboradores (2014) calcularam esta curva para árvores de grande porte na cabruca da Bahia, estabelecendo uma curva como esperado por Somarriba et al.

Sistemas agroflorestais de cacau sombreados potencialmente podem sequestrar mais carbono que os a pleno sol, pois podem permitir a permanência de árvores de grande porte, que são responsáveis pela parte significativa do carbono tanto em sistemas agroflorestais quanto na mata nativa. A figura abaixo (Figura 10 A e B) ilustra a partir do ponto de vista do alto das copas dos cacaueiros, a diferença entre um sistema a pleno sol e outro bastante sombreado.

Figura 10 - (A) Sistema de produção de cacau praticamente a pleno sol e (B) Sistema sombreado de cacau em São Félix do Xingu. Fonte: Autor, 2016.

Diversos estudos demonstram que há grande variação entre as quantidades de carbono estocado em diferentes sistemas agroflorestais de cacau (CHIONG; BUSTILLOS, 2015; CLOUGH et al., 2011; RAJAB et al., 2016). Esta variação pode ser creditada a diversos fatores, como fertilidade do solo, quantidade de sombreamento e a presença, densidade e espécies de sombreamento mantidas por seus agricultores.

No caso de São Félix do Xingu, as espécies de sombreamento usualmente são árvores nativas oriundas da regeneração de mata secundária, que são escolhidas por motivos diversos pelos agricultores. Neste caso a presença destas árvores pode estar associada ainda à conservação de espécies nativas das florestas da região, uma vez que o município é parte do arco do desmatamento e mais de 20% de sua vegetação já foi desmatada (PRODES, 2017).

Seria interessante, tanto do ponto de vista ambiental quanto agrônômico, que a curva de regressão que relaciona estoque de carbono na biomassa e produção de cacau fosse obtida para os sistemas agroflorestais de São Félix do Xingu, a fim de otimizar ambos os fatores em benefício dos produtores e do meio ambiente.

1.6. SOMBREAMENTO, FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO CACAUEIRO

A complexa relação entre sombreamento e produtividade do cacaueiro é extensamente discutida na literatura. Alterações no sombreamento levam a alterações em uma série de fatores biológicos e físicos, tais como a redução na intensidade de luz, temperatura e movimento do ar e a demanda por água. Alterações na luz, entendida como energia eletromagnética, levam a alterações diretas nas taxas fotossintéticas das folhas (WESSEL, 1985). Folhas que recebem luz direta por exemplo, apresentam desenvolvimento e morfologia diferentes das folhas sombreadas, apresentando ciclo de vida mais curto e máxima eficiência fotossintética entre 20 e 30 dias, ao passo que uma folha sombreada apresenta maior longevidade e máxima eficiência fotossintética aos 15-20 dias (MULLER; VALLE, 2012).

Estudos subsequentes, que aprofundaram esta relação de longevidade com diferentes intensidades luminosas, descobriram alturas específicas na copa do cacaueiro onde havia maior Índice de Área Foliar (IAF), e um padrão geral de decréscimo de longevidade em relação à localização da folha em altura no cacaueiro.

Folhas no topo e no centro do cacaueteiro (a 2,2 metros de altura) tinham longevidade média de 180 dias, contra 360 dias das folhas abaixo de 1,5m. Quanto maior o regime de sombra, mais baixa era a região onde se dava a atenuação da irradiação dentro da copa do cacaueteiro, devido ao aumento do Índice de Área Foliar pelo adensamento da folhagem naquela região. O IAF de cada altura, dentro da copa do cacaueteiro, também foi menor nas árvores sob maior sombreamento (MIYAJI; DA SILVA; ALVIM, 1997).

Quando considerado o cultivo de toda uma área, Alvim (1972), Ahenkorah e colaboradores (1974) e Murray, citado por Wessel (1985), mostraram que, tecnicamente, plantios adensados a pleno sol, principalmente os adubados, são comparativamente mais produtivos que os sombreados (Figura 11).

Figura 11 - Efeito de sombra e fertilizantes sobre a produção de cacaueteiros de 10 anos de idade durante os 14 anos subsequentes. (A linha em verde refere-se à média nacional em Gana) Fonte: AHENKORAH, Y. AKROFI, G.S. ADRI, 1974 (adaptado).

Sob plantio tecnificado, com emprego de fertilização química e pesticidas, o rendimento do cacaueteiro a pleno sol produziu até 3 vezes mais que o cacaueteiro sob sombreamento e sem fertilizante. No entanto, a longo prazo, houve declínio da produtividade a partir do 18º ano de tratamento.

O referido declínio na produção no experimento de Ahenkorah e colaboradores deveu-se, segundo os autores, principalmente à perda de carbono orgânico e bases trocáveis no solo, aumento da incidência de musgos nos cacaueteiros e aumento de infestação por *Tapinanthus bangwensis* Reichenbach, um vegetal parasita que se instala na copa do cacaueteiro. Segundo os mesmos autores, o stress causado pela exposição total ao Sol, mesmo em solos adubados, provavelmente deixou o cacaueteiro mais susceptível a ataques de insetos e doenças (AHENKORAH; AKROFI; ADRI, 1974).

O mesmo sistema de produção intensivo exige ainda o raleio das espécies de sombra, as quais constituem grande parte dos elementos responsáveis por agregar serviços ecossistêmicos ao sistema agroflorestal cacaueiro, e limitam a diversidade de fontes de renda do agricultor (MULLER; GAMA-RODRIGUES, 2012; CERDA et al., 2014), submetendo-o somente às perigosas flutuações de preço do mercado internacional 'commoditizado' do cacau.

Para avaliar, portanto, as relações entre biomassa, carbono e produtividade em SAFs-cacau, a fim de se obter o serviço ecológico de estoque de carbono e provimento de diversificação de renda, é necessário levar-se em conta inicialmente a produtividade e a biomassa, e também o sombreamento do sistema, a fertilidade do solo e seu manejo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Compreender a relação entre estoques de carbono acima do solo e produção em sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- I. Calcular a quantidade de biomassa e carbono estocado acima do solo em árvores de cacau e de sombreamento em SAF-cacau em São Félix do Xingu;
- II. Estimar a produtividade de cacau destes sistemas agroflorestais;
- III. Quantificar fatores de importância para produtividade de cacau do sistema:
 - a) Compreender o perfil dos agricultores, suas motivações e formas de manejo dos sistemas agroflorestais;
 - b) Analisar a fertilidade do solo dos referidos SAFs-cacau;
 - c) Determinar os níveis de sombreamento aos quais estão submetidos os cacaueiros nos SAFs-cacau amostrado;

De posse dos dados:

- IV. Buscar padrões de agrupamento por meio de análise multivariada de componentes principais (PCA) visando criar classes para agrupamento das parcelas;
- V. Determinar a relação ótima entre as variáveis estimadas para os SAFs-cacau de São Félix do Xingu, por meio do estabelecimento de regressões polinomiais entre:

- a) Carbono total da arbórea acima do solo e produção de cacau em SAFs-cacau de São Félix do Xingu;
- b) Produtividade de cacau e carbono de árvores de sombreamento;
- c) Carbono de arvores de sombreamento e cobertura de dossel;
- d) Produtividade de cacau e cobertura de dossel.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA AMOSTRADA

3.1.1. Localização e clima

O município de São Félix do Xingu, localizado no sudeste do estado do Pará (Figura 12), encontra-se a uma altitude de 200 m, e possui coordenadas representadas pela latitude 06° 38' 41" sul e pela longitude 51° 59' 42" oeste.

Figura 12 - Localização de São Félix do Xingu no Estado do Pará e no Brasil (em vermelho). Fonte: INEGI, GOOGLE 2015.

O território que hoje é o sexto maior município em área do país (84.213 Km²), foi parte de Altamira (antiga Xingu), como parte do distrito de Novo Horizonte, até se tornar município emancipado em 29/12/1961, pela lei estadual nº 2460 (IBGE, 2013). Atualmente o município de São Félix do Xingu conta com 5 distritos: São Félix do Xingu, Nereu, Taboca, Lindoeste e Ladeira Vermelha, e teve sua população estimada para o ano de 2016 em 120.580 habitantes (IBGE, 2013) (IBGE, 2017).

Segundo a classificação de Köppen, o clima xinguense é considerado “Am”, equatorial, e segundo a carta de climas do IBGE (2002), é predominante Equatorial Úmido, com três meses de estiagem e média acima de 18 °C em todos os meses do ano. De acordo com dados das normais climatológicas do INMET (2016), sua pluviosidade média é de 2108,5 mm anuais, com temperaturas oscilando entre 31,5 °C e 19,3 °C (Figura 13). São Félix do Xingu conta com insolação média anual de 1800 horas (PARÁ, 2015).

Figura 13 - Pluviosidade mensal acumulada e médias de temperatura mensal de São Félix do Xingu- PA. Fonte: Normais climáticas de São Félix do Xingu (INMET, 2016)

3.1.2. Contexto climático durante a coleta de dados

Segundo nota técnica do INMET (RAMOS; REBELLO, 2017), durante o ano de 2015 e 2016 a região amazônica - incluindo a região amostrada - esteve sob efeito de intenso El Niño, que somado a outros fatores sinóticos como o Alto Bolívia e a Zona de Convergência Intertropical, alterou os padrões de precipitação, principalmente entre janeiro e agosto. Houve redução de 50% na precipitação no último trimestre de 2015 em relação à média, com permanência do padrão de pluviosidade anômala também durante o primeiro semestre de 2016, deixando a região ainda mais seca.

Reduções desta intensidade não eram registradas desde 2002, e a seca registrada, ainda em análise, é provavelmente mais intensa que a registrada em 2005, que foi a mais severa em 100 anos de registro.

Como consequências, o referido relatório menciona o “registro de altas temperaturas máximas variando acima da média, com desvio positivo de até 4°C como no Norte e Baixo Amazonas e a mínima com desvio de até 5°C acima da média, como no sudoeste do Pará e centro do Tocantins”, com prejuízos ao setor de pecuária, de fruticultura e produção de hortaliças. Abaixo, as Figura 14 e Figura 15 ilustram a precipitação acumulada mês a mês contra suas normais climatológicas em 2015 e 2016, respectivamente.

Figura 14 - Pluviosidade mensal acumulada em 2015 e normal climatológica. Fonte: INMET, 2017.

Figura 15 -Pluviosidade mensal acumulada em 2016 e normal climatológica. Fonte: INMET, 2017.

Como mencionado no relatório do INMET (RAMOS; REBELLO, 2017), houve redução na pluviosidade em ambos os anos, fato que provavelmente impactou os dados de produtividade estimados neste estudo. Durante a época de amostragem os produtores relataram estar colhendo até 1/3 do esperado para a época. Dados do banco de dados do INMET (2017) indicam que a precipitação anual acumulada de São Félix do Xingu para 2015 foi de 1481,5 mm, e em 2016 foi de 1054,7 mm, frente a 2008,5 mm esperados pela Normal Climatológica: 73,8% e 52,5% do esperado, respectivamente.

Quanto à irradiância, a região de São Félix do Xingu, segundo dados da NASA (2017), apresentou irradiância média em superfície de $18,42 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ em 2015 e $18,70 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ em 2016 (NASA, 2017). O padrão diário e as médias mensais de irradiância em superfície estão representadas nas Figura 16 e Figura 17.

Figura 16 - Irradiância solar média e diária em São Félix do Xingu, 2015, nos meses de coleta de dados (março a agosto). Fonte: NASA, 2017.

Figura 17 - Irradiância solar média e diária em São Félix do Xingu, 2016, nos meses de coleta de dados (março a agosto). Fonte: NASA, 2017.

Estes padrões, juntamente com o de insolação da região, devem ser disponibilizados para comparação de tratamentos de sombreamento dados às plantações de cacau ao redor do mundo, já que padrões de insolação e irradiância significam quantidades diferentes de energia chegando às folhas do cacaueiro, mesmo sob mesma porcentagem de sombreamento (WOOD; LASS, 1985, p.55-57).

3.1.3. Solos

Os mapas de solo da região de São Felix do Xingu permitem inferir a predominância de solos de média fertilidade e argilosos, característica físicas desejável ao plantio do cacau na Amazônia em períodos de estiagem marcada (SILVA NETO, 2001). Seu relevo varia entre o plano e o ondulado, com variação de declive expressa por cotas de 200 a 500 metros de altitude em relação ao nível do mar (IBGE, 2010).

A Base Pedológica da Amazônia Legal – Mapa de Solos do Pará, expõe para a região de estudo a predominância dos seguintes solos, descritos segundo Santos et al (2006):

- a) Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (PVA_d): apresentam acúmulo de argila em profundidade dado à mobilização e perda de argila no horizonte B, o qual encontra-se imediatamente acima dos horizontes A ou E do solo, e saturação por bases inferior a 50%, sendo naturalmente ácidos e de baixa fertilidade. Sua coloração é vermelho-amarela e sua profundidade é variável;
- b) Nitossolos Vermelhos Distróficos (NV_d): apresentam baixa saturação por bases (inferior a 50%) na maior parte dos 100cm iniciais do horizonte B (incluso BA), com coloração vermelha e baixa fertilidade;
- c) Nitossolos Vermelhos Eutróficos (NV_e): caracterizados por saturação por bases superior a 50% na maior porção dos primeiros 100cm do horizonte B (incluindo o BA), tais solos são considerados de alta fertilidade;
- d) Neossolos Litólicos Distróficos (RL_d): solos rasos (espessura inferior a 20cm) e que não possuem o horizonte B, estando o horizonte A em contato direto com a rocha, e constituídos por material mineral não muito alterado em relação ao material de origem, o que se explica através do baixo processo de pedogênese, dado pela resistência do material da rocha ou pela influência do intemperismo.

3.1.4. Vegetação

Segundo o mapa de vegetação do Brasil, do IBGE, São Félix do Xingu encontra-se no Bioma Amazônico, com tipos de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial) e Floresta Ombrófila Aberta (Faciação da Floresta Ombrófila Densa). Salomão e colaboradores (2007), citado por Braga (2014), descrevem a vegetação da Volta Grande do Xingu, região contígua ao município de São Félix do Xingu, com prevalência de duas fitofisionomias de floresta ombrófila:

- a. **Floresta Ombrofila Densa:** Fitofisionomia predominante na Amazônia, também conhecida como floresta de terra firme. Exuberante, perenefólia e latifoliada, com dossel de 30 a 35 metros de altura, desenvolvendo-se sobre latossolo amarelo, vermelho-amarelo ou plintossolos;
- b. **Floresta ombrófila aberta com palmeira:** Fitofisionomia que compartilha espécies com a floresta de terra firme, mas com formação aberta, maior penetração de luz e presença de lianas e arbustos no sub bosque, além de marcada presença de palmeiras de até 30 metros de altura, com destaque para o babaçu (*Attalea speciosa* Mart.), o inajá (*Attalea maripa* (Aubl.) Mart.), a paxiúba (*Socratea exorrhiza* (Mart.) H. Wendi.), a bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) e em menor número o patuá (*Oenocarpus batauí* Mart.). Esta fitofisionomia é encontrada sobre latossolos profundos e podzólicos.

3.1.5. Propriedades amostradas e seus agricultores

Como a produtividade do cacaueiro está associada entre outros fatores à luminosidade a que está submetido, e a produtividade de plantios mais novos aumenta com o tempo com o crescimento da árvore, neste estudo somente foram incluídos plantios com mais de 7 anos de implantação, idade em que se espera que os pés de cacau já tenham atingido sua altura definitiva e o sombreamento temporário tenha sido eliminado.

Ao todo, vinte propriedades rurais foram amostradas, localizadas em três regiões do município de São Félix do Xingu, de modo a caracterizar melhor a diversidade de tratos culturais dos sistemas agroflorestais de cacau presentes na região.

As vilas rurais de Xadá, Tancredo Neves e Nova Vida (Figura 18) foram indicadas por extensionistas e ONGs do município por serem responsáveis por parte significativa da produção de cacau do município. Devido à inexistência de dados oficiais sistematizados sobre produção regional e idade dos plantios de cacau no município, em grande parte por sua considerável extensão, a amostragem deu-se segundo o método ‘bola de neve’, na qual o agricultor amostrado deverá indicar o próximo, segundo os critérios requeridos pelo pesquisador (VINUTO, 2014).

Devido à dificuldade de deslocamento na região amazônica, em 2015 foram amostradas 6 propriedades, e em 2016 foram amostradas outras 14. A vila Tancredo Neves localiza-se a aproximadamente 20 Km a nordeste da cidade de São Félix do Xingu, a caminho do distrito Nereu, e nela foram amostrados 6 propriedades, em 2015. A vila Nova Vida está a aproximados 106 km de distância a noroeste da cidade central do município, e em sua região foi amostrado um agricultor em 2015 e outros 6 em 2016, totalizando 7 agricultores. A vila Xadá, por sua vez, está localizada a aproximadamente 38,5 km a sudoeste da cidade de São Félix do Xingu, à margem esquerda do rio Xingu. Em sua região foram amostrados, em 2016, outros 7 produtores.

Figura 18 – Imagem ilustrativa das regiões onde estão localizados os agricultores amostrados até o momento, no município de São Félix do Xingu – PA (limite verde). Dados do mapa: US Dept of State Geographer, Landsat, Google 2015.

O material genético presente nos cacauzeiros de São Félix é advindo do campo experimental da CEPLAC em Tucumã-PA (CETUC/CEPEC), município próximo. Os frutos, utilizados para propagação seminal, foram originados dos seguintes clones (Tabela 1), presentes do referido campo experimental:

Tabela 1 - Clones de cacau presentes no Campo Experimental de Tucumã – PA - CETUC/CEPEC.

Sigla	Origem
MO - 1	Santarém - PA
IMC - 67	
MA -15	Manaus - AM
BE -10	Belém - PA
BE - 8	Belém - PA
UCA - 6	Bahia
CAB - 17	Amazônia
CAB - 214	Amazônia
CAB - 499	Amazônia
CAB - 500	Amazônia
CAB - 36	Amazônia
CAB - 28	Amazônia
CAB - 24	Amazônia
CAB - 314	Amazônia

CAB - 270	Amazônia
CAB - 831	Amazônia
CAB - 324	Amazônia
CAB - 11	Amazônia
P - 7	
RB - 40	
PA - 121	Pará
PA- 150	Pará
RB - 36	
PA - 195	Pará
CCN - 12	
CCN - 151	

Fonte: Autor, 2017 (adaptado de TNC, 2016)

3.2. DESENHO AMOSTRAL

Após aceite prévio do proprietário de participar da pesquisa, em cada propriedade agrícola a área de cultivo de cacau foi identificada, caracterizada com relação à idade e manejo, mapeada por meio de croqui e subdividida em parcelas para posterior sorteio. A Figura 19 exhibe um exemplo espacial da demarcação e localização das parcelas dentro da propriedade do produtor número 4, localizado próximo à vila de Tancredo Neves.

Figura 19 – Residência do produtor 4 (PR4) e parcelas demarcadas em seu SAF- cacau. P1 = vértices da Parcela 1; P2 = vértices da Parcela 2; Meio = ponto central da parcela. Dados da imagem: CNES/ Astrium, Google Earth 2015.

Após sorteio, em cada uma das áreas sorteadas foram instaladas duas parcelas retangulares de 20 m x 50 m, totalizando 1.000 m² cada uma (NGO BIENG et al., 2013; POVEDA et al., 2013; SCHROTH et al., 2014). As parcelas foram demarcadas com trena, cordas de nylon e estacas, paralelamente às linhas de plantio de cacau, usualmente de espaçamento 3 m x 3 m.

Cada parcela de 1.000 m² foi subdividida com cordas de nylon em outras dez subparcelas, de 10 x 10 metros (Figura 20), que serviram como unidade de amostragem dos dados de estimativa de biomassa, de cobertura de dossel, produtividade de cacau e amostragem de solo. Ao todo foram instaladas 40 parcelas.

Figura 20 - Esboço da parcela (1.000 m²) e sub parcelas (100 m²) utilizada na presente pesquisa. Fonte: Autor, 2015

3.2.1. Biomassa acima do solo e estoque de carbono

Para estimar a biomassa aérea e posteriormente o carbono estocado neste compartimento de forma não destrutiva, foram obtidos os seguintes dados:

- Altura do dossel: A altura do dossel dos SAFs-cacau foi estimada com o auxílio de um podão de aproximadamente 4,5 metros, erguido nos pontos centrais de cada uma das 10 subparcelas de cada parcela. A altura das árvores de sombreamento foi estimada individualmente, também com auxílio do podão próximo à sua base;
- Circunferência a 30 cm do solo: todos os cacaueiros tiveram suas circunferências medidas a 30 centímetros de altura do solo, medidos com auxílio de uma régua metálica e uma fita métrica (ANDRADE et al., 2008; SOMARRIBA et al., 2013a);
- Circunferência à altura do peito (CAP): Todos os indivíduos arbóreos incluídos no sistema com CAP > 10 cm (exceto os cacaueiros) tiveram suas circunferências medidas com fita métrica, seguindo as diretrizes do REDD+ (REDD, 2012);

Após a sistematização dos dados em planilhas eletrônicas, foram utilizadas equações alométricas, de forma a realizar o cálculo de biomassa. As equações alométricas utilizadas (Tabela 2) foram escolhidas por critério de proximidade dos dados com a região estudada, exceto a construída para o cacaueiro (*Theobroma cacao*), que foi construída somente para esta espécie (SOMARRIBA et al., 2013).

Tabela 2 - Equações alométricas utilizadas neste trabalho. BME: Biomassa epígea. Ln: logaritmo neperiano. DAP: Diâmetro a 1,30 m de altura. H: altura (m). D30: diâmetro a 30 cm do solo.

Espécie ou tipo de planta	Equação ou fórmula
<i>Theobroma cacao</i> ¹	$BME = 10^{(-1.684 + 2.158 * \text{Log}(D30) + 0.892 * \text{Log}(H))}$
Palmeiras ²	$\ln(BME) = \ln(-6,3789 - 0,877 * \ln(1/DAP^2)) + 2,151 \ln(H)$
Bananeiras (<i>Musa</i> sp.) ³	$BME = 0,030 * (DAP^{2,13})$
Demais espécies arbóreas ⁴	$BME^{\#} = 0,0336 * (DAP^{2,171}) * H^{1,038}$
	$BME^{\#\#} = 0,0009 * DAP^{1,585} * H^{2,651}$

Para indivíduos arbóreos com DAP < 20 cm; ## Para indivíduos arbóreos com DAP > 20 cm
Fontes: ¹ (SOMARRIBA et al., 2013a) ² SALLARRIAGA et al., 1988; ³ SCHROTH et al., 2013; ⁴ HIGUCHI et al., 1998.

A biomassa calculada foi então convertida em carbono por meio da multiplicação por 0,5 utilizada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (AALDE et al., 2006).

3.2.2. Análise química e física do solo

Utilizando um trado holandês modelo TP-4, marca “Sondaterra”, de cada parcela de 1.000 m² foi retirada uma amostra composta de solo de aproximadamente 500 g representando a profundidade 0-10 cm e outra de mesma massa representando a profundidade 20-30 cm, totalizando 4 amostras compostas de solo por propriedade. Cada amostra composta constituída da mistura homogênea de 10 pontos de coleta, localizados próximos ao centro de cada sub-parcela de 10 m x 10 m previamente instalada para a análise da dinâmica florestal. As amostras foram retiradas em duas profundidades – de 0 a 10 cm e 20 a 30 cm de profundidade – visando a coleta das camadas mais relevantes para a absorção de nutrientes pelo cacaueiro (MOMMER, 1999)(Figura 21).

As amostras compostas foram retiradas do trado e homogeneizadas manualmente em balde de plástico, para posterior acomodação em sacos de plástico específicos para endereçamento à análise laboratorial de estrutura física e fertilidade química. As amostras foram levadas à Piracicaba - SP e analisadas no laboratório de solos do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

Figura 21 - (A) Trado holandês utilizado para coletar amostras de solo e (B) sub amostra, profundidade 20-30. Fonte: Autor, 2016.

3.2.3. Cobertura de Dossel e ICD

Para aferir a cobertura de dossel acima da copa dos cacaueiros, a fim de calcular o Índice de Cobertura de Dossel (ICD), foi utilizado um Densiômetro Florestal Côncavo modelo – “C” (Figura 22 - A), da marca ‘*Forest Densimeters: Model-C Spherical Densiometer*’. Nele, seguindo as instruções do fabricante, o operador deve nivelar o equipamento à altura do quadril e pacientemente contar a área visualizada em malha riscada em sua superfície metálica esférica, de modo a obter uma estimativa da porcentagem de céu recoberto ou exposto (Figura 22 - B).

Figura 22 - (A) Fotografia do densiômetro florestal côncavo utilizado na pesquisa, exibindo a reflexão da parte inferior da copa de um cacaueiro. (B) Pesquisador coletando dado de Índice de cobertura de dossel. Fonte: Autor, 2016.

As medidas de cobertura de dossel, seguindo adaptação do método utilizado por Schroth e colaboradores (2014), foram tomadas com uso de escada de alumínio de 7 metros, acima da copa do cacaueiro

ou apoiado na árvore de sombreamento mais próxima à linha divisória central da parcela, totalizando 5 pontos de coleta por sub-parcela, com uma distância de 5 metros entre os pontos (Figura 23). A altura de tomada de dados variou entre 5 e 7 metros, dependendo da altura da copa do cacau.

Figura 23 – Esquema da parcela com a posição dos pontos de coleta de dados de abertura de dossel (pontos amarelos). Fonte: Autor, 2017.

De posse das medidas, foi feita a média de cobertura para obtenção do ICD referente à parcela, dado em porcentagem de sombreamento.

3.2.4. Produtividade

Para estimar a produtividade dos cacaueiros, em quilos de amêndoas secas por hectare/ano, foi utilizada uma adaptação ao método de previsão de safras utilizado pela CEPLAC (2015). Dentro de cada uma das subparcela o cacaueiro central era marcado com fita zebreada (Figura 24) e tinha seus frutos visualmente contados, seguindo a classificação de estádios estipulada pelo método (Figura 25).

Figura 24 – Localização (círculo vermelho) nas sub parcelas do cacau central que teve seus frutos contados para estimativa de produção. Fonte: Autor,2017

Os dados em campo eram anotados em planilhas impressas e digitalizadas posteriormente em planilhas do software Excel para aplicação da equação (1) abaixo:

$$P_i = [0,03 \sum MNF_{pl}] * NPha * \%P \quad (1)$$

Na qual:

P_i: Produção (em kg) de amêndoas secas de cacau por hectare por estádio (i);

i (1, 2, 3, 4, 5): refere-se a cada um dos estádios do fruto (Figura 25);

1= bilro: frutos < 3 cm de comprimento;

2 = fruto pequeno: 3 a 7 cm de comprimento;

3= fruto médio: 7 a 15 cm de comprimento;

4 = fruto adulto: > 15 cm de comprimento;

5 = fruto maduro: Apresenta coloração que indica maturação (se for o caso, deverá ser anotado a produção que já foi colhida até a tomada de dados);

NPha: Número de cacaueiros por hectare. Com espaçamento 3x3 temos 1111 pés/ha;

MNF_{pl}: média do número de frutos por planta segundo cada um de seus estádios de desenvolvimento (bilro, fruto pequeno, fruto médio, fruto adulto e fruto maduro) (Figura 25);

%P: Percentual de perda, 1 – percentagem de perdas na produção;

0,03 = valor que converte 1 fruto em quilos de amêndoas secas (a taxa de conversão de frutos em amêndoas secas foi de 30 frutos para 1 quilograma). Esse fator será corrigido sistematicamente e poderá ser diferenciado por município.

Figura 25 - Estágios de desenvolvimento do fruto do cacau, para fins de estimativa de safra. Fonte: Autor, 2015.

Vale observar que o método utilizado pela CEPLAC (2015), adaptado de Zaroni e Aidar (1992) utiliza 3 contagens de fruto anuais, mas de apenas 5 árvores por área, visando estimativas de produção regional.

Com a intenção de se reduzir o erro, 10 cacaueiros foram medidos por parcela, sempre ao centro de cada sub parcela. Quando havia falha ou o cacaueiro estava morto, a contagem foi feita no cacaueiro logo anterior a ele, no sentido longitudinal da parcela. Este estudo objetivou realizar um levantamento de produtividade relativo, para comparação entre as parcelas.

3.2.5. Caracterização dos produtores e do manejo agroflorestal

Figura 26 - Agricultor anela um ipê amarelo para reduzir o sombreamento do cacau em seu entorno. Fonte: Autor, 2017

Para a compreensão da realidade dos produtores rurais e do manejo aplicado aos seus SAFs-cacau, foram coletadas por meio de entrevistas semiestruturadas informações relativas à família do produtor, os custos

de mão-de-obra, as espécies de árvore mantidas e retiradas do sistema e dinâmicas de colheita e poda (Apêndice A). O questionário utilizado (Apêndice A) foi baseado no questionário utilizado por Daniel Braga (2015), que avaliou o uso de SAFs-cacau como ferramenta para recuperação de áreas degradadas em São Félix do Xingu.

Observações feitas junto ao produtor em campo foram também levadas em consideração. Os dados foram registrados pelo pesquisador à mão, durante a entrevista e foram posteriormente digitalizados em planilha eletrônica para análise. A entrevista dava-se normalmente na casa do produtor, às vezes com participação também de sua esposa ou outros membros da família, durando entre uma e duas horas.

3.2.6. Análise estatística

Como primeiro passo, foram realizadas análises descritivas univariadas e gráficas para todas as variáveis respostas. Em seguida, realizou-se a análise de componentes principais por meio do procedimento PRINCOMP, utilizando matriz de correlação, objetivando a caracterização gráfica e um possível agrupamento entre as parcelas quanto ao sistema de produção de cacau. Simultaneamente realizamos análise de correlação de Pearson por meio do procedimento CORR para evidenciar quais as variáveis apresentavam correlação entre si e se estas eram positivas ou negativas. As análises acima descritas foram realizadas utilizando o software estatístico SAS, versão 9.1 SAS/2012.

Com a finalidade de estudar a relação entre as variáveis carbono total, carbono do cacauzeiro, carbono das árvores de sombra e cobertura de copa com a produtividade de cacau; e a idade dos cacauzeiros com o carbono total, foram realizadas análises de regressão. Para averiguar as pressuposições para a análise de regressão, foram realizados no software “R” - versão 3.3.2 (R core Team, 2017), testes de normalidade dos resíduos, independência dos resíduos e presença de *outliers* por meio de *boxplot*. O teste de normalidade dos resíduos foi realizado por meio da função *shapiro.test()* do pacote *stats*. Quando os resíduos não corresponderam ao pressuposto da normalidade, os dados foram transformados pela metodologia proposta por Box e Cox (1964). Quando os dados a serem transformados continham valores nulos, foi realizada a adição de um radical (0.5) a todos valores a serem transformados.

Em seguida, foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson e seu teste de significância, já com as variáveis transformadas, entre Carbono cacauzeiro x Produtividade, Carbono sombra x Produtividade, carbono total x Produtividade, abertura de copa x Produtividade, Idade x Carbono total, por meio da função *cor.test()* do pacote *stats*. Para as variáveis com correlação de Pearson significativa, foi realizado ajuste de modelo de regressão linear, com a escolha do modelo com grau de polinômio significativo e que proporcionasse o maior R^2 ajustado possível, por meio da função *lm()*, do pacote *stats*. *Outliers* evidenciados por meio de *box-plots* e *QQ plots* foram eliminados para melhor ajuste nas regressões.

Os modelos de regressão linear foram baseados no modelo (2) que se segue:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que:

Y_i = variável explicada (dependente);

α = é uma constante, que representa a interceptação da reta com o eixo vertical;

β = é outra constante, que representa o declive (coeficiente angular) da reta;

X_i = variável explicativa (independente), representa o fator explicativo na equação;

ε_i =erro aleatório.

Parâmetros da regressão não significativos, pelo teste t a 5%, foram eliminados do modelo. As análises dos coeficientes de correlação linear de Pearson, regressão e elaboração de gráficos foram realizadas no software “R”. Foram consideradas diferenças estatísticas significativas quando $P < 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PERFIL DOS PRODUTORES E CARACTERIZAÇÃO DO MANEJO DA ÁREA

4.1.1. Perfil dos produtores

De forma similar às informações levantadas por Braga (2015) em seu estudo de SAFs-cacau na mesma região, os produtores que participaram desta pesquisa têm em média 49 anos de idade, são do sexo masculino e possuem família de 5 pessoas (Figura 27); 85% são casados e são oriundos majoritariamente de Minas Gerais (30%), Maranhão (25%) e Mato Grosso (20%). Apenas 1 produtor declarou-se paraense, evidenciando o processo de colonização da região por migrantes advindos de outras localidades, descrita por Schmink e Wood (1985). Quando questionados quanto à sua educação formal, 70% deles declararam terem abandonado os estudos durante o ensino fundamental (ensino fundamental incompleto).

Figura 27 - Autor (camisa clara) e família de agricultores em São Félix do Xingu. Fonte: Autor, 2015.

O tamanho médio das propriedades era de aproximadamente 72 hectares, sendo 45,6 hectares ocupados por pasto - representando 63% da propriedade - e 9,8 hectares por cultivo de cacau em sistema agroflorestal (13,6% do total da propriedade). De acordo com o módulo fiscal xinguense, de 75 hectares (SEMAS, 2017), as propriedades são consideradas pequenas (até 4 módulos fiscais) e de agricultura familiar.

De acordo com a percepção dos produtores sobre sua renda, anualmente a pecuária rende em média R\$ 394,37 por hectare, e a produção de cacau rende anualmente R\$ 3.257,75 por hectare, aproximadamente 8 vezes mais. Estes dados também são similares aos encontrados por Braga (2015), que realizou sua pesquisa no

mesmo município e concluiu que após o sexto ano de cultivo do cacau, a renda pode ser de 4 a 6 vezes maior do que o valor da pecuária.

Em média 26% (DP= 26,7) da renda dos produtores advém da atividade pecuária e 70,75% advém da produção de cacau. Ademais, três quartos dos produtores têm mais de metade de sua renda advinda da venda de amêndoas de cacau, contra 25% (DP= 27,7) dos produtores que tem mais da metade da renda composta por atividade relacionada à pecuária. Além das principais atividades comentadas acima, 65% dos produtores afirmou comercializar ou já ter comercializado outras frutas, principalmente banana, cupuaçu e abacaxi.

Nas propriedades amostradas, usualmente de 3 a 5 pessoas da família trabalham diretamente na produção de cacau, em oposição a um menor número de pessoas que trabalha diretamente com atividades agropecuárias (3 pessoas). Com relação ao esforço do trabalho exigido na produção, 40% considera “muito trabalhoso”. Apesar disso, 75% dos produtores consideram o retorno financeiro advindo dessa atividade satisfatório. Usualmente o trabalho na pecuária é realizado apenas por homens, ao passo que a família inteira auxilia em alguma ou todas as tarefas envolvidas na produção de cacau.

Apesar do maior rendimento por hectare, os produtores declararam informalmente que mantém a pecuária em suas propriedades como forma de garantir renda constante (no caso da venda do leite) ou rápida geração de caixa, como no caso da venda de animais adultos. Também foi declarado informalmente que a pecuária necessita de menos mão de obra que a cacauicultura, e esse é também um motivo importante para sua manutenção, já que a mão de obra para manejo e colheita está cada vez mais cara e escassa.

A Figura 28 apresenta as principais motivações para trabalhar com a produção de cacau segundo os produtores entrevistados. A maior parte das citações (35%) relaciona-se à renda como principal motivação. A categoria “outros” (13% das citações) envolve motivos como afinidade em trabalhar com o cacau, recebimento de capacitação, obtenção de financiamento e garantia da propriedade.

Considerando o total de citações, 10% destas dizem respeito a um ambiente laboral agradável, principalmente devido ao sombreamento promovido pelas copas das árvores do sistema, em comparação ao sol pleno recebido no trabalho relativo à pecuária. Preocupações ambientais, diversificação dos produtos e tradição familiar somadas foram citadas em apenas 6% das respostas. Além disso, 60% pretende aumentar a área produtiva de cacau.

Figura 28 - Gráfico das principais motivações dos produtores para trabalharem com o cacau. Fonte: Autor, 2017.

Com relação ao recebimento de financiamento agrícola para a realização de investimentos em insumos e estrutura da propriedade, 90% dos produtores afirmou ter recebido algum financiamento, em especial PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar) e FNO (Fundo Constitucional de Financiamento do Norte).

4.1.2. Manejo do SAF-cacau

O plantio de cacau das propriedades estudadas tinha em média 15 anos (os plantios amostrados tinham obrigatoriamente mais de 7 anos) e seu espaçamento era de 3 x 3 metros, o que resultou numa densidade de 1111 árvores por hectare.

Segundo os produtores, houve o consórcio com outras espécies arbóreas desde o início do plantio. A maioria delas surgiu como parte da regeneração da mata derrubada para dar lugar ao plantio (em 40% dos casos estudados o plantio do cacau foi realizado após desmate de mata primária; 30% após estabelecimento de culturas como arroz, milho e feijão; 20% após regeneração da mata secundária e 10% após ter sido pastagem).

Analisando as respostas do questionário aplicado, 70% dos produtores afirmaram já ter adubado em algum momento sua área do plantio, e 55% afirmaram já ter utilizado defensivo agrícola, como inseticidas, herbicidas, fungicidas etc.

Entre as práticas de manejo do cacau, a roçagem da área, realizada com intuito de eliminar a matocompetição e regeneração de espécies arbóreas nativas indesejadas, é praticada duas vezes ao ano por 58% dos entrevistados; a poda do cacau é realizada pelo menos uma vez ao ano por 30% deles e outros 30% afirmaram não realizar a poda. Vale salientar que 96% dos frutos de cacau surgem nos primeiros 3,5 metros do tronco, portanto a poda é um elemento essencial na produtividade de uma área (SILVA NETO et al., 2001).

No total, 47% dos produtores realizavam a “desbrota” (retirada de ramos chupões - ortotrópicos - indesejados), sempre que ocorre a colheita dos frutos de cacau. A poda do cacau é um dos fatores mais críticos para sua produtividade, sendo recomendada tanto para fins de estruturação de copa para otimização de área produtiva quanto para fins fitossanitários (WOOD; LASS, 1985, p.198).

Com relação à quantidade de árvores de sombreamento no sistema, 40% dos produtores pretende acrescentar outras; 35% pretende reduzir, pois segundo eles, sombra excessiva afeta a produção de cacau e 25%, pretende mantê-las. Segundo a pesquisa, 55% dos produtores pratica algum tipo de manejo das árvores nativas do sistema.

Observando a Figura 29 abaixo, como principais razões para consorciar o cacau com outras árvores, a maioria dos produtores entrevistados citou o recebimento de orientação técnica (55%) como razão principal, seguida por cópia do modelo do vizinho (10%), benefícios proporcionados ao cacaueiro (10%) e para o sistema ser considerado Reserva Legal (RL) (10%).

Figura 29 - Gráfico das principais razões dos produtores para plantarem cacau com outras árvores. Fonte: Autor, 2017.

Segundo o Art. 3º da Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012 (novo Código Florestal), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal, dentre outras, define a função desta última como:

“ (...)

III - função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa; ”

Contudo, para uma área rural ser considerada Reserva Legal com permissão para exploração econômica, é preciso plano de manejo sustentável, previamente aprovado pelo órgão competente do SISNAMA, segundo o Art. 17 da própria legislação, um desafio para pequenos produtores com pouca assessoria do meio público.

Com relação às árvores de sombreamento do sistema, 100% dos produtores utilizaram árvores da regeneração da floresta nativa para o estabelecimento deste. É interessante frisar que 70% destes produtores

realizaram também plantio de outras espécies, como frutíferas (jaqueira, mangueira, açaí, cupuaçu, golosa, etc.) e as com possível valor madeireiro (como exemplo, cedro e mogno).

Como demonstrado na Figura 30, os principais fatores citados pelos produtores que influenciaram as escolhas das árvores que permanecem no sistema foram: características das árvores (56%), dentre elas, altura adequada (principalmente as mais altas, que ultrapassem as copas do cacaueteiro), árvores com galhos e troncos resistentes à quebra - para evitar causar danos ao cacaueteiro, as que possibilitem uso medicinal e as que produzam frutos; conhecimento empírico do produtor (19%) e possível utilização econômica da madeira (9%).

Esta preocupação com as características das árvores de sombreamento foi construída empiricamente pelo conjunto local dos agricultores, mas informalmente averigui que não há consenso estabelecido entre eles a respeito de todas as árvores presentes em seus sistemas, demonstrando uma lacuna que poderia ser preenchida com capacitações sobre o tema.

Figura 30 - Principais fatores considerados pelos produtores entrevistados na escolha das árvores que permanecem no sistema. Fonte: Autor, 2017.

De acordo com o quadro 1, dentre as espécies mais citadas pelos produtores entrevistados estão: castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) (80%), ipê-amarelo (*Handroanthus obscurus* (Bureau & K. Schum.) Mattos) (75%), tatarubá (*Pouteria macrophylla* (Lam.) Eyma) (75%), favão (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) (60%) e embaúba (*Cecropia* spp.) (45%), todas oriundas de regeneração da mata nativa.

Quadro 1 - Espécies arbóreas presentes no SAF-cacau, citadas pelos produtores. Fonte: Autor, 2017.

Nome popular	Nome científico	Citações	%
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	16	80%
Ipê Amarelo	<i>Handroanthus obscurus</i> (Bureau & K. Schum.) Mattos	15	75%
Tatarubá	<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma	15	75%
Favão	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	12	60%
Embaúba	<i>Cecropia</i> sp.	9	45%
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	8	40%
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	8	40%
Amarelão	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	7	35%
Aroeirinha Do Campo		7	35%
Jenipapo	<i>Genipa americana</i> L.	7	35%
Burra Leiteira		6	30%
Ingá	<i>Inga</i> sp.	6	30%
Jaqueira	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	6	30%
Mangueira	<i>Mangifera indica</i> L.	6	30%
Mogno	<i>swietenia macrophylla</i> King	6	30%
Pau Preto	<i>Cenostigma tocanthum</i> Ducke	6	30%
Sangra D'Água	<i>Croton</i> sp.	6	30%
Abacateiro	<i>Persea americana</i> Mill.	5	25%
Cajá	<i>Spondias mombin</i> L.	5	25%

Das espécies mencionadas, apenas o Abacateiro (*Persea americana* Mil.), a Mangueira (*Mangifera indica* L.) e o Cajá (*Spondias mombin* L.), o Mogno (*Swietenia macrophylla* King) e a Jaqueira foram voluntariamente plantadas pelos produtores, pensando no uso de seus frutos (abacate, manga, jaca e cajá) e de sua madeira (mogno).

Com relação aos indicadores de qualidade do sistema agroflorestal com cacau, os produtores citaram observar o aspecto das folhas do cacaueiro (tamanho, quantidade, cor, brilho) (32%); alta produtividade de frutos de cacau (25%); sombreamento adequado para o cacaueiro (14%); dentre outros - vide Figura 31.

Figura 31 - Indicadores de qualidade de um SAF-cacau, na percepção dos produtores entrevistados. Fonte: Autor, 2017.

Observa-se pela principal resposta dada que empiricamente os agricultores aprenderam a observar o aspecto das folhas do cacauzeiro como indicador de qualidade. Os aspectos visual e químico das folhas do cacauzeiro são usualmente citados na literatura como possíveis indicadores de deficiência de nutrientes no solo (HARDY, 1961, p.76-78; Chepote et al., 2012 p.90-94; WOOD; LASS, 1985 p. 172-180), portanto sua observação pode indicar um sistema com menor potencial produtivo, com plantas deficientes. Todas as demais respostas também estão relacionadas a fatores considerados na literatura como importantes para a produção de cacau, como fertilidade do solo (CHEPOTE et al., 2012, p. 67-113; HARDY, 1961, p.75-89; WOOD; LASS, 1985, 172-194; ROSAND, 1989 p.2), a fitossanidade, poda e espaçamento adequados.

Considerando os animais silvestres da região avistados no SAF-cacau, 90% dos produtores citaram o avistamento da paca; 75% citaram ter avistado catitus; 65%, macacos-prego e 55% araras e cotias, dentre outros (Quadro 2).

Quadro 2 - Citação de animais avistados no SAF-cacau pelos produtores. Fonte: Autor, 2017.

Animais citados	Nome científico	Citações	%
Paca	<i>Cuniculus</i> spp.	18	90%
Catitu/Cateto	<i>Pecari tajacu</i>	15	75%
Macaco Prego	<i>Sapajus</i> spp.	13	65%
Araras	Psitacidae spp.	11	55%
Cotia	<i>Dasyprocta</i> spp.	11	55%
Jacu	<i>Penelope</i> spp.	10	50%
Papa mel/Irara	<i>Eira barbara</i>	10	50%
Quati	<i>Nasua nasua</i>	10	50%
Pica-pau	Picidae spp.	8	40%
Tatu	Dasipodidae spp.	8	40%
Veado mateiro	<i>Mazama americana</i>	7	35%

A maioria dos produtores (80%) acredita que o SAF-Cacau é benéfico aos animais silvestres - pois o cacau plantado serviria de alimento a eles - muitas vezes mencionando o consumo de cacau como uma contrapartida involuntária dos agricultores pela perda de habitat dos mesmos animais, causada pela conversão de floresta em fazendas.

Outros 15% dos produtores consideram o SAF-cacau maléfico aos animais, pois ocorre a perda de seu habitat natural e 5% considera o SAF-cacau indiferente para os animais nativos. Apesar de relatarem a presença de animais em seus plantios como algo benéfico, alguns produtores relataram informalmente perdas de até 40% dos frutos, principalmente por predação de macacos-prego (*Sapajus* spp.).

O gráfico radar abaixo (Figura 32), demonstra as avaliações – de 1 a 5, sendo 1 mais negativo e 5, positivo - dos produtores com relação a fatores específicos. Com a realização da análise dos dados, foi possível perceber que não houve sensação otimista, acima da média de 2,5 para todos os fatores, como destaque para a qualidade da terra (3,8), corroborando a literatura que menciona terras de alta fertilidade no município.

Figura 32 - Gráfico da média das percepções dos produtores sobre seu próprio SAF-cacau. Sendo a nota máxima "5" e nota mínima, "1". Fonte: Autor, 2017.

Houve interesse dos produtores (88%) em participar de um hipotético programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) relativo à sua plantação de cacau. Para isso, seria necessário aumentar a quantidade de árvores de sombreamento no sistema agroflorestal de cacau, aumentando dessa forma os estoques de carbono no componente arbóreo. Em contrapartida, os produtores receberiam do governo uma determinada quantia em dinheiro. Apenas 6% não apresentou interesse e 6% afirmaram não ter certeza se participariam.

A pergunta a seguir era sobre o valor do pagamento, em reais (R\$), que os produtores entrevistados estariam dispostos a receber para aderirem ao referido programa. As respostas foram variadas, porém a de maior frequência (38%) consiste na definição do valor a receber após estimativa do impacto em suas produções, pois acreditam que com o acréscimo de árvores de sombreamento no sistema, a produção de cacau tende a cair. Desta forma, o valor a receber deverá compensar a perda na produtividade do cacaueiro.

4.2. RESULTADOS GERAIS

Uma tabela com um resumo descritivo de todos os dados obtidos nesta pesquisa foi elaborada e pode ser consultada no Apêndice B. Devido à alta variância dos dados das parcelas de um mesmo produtor, as análises foram feitas considerando cada parcela como independente, ao invés de serem um par de réplicas de uma propriedade rural específica.

4.3. BIOMASSA ACIMA DO SOLO E CARBONO

Após sistematização dos dados de campo e uso das equações alométricas discriminadas na Tabela 2, obtivemos os dados de biomassa e estoque de carbono epígeo para os cacaueiros (Cc), as árvores de sombreamento (Cs) e a soma de ambos (Ctotal). Os *boxplots* na Figura 33 ilustram as amplitudes e distribuição destes dados.

Figura 33 - Boxplots dos estoques de carbono na biomassa epígeo. Cc: Carbono do cacaueiro; Cs: carbono das árvores de sombreamento; Ctotal: soma de Cc e Cs. Fonte: Autor, 2017.

Devido à grande diversidade de formas de manejo dos sistemas agroflorestais por seus produtores, que variou do anelamento seletivo à eliminação quase completa de árvores de sombreamento, encontramos desde sistemas com 29,59 MgC.ha⁻¹ até 126,55 MgC.ha⁻¹ (DP= 24,7). Estes dados são similares aos encontrados em sistemas de produção de cacau ao redor do mundo, que apresentam também grande variação. No total, nas

40 parcelas, para compor os dados de Cs foram contadas 581 árvores, incluindo bananeiras, com uma média de 110,56 kg de carbono por indivíduo.

No Brasil, no Vale da Juliana - BA, em plantios de 6 anos de idade consorciados com seringueiras (*Hevea brasiliensis*) de 34 anos de idade, foi estimada biomassa acima do solo de 106 MgC.ha⁻¹ (COTTA et al., 2006). Em Talamanca, Costa Rica, SAFs-cacau estocaram entre 112 e 132 MgC.ha⁻¹ na parte aérea dos cacaueiros e árvores de sombreamento respectivamente (SEGURA et al., 2008). Segundo Concha e colaboradores (2007), a biomassa arbórea encontrada em SAFs-cacau no Peru, de 12 e 20 anos, das províncias de San Martín e Mariscal Cáceres, foi de 26 e 35 MgC.ha⁻¹, respectivamente. Em Caldas - Colômbia, Aristizábal (2002) estimou que aos 15 anos de idade SAFs-cacau com 200 indivíduos de louro estocavam um total de 49,4 MgC.ha⁻¹.

Quando considerado o aumento de carbono com relação à complexidade do sistema, a biomassa acima do solo quintuplicou: de aproximadamente 17 Mg.ha⁻¹ para 30 Mg.ha⁻¹ em sistemas de cacau-gliricídia, para 100 Mg.ha⁻¹ em sistemas multiestratificados (RAJAB et al., 2016).

De acordo com Pan e colaboradores (2013), a biomassa total - acima e abaixo do solo - de florestas tropicais úmidas como a amazônica estocam 145 ± 53 MgC.ha⁻¹. Como mencionado anteriormente, os SAFs-cacau amostrados em São Félix do Xingu estocam, em média, 29.59 MgC.ha⁻¹, ou seja, aproximadamente 20% do total de uma floresta nativa localizada no mesmo bioma, ainda sem a inclusão da biomassa abaixo do solo, que pode estocar aproximadamente 26% da biomassa aérea (CAIRNS et al., 1997). Se levados em conta o valor mais extremo, de 126,55 MgC.ha⁻¹ encontrado nos SAFs-cacau altamente sombreados, temos um sequestro de carbono equivalente a 87% da biomassa de uma floresta nativa.

Se acrescidos de estimativa de biomassa abaixo do solo, estimada em 0,26 da biomassa acima do solo (CAIRNS et al., 1997), os SAFs-cacau de São Félix do Xingu estocariam em média 41,42 MgC.ha⁻¹ - aproximadamente 28% da biomassa de uma floresta primária tropical. Vale ressaltar ainda que neste estudo não foram computados nem a necromassa das árvores, nem o carbono estocado nos solos dos SAFs-cacau amostrados.

4.4. RELAÇÕES ENTRE BIOMASSA, SOMBREAMENTO E PRODUTIVIDADE DO CACAUEIRO

Visando estabelecer a relação entre variáveis de biomassa, sombreamento e produtividade, avaliamos a correlação de Pearson para ajuste de regressões, e obtivemos os seguintes dados, organizados abaixo na Tabela 3. Devido à falta de normalidade dos resíduos, os dados de produtividade foram transformados pela metodologia proposta por Box-Cox, por meio da função *boxcox()* do pacote MASS do software "R".

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis de interesse (variáveis transformadas). Fonte: Autor, 2017

	Carbono cacaueiro	Carbono sombra	Carbono total	ICD
Produtividade	0,14 ^{ns}	-0,62***	-0,52***	-0,68**
Idade	-	-	0,49**	

^{ns}Correlação não significativa pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. *Correlação significativa a 5% de probabilidade de erro. **Correlação significativa a 1% de probabilidade de erro. ***Correlação significativa a 0.1% de probabilidade de erro. Fonte: Autor, 2017.

Dentro das condições deste estudo, entre as variáveis de biomassa e sombreamento, apenas o carbono do cacaueiro não teve correlação significativa com a produção de cacau.

Como esperado pela literatura, os incrementos de biomassa total e de sombra estão correlacionados negativamente com a produção de cacau, por meio da dinâmica não linear entre biomassa e sombreamento. Espera-se que quanto mais biomassa de sombreamento em um SAF-cacau, maior será o sombreamento do cacaueiro, e portanto menor será sua produtividade (AHENKORAH, Y. AKROFI, G.S. ADRI, 1974; SOMARRIBA et al., 2013a; ZUIDEMA et al., 2005).

As correlações estabelecidas acima indicaram a possibilidade de exploração por meio de regressões, que serão discutidas a seguir.

4.4.1. Regressão da idade do SAF-cacau e carbono total estocado no componente arbóreo acima do solo.

Devido à falta de normalidade dos resíduos nesta regressão, os dados de produtividade foram transformados no software “R” pela metodologia proposta por Box-Cox, por meio da função “boxcox()” do pacote “MASS”.

Tabela 4 - Quadro de análise da regressão Carbono total e idade. Fonte: Autor, 2017

	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
IDADE	1	131,877	131,877	3877,828	<0,0001***
IDADE ²	1	9,511	9,511	279,683	<0,0001***
IDADE ³	1	1,023	1,023	30,085	<0,0001***
Resíduos	37	1,258	0,034	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau. ^{ns}: Não significativo a 5% de probabilidade de erro. *: Significativo a 1% de probabilidade de erro. ***: Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F ***Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. Fonte: Autor, 2017.

Todos os polinômios testados obtiveram significância satisfatória, e foi possível ajustar uma regressão polinomial de terceiro grau com um alto valor de R^2 (99%). Como pode ser observado na Figura 34, a quantidade de carbono total da área tende a aumentar com a idade da mesma, porém esse aumento não se dá de forma linear, mas com um comportamento mais discreto. As variações de biomassa dos dois componentes da biomassa que compõe o carbono total – a biomassa do cacaueiro e das árvores de sombreamento – serão exploradas abaixo nos tópicos a seguir.

Figura 34- Gráfico de dispersão entre Idade (anos) e Carbono acima do solo do componente arbóreo do SAF-cacau (Carbono total, em $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$). Fonte: Autor, 2017.

4.4.2. Regressão carbono acima do solo em cacaueiro e produtividade do cacaueiro

Muller e Valle (2012) citam que a distribuição do carbono em cacaueiros com sete anos de idade de 54 variedades clonais se deu da seguinte forma: 16% em folhas, 9% em caule, 34% em ramos e 19% em frutos, totalizando 78% do carbono do vegetal alocado em sua parte aérea. As raízes foram responsáveis por 22% do carbono acumulado. Acumulação de biomassa no cacaueiro é crescente até sua maturidade, quando sua taxa de acumulação se torna constante (MULLER, GAMA-RODRIGUES, 2012, p.424). Sabe-se que a o acúmulo de biomassa se dá em maiores proporções no cacaueiro a pleno sol quando comparado ao cacaueiro desenvolvido sob regime de sombreamento (THONG; NG, 1980).

Devido a falta de normalidade dos resíduos, os dados de produtividade foram transformados pela metodologia proposta por Box-Cox, por meio da função `boxcox()` do pacote “MASS” do programa “R”.

Tabela 5 - Análise de variação da regressão entre Carbono do cacaueiro e produtividade. Fonte: Autor, 2017.

	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
Cc	1	65,655	65,655	0,737	0,397 ^{ns}
Cc ²	1	27,721	27,721	0,311	0,581 ^{ns}
Cc ³	1	37,121	37,121	0,417	0,523 ^{ns}
Resíduos	34	3027,248	89,037	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau. ^{ns}: Não significativo a 5% de probabilidade de erro. *: Significativo a 1% de probabilidade de erro. ***: Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma

dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F. Fonte: Autor, 2017.

Como demonstrado pela interpretação da Tabela 5, os resultados para os polinômios testados não permitem o ajuste de um polinômio com alfa a ao menos 5%, corroborando a correlação não significativa de Pearson da demonstrando que para os dados obtidos não houve correlação significativa entre a biomassa acumulada no cacauzeiro e sua produtividade.

4.4.3. Regressão Carbono acima do solo de árvores de sombreamento e Produtividade de cacau

A Tabela 6 apresenta os dados da regressão entre o carbono acima do solo das árvores de sombreamento e a produtividade de cacau. Entre as ordens polinomiais testadas, apenas a equação polinomial de primeiro grau apresentou significância.

Tabela 6 - Análise de variação da regressão entre Carbono das árvores de sombreamento e produtividade de cacau. Fonte: Autor, 2017.

	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
Cs	1	1185,503	1185,503	24,134	<0,0001***
Cs ²	1	140,39	140,39	2,858	0,101 ^{ns}
Cs ³	1	134,194	134,194	2,732	0,108 ^{ns}
Resíduos	32	1571,897	49,122	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau. ^{ns}: Não significativo a 5% de probabilidade de erro. *: Significativo a 1% de probabilidade de erro. ***: Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F. Fonte: Autor, 2017.

Figura 35 - Gráfico de dispersão entre Carbono de árvores de sombreamento (MgC.ha-1) e produtividade (em kg de amêndoas secas.ha-1.ano-1, transformado por Box-Cox). Fonte: Autor, 2017.

Devido à falta de normalidade nos resíduos, os dados de produtividade foram transformados pelo método proposto por Box-Cox. Mesmo com baixo coeficiente de determinação da reta (40%), a inclinação negativa da Figura 35 e a correlação de Pearson indicam correlação negativa. Vale ressaltar que o coeficiente de determinação desta regressão é maior que o da equação melhor ajustada e significativa entre carbono total e produtividade, indicando uma maior contribuição da biomassa de sombra na perda de produtividade do cacaueiro em SAFs-cacau. O carbono do sombreamento está significativamente correlacionado com a ICD, já que maior biomassa aérea de árvores de sombreamento se traduz em maior biomassa de troncos e folhas competindo por luz, ocupando e fechando o dossel do sistema agroflorestal.

É usual que em SAFs-cacau diversificados a maior parte do carbono acima do solo seja oriundo das árvores de sombreamento (RAJAB et al., 2016), mas não encontramos tal relação média, pois houve a inclusão tanto de parcelas que não possuíam árvores de sombreamento até parcelas com 550 indivíduos por hectare (incluindo bananeiras - *Musa* spp.).

O gráfico de dispersão (Figura 36) das duas variáveis - sem transformação - permite constatar a ampla variação entre estoques de carbono acima do solo em árvores de sombreamento e a produtividade de cacau associada.

Figura 36 - Dispersão produtividade do cacau (kg/ha/ano) x Carbono de sombreamento (MgC/ha). Fonte: Autor, 2017.

Mesmo com correlação negativa significativa, foram estimados valores de produção de cacau similares para parcelas com diferenças de 3 vezes em seu carbono estocado em árvores de sombra, evidenciando a possibilidade de manejo para otimização da relação entre as duas variáveis.

4.4.4. Regressão Carbono Total e Produtividade

A regressão (Tabela 7 e Figura 37) entre estoque de carbono total (cacau + árvores de sombreamento) acima do solo e produtividade de cacau descrevem a relação entre estas variáveis:

Tabela 7 - Quadro de análise de variação da regressão entre Carbono Total e produtividade

	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
CTOTAL	1	685500.476	685500.476	11.865	0.002 **
CTOTAL ²	1	10177.139	10177.139	0.176	0.678 ^{ns}
CTOTAL ³	1	4708.549	4708.549	0.081	0,777 ^{ns}
Resíduos	32	1848866.784	57777.087	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau. ^{ns}: Não significativo a 5% de probabilidade de erro. **: Significativo a 1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F.

Figura 37- Gráfico de dispersão entre Carbono total (em MgC.ha⁻¹) e Produtividade (em kg de amêndoas secas.ha⁻¹.ano⁻¹). Fonte: Autor, 2017.

Observando a tabela acima podemos observar um coeficiente de inclinação negativo de -9,89, evidenciando a correlação negativa entre produtividade e carbono total, como previsto pela correlação de Pearson. Apenas a regressão polinomial de primeiro grau foi significativa, mas seu coeficiente de determinação nos mostra que o modelo explica somente 27% da variação encontrada, evidenciando que nas presentes condições do estudo há 72% de variação que deve ser explicada por outros fatores, como manejo, demais condições ambientais e genética do cacau. Outro fator que pode auxiliar na explicação do baixo coeficiente de determinação é o fato do carbono do cacau, incluído no carbono total, não ter apresentado correlação significativa com produtividade.

Eduardo Somarriba e colaboradores (2013b) indicaram que mesmo com estoques idênticos de carbono, duas parcelas podem ter produtividade completamente distintas. Diferenças na forma de alocação do carbono acima do solo, principalmente nas árvores de sombreamento, como alocação em árvores grandes em menor densidade, versus um grande número de árvores menores, geram com suas copas padrões diferentes de transmissão de energia luminosa e, portanto, de irradiância solar sobre os pés de cacau, afetando sua produção de forma diferencial. Como descrito na literatura, tanto em Gana, na África (WADE et al., 2010) quanto na América Latina (SOMARRIBA et al., 2013b) espera-se redução da produtividade com aumento do estoque de carbono em SAFs-cacau.

4.4.5. Regressão Carbono acima do solo de árvores de sombreamento x ICD

Tabela 8 - Análise de variação da regressão entre carbono das árvores de sombreamento e Índice de Cobertura de Dossel.

	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
Cs	1	1530.743	1530.743	221.824	0.00***
Cs ²	1	467.29	467.29	67.716	0.00***
Cs ³	1	128.538	128.538	18.627	0.00***
Resíduos	35	241.525	6.901	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau.***Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F. Fonte: Autor, 2017.

Embora todos os polinômios testados tenham apresentado significância, o coeficiente de determinação foi mais alto para o polinômio de 3º grau (Figura 38). A equação teve o intercepto suprimido pois este não se mostrou significativo em teste T com alfa a 5% para o modelo testado.

Figura 38 - Regressão de Carbono de árvores de sombreamento e Índice de Cobertura de Dossel. Fonte: Autor, 2017

Para esta regressão os dados de ICD foram transformados por Box-Cox. O modelo corrobora a correlação de Pearson positiva de 0,57, significativa a 1% de probabilidade de erro. Como já dito anteriormente, de forma geral espera-se que quanto maior for a biomassa de sombreamento, maior será a ICD, devido à correlação implícita entre biomassa acima do solo e alocação de recursos do vegetal em folha e troncos.

De acordo com o comportamento das variáveis, há um aumento de ICD correlacionado positivamente ao incremento de carbono estocado acima do solo em árvores de sombreamento, porém isso ocorre até valores intermediários de 20 e 30 Mg. ha. Após estes valores o modelo indica um no Índice de Cobertura de Dossel, o que não faz sentido biológico, mas demonstra a possibilidade de manejo da sombra para valores mais altos de biomassa gerando a mesma porcentagem de sombreamento. Os valores extremos de alto carbono acima do solo

estocados ($103,48$ e $93,35 \text{ MgC.ha}^{-1}$) foram registrados em parcelas com indivíduos de alta biomassa, como castanheiras da Amazônia e favões, em densidade média (7 e 15 indivíduos, respectivamente) que não geram incrementos de sombreamento na mesma proporção de sua massa. O gráfico de dispersão entre as variáveis (Figura 39) não transformadas mostra a possibilidade de sistemas com até 43 MgC.ha^{-1} com ICD menor na faixa de 30%, o recomendado pela CEPLAC (SILVA NETO et al., 2001).

Figura 39 - Dispersão entre Índice de Cobertura de Dossel e carbono das árvores de sombreamento (MgC/ha). Fonte: Autor, 2017.

Para ICDs acima de 30%, há possibilidades ainda maiores de estoque de carbono, mas a perda na produtividade do cacaueiro deverá ser compensada por renda advinda de produtos florestais madeireiros ou não-madeireiros e demais serviços ambientais providos pelas árvores de sombreamento (RAJAB et al., 2016), o que não foi evidenciado em grande parte dos SAFs-cacau amostrados nesta pesquisa.

Vale ressaltar que nenhum produtor consultado efetivamente planejou o espaçamento entre as árvores de sombreamento visando otimizar o ICD, principalmente no momento em que fez a escolha das árvores que comporiam o sombreamento definitivo de seu plantio. Os cacaucultores afirmaram que sua capacitação se deu na época da implantação da área, com curso realizado pela CEPLAC, mas nenhum produtor afirmou saber ao certo a quantidade de sombra ideal para seu plantio, apenas que o sombreamento ‘era necessário’.

Amostrando SAFs-cacau em Gana, Rajab e colaboradores (2016) constataram que aumentar a sombra de 50% para 95% fez com que a biomassa acima do solo se multiplicasse seis vezes, alterando inclusive a relação parte aérea/raiz, em favorecimento de alocação de biomassa na parte aérea do cacaueiro, possivelmente para competir por luz com as árvores de sombreamento.

4.4.6. Índice de Cobertura de Dossel e Produtividade de cacau

De acordo com a tabela de regressão polinomial para o índice de cobertura de dossel e produtividade do cacau (Tabela 9 - Análise da regressão Índice de Cobertura de Dossel e Produtividade do cacau. Tabela 9), houve significância para todos os polinômios propostos, incluindo a 0,1% de probabilidade.

Tabela 9 - Análise da regressão Índice de Cobertura de Dossel e Produtividade do cacau.

	GL	SQ	QM	F valor	Pr(>F)
ICD	1	1243426,183	1243426,183	55,404	<0,0001***
ICD ²	1	258196,442	258196,442	11,505	0,002**
ICD ³	1	388219,623	388219,623	17,298	<0,0001***
Resíduos	34	763059,44	22442,925	-	-

²: Polinômio de 2º grau. ³: Polinômio de 3º grau. ***: Significativo a 0.1% de probabilidade de erro. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: quadrado médio. F: valor F. Pr(>F) valor de significância associado ao valor F. Fonte: Autor, 2017.

O melhor ajuste possível ocorreu com um polinômio de terceiro grau. De maneira geral, como encontrado na literatura (WOOD; LASS, 1985, AHENKORAH; Y. AKROFI; G.S. ADRI, 1974, p. 167-169,) verifica-se uma tendência na redução da produtividade em função do aumento do ICD, porém essa relação, segundo os dados obtidos, não se dá de forma linear como ocorreria para uma regressão de primeiro grau (Figura 40).

Figura 40 - Gráfico de dispersão de Índice de cobertura de dossel *versus* produtividade do cacau. Fonte: Autor, 2017.

O modelo fisiológico do cacau criado por Zuidema e colaboradores (2005) indicou que quando o sombreamento foi menor que 25%, houve perda de menos de 10% na produtividade, mas ao se aumentar os

níveis de sombreamento para mais de 60%, houve redução de mais de um terço na produtividade. Segundo Wood e Lass (1985), citando experimento de Evans e Murray (1975), o cacaueteiro passa a responder à fertilização com aumento da luminosidade acima de 50%.

Müller e Valle (2012, p. 41) mencionam que em realidade a sombra é vantajosa ao cacaueteiro não por fornecer a quantidade de luz ótima para seu desenvolvimento, mas para neutralizar fatores ecológicos negativos advindos de um cultivo a pleno sol, como redução da fertilidade do solo; estresse hídrico e incidência de doenças e pragas. Estes autores recomendam que, em locais onde a possibilidade de tecnificação do plantio de cacau é limitada, como por exemplo locais de difícil implantação de irrigação, obtenção de insumos, ou variedades de alta produtividade, o sombreamento deve ser enfatizado. O gráfico de dispersão do índice de cobertura de dossel versus a produtividade do cacaueteiro (Figura 41) nos permite observar melhor a variação da resposta de produtividade com relação à ICD, que teve correlação de Pearson moderadamente negativa (0,656) significativa ($p < 0,0001$).

Figura 41 - Índice de cobertura de dossel versus produtividade do cacaueteiro (kg/ha/ano). Fonte: Autor, 2017.

Schroth e colaboradores (2016) no sul da Bahia apontaram uma relação de 65 MgC.ha⁻¹ com produção de 585 kg/ha e sombreamento de 55% como o recomendado. Este sistema estava organizado em 'cabruca', mata atlântica, com carbono alocado majoritariamente em indivíduos de grande porte, com diâmetro à altura do peito >30cm.

Considerando as médias de produtividade para SAFs-cacau produtivos obtidas por Braga (2015) para a mesma região, de 471,4 kg de amêndoas secas/ha/ano, e a média de produtividade de 354,32 kg/ha/ano estimada neste trabalho, obtemos uma média local de 412,86 kg de amêndoas de cacau por hectare/ano.

A parcela que mostrou produtividade acima da média regional (Figura 42, ponto em vermelho) e maiores valores de carbono encontrados, apresentou valores de carbono de sombreamento de 17,92 MgC.ha⁻¹, estoques de carbono acima do solo em cacaueteiros de 11,53 MgC.ha⁻¹ e carbono acima do solo total de 29,45 MgC.ha⁻¹, com produtividade de 501,28 kg de amêndoa seca/ano e ICD de 48,83%.

Curiosamente em alguns aspectos os dados entre as parcelas, apesar de estarem situadas em biomas distintos, são similares, mas vale ressaltar que a parcela ótima encontrada por Schroth apresentou mais de 3 vezes carbono em árvores de sombreamento que a parcela considerada ótima em São Félix do Xingu. Vale ressaltar também que as cabruças são sistemas pouco adensados: os dados de Schroth mostraram adensamento médio de 872 cacaueiros por hectare, contra 1111 pés esperados de espaçamentos 3x3 usados em São Félix do Xingu, ou seja, a produtividade por cacaueiro foi maior em sua parcela, novamente evidenciando a possibilidade de manejo dos SAFs-cacau xingueses para maior produção de cacau.

Figura 42 - Gráfico de dispersão do Carbono acima do solo de arvores de sombra e produtividade do cacaueiro, com linha de produtividade média para São Félix do Xingu - PA. Fonte: Autor, 2017.

Plantios com produtividade de 500 kg/ha ainda são considerados como pouco produtivos, dado que se espera que lavouras manejadas com sombreamento a 30%, na Amazônia, produzam 1.000 kg/ha/ano (SILVA NETO et al., 2001). Uma alternativa viável para alterar esse quadro de baixa produtividade seria a intensificação sustentável. Como exemplo no sul da Bahia, sob manejo agroflorestal agroecológico e capacitação do Instituto Cabruca (VIANA et al., 2011), SAFs-cacau-cabruca renovados obtiveram incremento de mais de 1000% de produtividade ao final de 4 anos de tratamento, saindo de 70 kg de amêndoas secas.ha⁻¹.ano⁻¹ para 765 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Foi estimado que com o enriquecimento de um hectare dos plantios de cacau com cupuaçuzeiros (204 indivíduos/ha, 7 x 7 m), 100 bananeiras (aleatoriamente distribuídas) e 100 flores nativas aleatoriamente distribuídas, houve aumento da renda por hectare de 389%, de R\$ 3.850,00 para R\$ 15.010,00.

4.5. SOLO

4.5.1. Análise química da fertilidade

Tabela 10 - Resultado de fertilidade química o solo para a profundidade 0-10 cm. Fonte: Autor, 2017.

Variável	unidade	Ideal	Média	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo
pH 0-10	-	6,0 a 7,5 [#]	5,37	3,9	4,9	5,4	5,7	6,6
MO 0-10	g.dm. ⁻³	15 a 50 [#]	40,75	24	34,5	39	46,5	65
P 0-10	mg.dm. ⁻³	>12 [*]	13,13	5	8	10	14,5	73
K 0-10	mmolc.dm. ⁻³	1 a 4 [#]	2,38	1	1,7	2,3	3,25	4,5
Ca 0-10	mmolc.dm. ⁻³	≥ 30 [#]	51,4	3	28,5	49,5	66	132
Mg 0-10	mmolc.dm. ⁻³	≥10 [#]	13,45	2	9,5	14,5	17	23
Hal 0-10	mmolc.dm. ⁻³	-	28,95	12	19	22	32,5	135
SB 0-10	mmolc.dm. ⁻³	-	67,23	6,7	39,65	67,6	86,35	157,6
CTC 0-10	mmolc.dm. ⁻³	≥ 80 [#]	96,18	58,4	76,1	90,9	111,05	172,6
Vporc0-10	%	≥ 40% [#]	67,78	5	57	75,5	81,5	92

Forma de análise química: pH: CaCl. MO: colorimetria. P: extração por resina. K: extração por resina Ca: extração por resina. Mg: extração por resina. HA+AL: solução tampão SMP. Médias adequadas aos parâmetros ideais sugerido pela literatura foram pintadas de verde. Médias não adequadas foram coloridas em amarelo.

[#]: SILVA, L.F. da; CARVALHO FILHO A.F.R.; DIAS A.C.C.P. 1967. Características dos principais solos de cacau da Bahia. Proc. II Int. Cocoa Research Conf. 412-416 pp. citado por CHEPOTE et al., 2012, p. 72; ^{*}: WOOD, LASS, 2001, p.188.

Tabela 11 - - Resultado de fertilidade química o solo para a profundidade 20-30 cm. Fonte: Autor, 2017.

Variável	unidade	Ideal	Média	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo
pH 20-30	-	6,0 a 7,5 [#]	4,95	3,8	4,5	4,8	5,4	6,4
MO 20-30	g.dm. ⁻³	15 a 50 [#]	18,85	10	14,5	16	21,5	42
P 20-30	mg.dm. ⁻³	>12 [*]	4,45	1	3	4	5	12
K 20-30	mmolc.dm. ⁻³	1 a 4 [#]	1,76	0,8	1,1	1,65	2	3,9
Ca 20-30	mmolc.dm. ⁻³	≥ 30 [#]	19,08	1	9,5	16	28,5	61
Mg 20-30	mmolc.dm. ⁻³	≥10 [#]	4,4	0	3	4,5	6	14
HA1 20-30	mmolc.dm. ⁻³	-	30,35	15	25	28	31	88
SB 20-30	mmolc.dm. ⁻³	-	25,43	2,8	13,05	23,05	36,8	78,3
CTC 20-30	mmolc.dm. ⁻³	≥ 80 [#]	55,78	33,1	40,55	55,2	65,75	94,3
Vporc 20-30	%	≥ 40% [#]	43,1	3	30	44,5	55	83

Forma de análise química: pH: CaCl. MO: colorimetria. P: extração por resina. K: extração por resina Ca: extração por resina. Mg: extração por resina. HA+AL: solução tampão SMP. Médias adequadas aos parâmetros ideais sugerido pela literatura foram pintadas de verde. Médias não adequadas foram coloridas em amarelo.

#: SILVA, L.F. da; CARVALHO FILHO A.F.R.; DIAS A.C.C.P. 1967. Características dos principais solos de cacau da Bahia. Proc. II Int. Cocoa Research Conf. 412-416 pp. citado por CHEPOTE et al., 2012, p. 72; *: WOOD, LASS, 2001, p.188.

Dos parâmetros avaliados, apenas a acidez potencial (H+Al ou HAl) e a concentração de argila não apresentaram diferenças significativas ($p=0,037865$ e $p=0,30689$, respectivamente) entre suas médias nas profundidades 0-10 cm e 20-30 cm, em testes Wilcoxon pareados, demonstrando que ambas as profundidades destes fatores podem ser consideradas homogêneas em sua análise. As demais variáveis apresentam diferença significativa e, portanto, foram discutidas levando em conta sua profundidade.

4.5.1.1. pH

Segundo Ronquim (2010), o pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada geralmente apresentam pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes.

Hardy, citado por Rosand (1989) recomenda, para plantio do cacauzeiro, uma faixa de pH entre 6 a 7,5, com valor ideal em 6,5. Apesar da considerável variação na acidez do solo encontrada nas 40 parcelas amostradas, a média nos mostra que a maioria delas não tem pH considerado ideal - apenas 30% das parcelas apresentou valores de acidez adequados para profundidade 0-10 cm, e 5% para 20-30 cm.

Curiosamente, mesmo sendo o único fator de fertilidade química notadamente abaixo dos padrões ideais, o pH não apresentou correlação de Pearson significativa com a produção de cacau, contudo apresentou correlação moderadamente positiva (0,64), na profundidade 0-10, com o carbono do cacauzeiro. Esta correlação informa que nesta pesquisa, os locais com pH mais alto (solo mais básico), havia mais carbono acima do solo estocado nos cacauzeiros que nas parcelas com solo mais ácido.

4.5.1.2. Matéria orgânica

Quanto à matéria orgânica, Percy Rosand (1989, p.6), Guariguata e Ostertag (2001) ressaltam que esta desempenha tanto papel de adsorção de nutrientes, calculada na CTC, quanto retenção de água, melhoria da estrutura do solo e provimento de nutrientes para decompositores, se constituindo numa das mais importantes propriedades a ser levada em conta na escolha de solos para plantio de cacau.

De modo geral as parcelas amostradas apresentaram valores dentro do considerado pela literatura como ideal para a matéria orgânica (WOOD; LASS, 1985, p. 75; CHEPOTE, et al, 2012, p.72). O fato de 40% dos plantios ter sido estabelecidos em locais que anteriormente eram floresta contribui para este fato, além do sistema agroflorestal teoricamente possibilitar incremento de matéria orgânica no solo ao longo do tempo (FASSBENDER et al., 1991; SOMARRIBA; BEER, 2011). Na profundidade 0-10 cm das 40 parcelas amostradas, 7 apresentaram matéria orgânica fora do recomendado, só que acima do ideal. Ao avaliar a profundidade 20-30 cm, no entanto, 20% das parcelas apresentaram conteúdos considerados abaixo do ideal.

Assim como o pH, a matéria orgânica não apresentou correlação significativa com a produção de cacau, contudo apresentou correlações positivamente fracas com as duas categorias de carbono estimado – o de árvores de sombreamento e de cacauzeiros, além de correlação significativa medianamente positiva (com o pH nas duas profundidades amostradas, com 0,57 $p=0,0001$ para 0-10 cm e 0,65846 $p<0,0001$ para 20-30).

Com respeito aos nutrientes, a matéria orgânica na superfície do solo (0-10 cm) apresentou correlação significativa fortemente positiva (>80%) com as concentrações de cálcio superficial, e soma de bases superficial, evidenciando a importância da matéria orgânica para a fertilidade dos solos de SAF-cacau.

4.5.1.3. Fósforo

Segundo Chepote e colaboradores (2012, p. 87) o fósforo é um elemento químico essencial ao desenvolvimento dos vegetais, sendo incluído na categoria de macronutriente. Plantas deficientes em fósforo apresentam sistema radicular, folhas e ramos mal desenvolvidos, com florescimento e frutificação retardados e frutos pequenos. As folhas de cacauzeiro deficientes em fósforo apresentam coloração variando do verde ao marrom, púrpura e marrom-esverdeada, caem mais cedo e podem apresentar necrose em seus ápices (HARDY, 1961). Tanto os conteúdos de fósforo a 0-10 cm quanto a 20-30 cm apresentaram fraca correlação positiva significativa com a produção de cacau, de 0,3853 e $p=0,0141$ para profundidade 0-10 e correlação de 0,3499 com

$p=0,0268$ para 20-30 cm. A maioria das parcelas (67%) apresentou deficiência de fósforo em seus solos em profundidade superficial (0-10 cm). Das 40 parcelas amostradas, apenas uma apresentou quantias satisfatórias de fósforo na camada 20-30 cm. Apesar de 70% dos produtores terem alegado terem adubado seu SAF-cacau em algum momento, a necessidade de reposição de fósforo é evidente.

4.5.1.4. Potássio

O potássio é o nutriente mais abundante no tecido vegetal do cacaueiro. Importante para a resistência ao ressecamento dos tecidos vegetais; translocação de carboidratos e síntese de proteínas e ácidos graxos; e responsável por aumentar o conteúdo de açúcar, amido e gordura de diversos produtos agrícolas (CHEPOTE, 2012, p.87). Este nutriente apresentou-se em concentrações tidas como ideais em ambas as profundidades.

4.5.1.5. Cálcio

Elemento é essencial ao crescimento da raiz e constituinte importante da parede celular vegetal. Como este elemento é transportado ativamente via xilema sem redistribuição pelo floema, as partes em crescimento no vegetal sofrem as consequências de sua deficiência primeiro, como folhas jovens e frutos em formação. (CHEPOTE, et al, 2012). Níveis de cálcio foram em média considerados satisfatórios apenas na camada 0-10. Foram encontradas correlações moderadamente positivas (entre 50% e 80%) significativas entre as concentrações de cálcio em ambas as profundidades com a biomassa do cacaueiro.

A ordem de uso dos nutrientes $K > N > Ca > Mg > P > Mn > Zn$ (SILVA NETO et al., 2001). Nesta ordem o cálcio já se encontra, pela lei de Liebig como fator limitante ao desenvolvimento pleno do cacaueiro, pois apresenta concentração tida como inadequada na profundidade 20-30 cm.

4.5.1.6. Magnésio

O magnésio é elemento crucial no desenvolvimento vegetal, pois faz parte da molécula de clorofila, sendo, portanto, indispensável à fotossíntese. O magnésio funciona também como ativador de enzimas e síntese de ácidos nucleicos (CHEPOTE *et al*, 2012, p. 88). Folhas de cacaueiros deficientes em magnésio apresentam cor verde pálida e áreas necróticas entres as nervuras (HARDY, 1961, p.76).

Os teores de Mg apresentaram valores satisfatórios para as parcelas amostradas para a profundidade entre 0 e 10 cm de solo, ao passo que para a profundidade entre 20 e 30 cm, a média de tais teores apresentou-se abaixo de metade do que foi preconizado como desejável.

4.5.1.7. Capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e acidez potencial (H+Al)

Os valores de saturação por bases (V%) apontam para uma condição geral positiva de fertilidade em ambas as camadas do solo, uma vez que, na maior parte das parcelas amostradas, apresentou valores acima de 50%. Exceção a este quadro foram os valores obtidos para tal parâmetro em apenas duas parcelas de um mesmo produtor, onde a saturação por bases na faixa de 0-10 cm mostrou-se consideravelmente inferior a 50% - provavelmente devido a alguma mancha de solo de baixíssima fertilidade. Na camada compreendida entre 20 e 30 cm de profundidade, os valores de V% mostram-se inferiores ao recomendado em 45% das parcelas.

A CTC seguiu o padrão das demais variáveis de fertilidade do solo, em média apresentando valores ideais na camada superficial e níveis tidos como inadequados para a camada 20-30 cm. A Soma de Bases, assim como a CTC seguiu o mesmo padrão, com a média da camada inferior representando apenas 37,8% do valor obtido para a camada superior.

A observação de que na camada 0-10 cm 7 dos 8 fatores com referenciais de comparação estavam adequados, mas que apenas 3 destes fatores estavam dentro do ideal na profundidade 20-30 cm pode indicar que os processos de reposição de fertilidade do SAF-cacau são mais intensos em sua camada húmica, e justificam a densa concentração de finas raízes laterais do cacaueiro nessa profundidade.

De qualquer maneira, embora a literatura cite padrões ideais de cultivo, plantios comerciais como o citado por Wood e Lass no Zaire, sob pH de 4,2 - 4,5 e soma de bases de 15 a 30 cmols_c/dm³ obtiveram rendimentos satisfatórios, creditando a alta produtividade ao cuidadoso manejo da sombra. Deve-se, portanto, buscar referenciais de fertilidade construídos preferencialmente na região de plantio (WOOD; LASS, p. 70), além de se considerar os demais fatores ecológicos do plantio.

4.5.2. Análise física do solo

O desenvolvimento e a penetração das raízes do cacaueiro são significativamente influenciados pela distribuição de silte, areia e argila no solo, sendo que, em solos argilosos, a natureza dos minerais e o seu grau de floculação são os fatores influenciadores da facilidade de penetração das raízes dessa planta (CHEPOTE et al., 2012, p.83). Wood e Lass (1985, p.75) indicam que em solos com precipitação adequada e diferenças entre períodos secos e úmidos (como é o caso de São Félix do Xingu) a composição física ideal deve ser de 50% de areias, 10-20% de silte e 30-40% argila. Contudo, Chepote (2012, p. 72) citando Silva (1979) menciona frações ideais de 20-40 % de argila no horizonte A e 30 a 65% no B para o cultivo do cacaueiro. A Tabela 12 apresenta as frações de argila, areia e solo encontradas nas profundidades 0-10 e 20-30 cm.

Tabela 12 – Resumo descritivo da avaliação textural do solo amostrados nas profundidades 0-10 cm e 20-30 cm.
Fonte: Autor, 2017

Variável	Ideal	Média	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo
AREIA 0-10	50%	31%	13%	26%	32%	37%	45%
SILTE 0-10	10-20%	25%	2%	14%	26%	35%	52%
ARGILA 0-10	20-40%	44%	15%	32%	46%	55%	71%
AREIA 20-30	50%	26%	8%	20%	26%	32%	44%
SILTE 20-30	10-20%	25%	2%	15%	24%	35%	56%
ARGILA 20-30	20-40%	49%	15%	32%	52%	65%	74%

Os solos encontrados nas propriedades amostradas apresentaram natureza argilosa nas duas profundidades, ao ponto do conteúdo de argila ter sido considerado como homogêneo em teste Wilcoxon pareado ($p=0,30689$).

Como observado, os solos do ponto de vista textural se avaliados sob os parâmetros de Wood e Lass (1985) encontram-se excessivamente argilosos. No entanto, sob o ponto de vista de Silva (1979), citado por Chepote (2012), ao menos os teores de argila encontram-se dentro do ideal para cultivo do cacau.

Considerando as classes de textura (SANTOS et al., 2006) para as 40 parcelas amostradas, 60% foi classificada como argilosa, 22,5% como médio-argilosa, 10% muito argilosa e 7,5% como médio-arenosa. Este fato está em acordo com a carta pedológica citada anteriormente neste trabalho, pois segundo sua localização obtida por georreferenciamento, os agricultores estariam sobre argissolos vermelho-amarelo distróficos (PDVAd).

Ao contrário do silte, o conteúdo de argila no solo apresentou correlação de Pearson positiva significativa com a produtividade do cacau em ambas as profundidades amostradas, mesmo sendo considerada fraca, com coeficientes de 0,4309 a 0-10 cm e $p=0,0055$ e 0,4846 com $p=0,0015$ a 20-30 cm de profundidade.

A fração de silte nos solos apresentou correlação negativa fraca em ambas as profundidades: -0,375 com $p=0,0171$ a 0-10 cm e -0,417 $p=0,0730$ em profundidade 20-30 cm.

De acordo com Chepote e colaboradores (2012, p. 83), argilas expansíveis tendem a fechar os macroporos do solo quando úmidas, gerando ambiente anaeróbico desfavorável para o desenvolvimento das raízes. No entanto, quando secas, estes solos fendem-se e permitem melhor aeração das raízes. Como não foi realizada uma análise mineralógica da argila, não há como se ter certeza da natureza expansível ou não das argilas coletadas. Expansível ou não, um maior teor de argila pode favorecer a permanência de nutrientes em longo prazo, bem como sua disponibilização às plantas, desde que haja estruturação adequada - favorecida pela matéria orgânica, que também está correlacionada à fertilidade (WEINMANN; PROFESSIONAL, 2014)

A quantia de areia, ao menos nas profundidades coletadas, não apresentou correlação com a produtividade dos cacaueiros nos SAFs-cacau avaliados.

4.6. Análise de componentes principais

Foi realizada uma análise de componentes principais (Figura 43) com os dados coletados nesta pesquisa a fim de encontrar padrões de agrupamento entre as 40 parcelas de SAFs-cacau. As parcelas estão identificadas pelo número da propriedade de 1 a 20 (PR1 a PR20) e o algoritmo seguinte identifica a parcela 1 ou 2 naquela mesma propriedade.

Figura 43 - Análise de Componentes Principais com todos os dados amostrados na pesquisa. IDADE: idade em anos do plantio de cacau; Cc: carbono estocado em pés de cacau, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; Cs: carbono estocado, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; CTOTAL: soma do Cc e Cs, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; PRODKgha: Produtividade do SAF-Cacau, em kg de amêndoas secas por hectare/ano; ICD: Índice de cobertura de dossel, em %; pH010: potencial hidrogênioônico na profundidade 0-10 cm; MO: Matéria orgânica na profundidade 0-10 cm, em $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (colorimétrica) P010: fósforo na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. K010: Potássio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Ca010: Cálcio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Mg010: Magnésio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Hal010: Acidez potencial na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. SB: Soma de bases na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. CTC: Capacidade de troca catiônica na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Vporc010: Saturação de bases, em porcentagem. pH2030: potencial hidrogênioônico na profundidade 20-30 cm; MO2030: Matéria orgânica na profundidade 20-30 cm, em $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (colorimétrica) P2030: fósforo na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. K2030: Potássio na profundidade 20-30 cm, em $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Ca2030: Cálcio na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Mg2030: Magnésio na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Hal2030: Acidez potencial na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. SB2030: Soma de bases na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. CTC2030: Capacidade de troca catiônica na profundidade 20-30 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Vporc2030: Saturação de bases, em porcentagem na profundidade 20-30 cm. Fonte: Autor, 2017.

Os dois primeiros componentes, utilizados como os eixos do gráfico, explicaram 52,05% da variação dos dados, sendo que os autovalores do primeiro e segundo componente foram 11,97 e 4,68, respectivamente. Com ponto de corte de autovalores de 0,25, o componente 1 representa a informação de valores positivos para as variáveis Ca 0-10, SB 0-10, Ph 20-30, Ca 20-30, SB 20-30 e Vporc 20-30. O componente 2 representa a

informação de um contraste entre as variáveis PRODkg/ha, P 0-10, Silte 0-10 e Silte 20-30 contra Argila 0-10 e Argila 20-30. As tabelas de autovalores e autovetores gerados estão disponíveis nos apêndices C e D, respectivamente.

É possível observar grande dispersão dos dados, atribuída em parte à grande diversidade de manejo dos sistemas agroflorestais, e das diferenças entre o solo e o manejo dado a eles pelos produtores, sendo difícil o agrupamento dos produtores em grupos específicos. É importante mencionar que a variação encontrada até mesmo entre parcelas sorteadas na mesma propriedade foi suficiente para separá-las espacialmente na análise em quadrantes opostos do gráfico.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo trouxe à luz a diversidade de SAFs-cacau em São Félix do Xingu, resultado de diferentes formas de manejo e seus resultados em biomassa arbórea, sombreamento e fertilidade do solo, com maior ou menor impacto, na produção de cacau.

Os SAFs-cacau possuem em média $14,35 \pm 4,9$ anos de plantio, produzem em média $354,32 \pm 335,52$ kg de amêndoa seca de cacau.ha⁻¹.ano⁻¹ estocando em média $13,53 \pm \text{MgC.ha}^{-1}$ em cacaueiros, $16,05 \pm 23,56$ MgC.ha⁻¹ em árvores de sombreamento, com em total de $29,58 \pm 24,37$ MgC.ha⁻¹ de biomassa arbórea acima do solo, sob índice de cobertura de dossel (ICD) médio acima do cacaueiro de $27,85\% \pm 22,84\%$.

As regressões feitas a partir dos dados de forma geral corroboraram as suposições da literatura: Há correlação negativa não-linear entre:

- a) Carbono acima do solo total e produtividade do cacaueiro;
- b) Carbono acima do solo de árvores de sombreamento e produtividade do cacaueiro;
- c) Índice de cobertura de dossel e produtividade do cacaueiro.

Foi encontrada correlação positiva não-linear significativa entre carbono de sombreamento e índice de cobertura de dossel. Segundo a produtividade média de SAFs-cacau amostrados em 2014 e 2015 e 2016, a parcela considerada com relação ótima entre carbono de sombreamento e produtividade de cacau continha carbono de sombreamento de $17,92 \text{ MgC.ha}^{-1}$, estoques de carbono acima do solo em cacaueiros de $11,53 \text{ MgC.ha}^{-1}$ e carbono total acima do solo de $29,45 \text{ MgC.ha}^{-1}$, com produtividade de $501,28$ kg de amêndoa seca/ano e ICD de $48,83\%$.

Os produtores relataram ganhos com o SAF-cacau até 8 vezes maiores por área do que com pecuária, apesar da relatada dificuldade em obter a escassa mão de obra para manejo das plantações. Relataram também ter implantado seus SAFs-cacau com bananeiras como sombreamento temporário, seguindo orientação da CEPLAC, mas após o estabelecimento do dossel do cacau, somente pouco mais da metade dos produtores relatou obter renda, mesmo que pequena, advinda da venda de frutas/polpa advindas das árvores de sombreamento definitivo.

Dada a baixa frequência de uso das árvores de sombreamento para fins que não somente este, e a falta de conhecimento técnico sobre suas características, nos pareceu importante a continuidade de iniciativas de capacitação técnica com foco em estabelecimento de SAF-cacau com espécies de sombreamento que também possibilitem renda ao produtor, compensando a perda de produção de cacau advinda do maior sombreamento.

Para SAFs-cacau pouco produtivos (menos de 500 kg de amêndoas por hectare) e densamente sombreados, o manejo da sombra para próximo de 50% deverá resultar em uma melhor relação entre biomassa arbórea e produção de cacau, como evidenciado na parcela

Os dados de fertilidade do solo, em consonância com a amplitude dos dados de biomassa/carbono encontrados, também apresentaram grande variação. De forma geral foi constatada alta acidez, e o déficit de

fósforo, cálcio e magnésio nos solos dos SAF-cacau, principalmente na profundidade de 20-30 cm, evidenciando a possibilidade de aumentos de produtividade com a correta adubação e calagem.

Sugiro o levantamento e sistematização, pelo poder público e/ou organizações não governamentais, de dados dos SAFs-cacau, principalmente a idade do plantio, para viabilizar o planejamento e realização de levantamentos de estoque de carbono do solo e da necromassa em maior escala. Estes estudos poderão servir de lastro para futuros programas de pagamento por serviços ambientais, já previstos no código florestal.

6. REFERÊNCIAS

- AALDE, H. et al. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2.1.** [s.l: s.n.].
- ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIO, L. S.; MONZONI, M. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo.** 1ed, São Paulo, SP: FGV ERA, 2011;
- AHENKORAH, Y. AKROFI, G.S. ADRI, A. K. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. **J. Hort. Sci.**, n. 49, p. 43–51, 1974.
- AIDAR, T.; ZARONI, M. M. H. Previsão de Safras de Cacau com Base em Métodos de Contagem de Frutos. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, p. 817–833, 1992.
- ALVIM, P. de T. 1988. Relações entre fatores climáticos e produção do cacaueiro. In: Proc. X Int. Cocoa Research Conf. Santo Domingo, Dominican Republic. 1988, pp. 159-167 apud MULLER, M. W.; VALLE, R.R. Ecofisiologia do cultivo do cacaueiro. In: In: VALLE R. R. **Ciência e Tecnologia e Manejo do Cacaueiro.** Brasília: CEPLAC, CEPEC, SEFIS, 2012. pp. 67-114.
- ANDRADE, H. et al. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca , Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, v. 46, p. 45–50, 2008.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO CACAU. Editora Gazeta Santa Cruz, 2012. 35p.
- ARISTIZABAL-HERNANDEZ, J. et al. **Estimacion de la tasa de fijacion de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (Cordia alliodora) – cacao (Theobroma cacao L) – platano (Musa paradisíaca).** Trabajo de grado para optar al titulo de Ingeniero Forestal, p. 124, 2002.
- BASS, S. et al. Rural livelihoods and carbon management. IIED - **Natural Resource Issue paper** n.1. London: International Institute for Environmental and Development. March, 2000.
- BARRETO, P.; SOUZA JUNIOR, C.; NOGUERÓN, R.; ANDERSON, A.; SALOMÃO, R. **Human pressure on the brazilian amazon forests.** Belém: WRI; Imazon, 2006.
- BEER, J. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, v. 5, n. 1, p. 3–13, 1987. 80

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Porto Alegre: ARTMED, 2007. 740p.

BRAGA, D. 2015. **Sistemas agroflorestais com cacau para recuperação de áreas degradadas, em São Félix do Xingu-PA. Dissertação de mestrado**. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais. Piracicaba, São Paulo Brasil.

BRASIL. Decreto nº 6.321, de 21 de dezembro de 2007. Dispõe sobre ações relativas à prevenção, monitoramento e controle de desmatamento no Bioma Amazônia, bem como altera e acresce dispositivos ao Decreto no 3.179, de 21 de setembro de 1999, que dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm Acesso em: 15 de fev de 2017.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 3 de out de 2016.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

CAIRNS, M. A. et al. Root Biomass Allocation in the World 's Upland Forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1–11, 1997.

CEPLAC. **Metodologia de previsão de safras de cacau nos municípios dos estados produtores de cacau do Brasil**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/paginas/previsaodesafras/arquivos/ANEXO%201-%20Metodologia%20de%20Previs%C3%A3o%20de%20Safras.pdf>. Acesso em: 13 ago 2014.

CERDA, R. et al. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. **Agroforestry Systems**, p. 957–981, 2014.

CIAIS, P., et al. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: P.M. MIDGLEY (eds.) et al. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 465-570, 2013. 81

CHEPOTE, R.E.; SANTANA, S.O.; ARAUJO, Q. R.; SODRÉ, G. A.; REIS, E.L., PACHECO, R.G., MARROCOS, P.C.; SERÔDIO, M.H.C.F.; VALLE, R. R. **Aptidão agrícola e fertilidade de solos para a cultura do cacauero**. In: **VALLE R. R. Ciência e Tecnologia e Manejo do Cacauero**. Brasília: CEPLAC, CEPEC, SEFIS, 2012. pp. 67-114.

- CHIONG, T. M. E.; BUSTILLOS, R. C. **Estimacion de carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L) y Laurel (*Cordia alliodora*) en diferentes condiciones de paisaje en la reserva indigena de Talamanca, Costa Rica**. Trabalho de conclusão de Curso – Facultad de Ciencias Agrícolas – Universidad de Nariño. 2010.
- CIAIS, P. et al. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, p. 465–570, 2013.
- CLOUGH, Y. et al. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 20, p. 8311–8316, 2011.
- COMBE, J. Técnicas agroflorestais em países tropicais: potenciais e limitações. **Agroforestry Systems**, 1982. v. 1, p. 13-27.
- CONCHA, J. Y.; ALEGRE, J. C.; POCOMUCHA, V. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. **Ecología Aplicada**, v. 6, p. 75–82, 2007.
- COTTA, M. K. et al. Análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de certificados de emissões reduzidas. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 969–979, 2006.
- DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.3, p.367-370, 1999.
- DEAN, Warren. **A Ferro e fogo: A História da devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Cia das Letras, 1996.
- DUGUMA, B.; GOCKOWSKI, J.; BAKALA, J. Smallholder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central africa: Challenges and opportunities. **Agroforestry Systems**, v. 51, n. 3, p. 177–188, 2001.
- DURAIAPPAH, A. K. et al. **Ecosystems and human well-being – Synthesis** – A Report of the Millenium Ecosystem Assessment Whasington: Islan Press. v. 5. 2005
- EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E.; Raven: **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2013. p135-138. 82

FAO. Food and Agriculture Organization, United Nations. **Termo de Referência para Elaboração do Plano Recuperação de Áreas Degradadas do Município de São Félix do Xingu – PA.** Disponível em: <https://www.fao.org.br/download/AnexoB0102014.pdf> Acesso em: 20 de dezembro de 2017.

FASSBENDER, H. W. et al. Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 45, n. 1–4, p. 173–183, 1991.

FIELD, C. et al. **IPCC workshop on impacts of ocean acidification on marine biology and ecosystems.** Workshop report.

GEIST, H.; LAMBIN, E. **What drives tropical deforestation? A metaanalysis of proximate and undeliyng causes of deforestation based on subnational case study evidence.** LUCC International Project Office, Louvain-la-neuve -Belgium, 2001.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **BioScience**, v. 52,p. 143-150, 2002.

GRIMALDI, M. et al. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: Searching for landscape drivers. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 311–328, 2014.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1–3, p. 185–206, 2001.

HARDY, F. Manual de Cacao. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 2, n. 28, p. 153–166, 1998.

HIGUCHI, N.; HIGUCHI, M. I. G. **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental.** 2 ed. Manaus, 2012.

IBGE, 2010. **Unidades de relevo do Brasil.** 2010. Disponível em :<<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 20 dez 2015.

IBGE, 2002. **Mapa de Climas do Brasil.** Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf>. Acesso em: 18 dez 2015. 83

IBGE. IBGE Cidades. **Histórico de São Félix do Xingu.** Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/historico.php?codmun=150730&search=para%7Csaofelix-do-xingu%7Cinphographics:-history&lang=_ES>. Acesso em: 4 mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET - **Normais climatológicas.** Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2017.

MARTINELLI, A. L.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R.L.; CARMAGO, P. B de; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 144p. (Ciclos Biogeoquímicos, 2). Bibliografia: p. 19-33. ISBN 9978-85-86238-85-7

MIYAJI, K. I.; DA SILVA, W. S.; ALVIM, P DE T. Productivity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to leaf age and light conditions within the canopy. **New Phytologist**, v. 137, n. 3, p. 463–472, 1997.

MOLINA, M. et al. What we Know: **The Reality, Risks, and Response To Climate Change.** The AAAS Climate Science Panel. 2014. Disponível em: <<http://whatweknow.aaas.org>>. Acesso em 30 ago 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Lista de Municípios Prioritários da Amazônia.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam/lista-de-munic%C3%ADpios-priorit%C3%A1rios-da-amaz%C3%B4nia>>. Acesso em: 13 de fev de 2017.

MOMMER, L. The water relations in cacao (*Theobroma cacao* L.): **Modelling root growth and evapotranspiration.** February, 1999.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Ecosystems**, v. 61, p. 281–295, 2004.

MORAES, M. Cartilha do Pacto Xingu. São Félix do Xingu: **Projecto Pacto Xingu**, 2014.

MORORÓ, R. C. Aproveitamento dos derivados , subprodutos e resíduos do cacau. In: VALLE, R.R. **Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro.** Brasília: CEPLAC/CEPEC, 2012. p. 597-653.

MULLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas agroflorestais com cacauero. In: VALLE, R.R. **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Brasília: CEPLAC/CEPEC, 2012. 84

MURRAY, D. B. Shade and nutrition. In: WOOD, G. A. R. (ed) **Cocoa**. Longman: Londres. pp 104-24.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Prediction of worldwide Energy Source** - Agroclimatology – Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/agro.cgi?email=agroclim@larc.nasa.gov>. Acesso em: 20 fev 2017.

NGO BIENG, M. A. et al. Diversity and spatial clustering of shade trees affect cacao yield and pathogen pressure in Costa Rican agroforests. **Basic and Applied Ecology**, v. 14, n. 4, p. 329–336, 2013.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. Articulação Regional Amazônica, 2014.

PAN, Y. et al. The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 44, n. 1, p. 593–622, 2013.

PARÁ. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Mapa de insolação média anual (horas)**.

PARÁ. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Módulos fiscais. Disponível em: www.sema.pa.gov.br/download/modulos_fiscais.pdf . Acesso em: 10 dez 2016.

PRODES. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazonia Legal por Satélite**. Instituto de Pesquisas e Estudos Espaciais. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> e http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344. Acesso em: 20 de jan de 2017.

PORRO, R. Expectativas e desafios para a adoção da alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação. In: __. **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. P. 33-53

POVEDA, V. et al. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala , Nicaragua. **Agroforesteria en las Américas**, v. 49, 2013.

RAJAB, Y. A. et al. Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. **PLoS ONE**, v. 11, n. 2, p. 1–22, 2016.

RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. **Nota Técnica: Situação Da seca observada nas regiões norte e nordeste do Brasil em 2016.** Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/trabalho_tecnico_02-2017.pdf%0A>.

REDD. **REDD+ Cookbook, how to measure and monitor forest carbon..** Tsukuba: Forestry and Forest Products Research Institute. p. 160, 2012.

ROCKSTRÖM, J. et al. Planetary Boundaries : Exploring the safe operating space for humanity. **Nature** v. 461, n. 24 , p. 1–36, 2009.

RONQUIM, C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 8, p. 26, 2010.

ROSAND, P. C. **Exigências nutricionais e adubação do cacauero.** São Paulo: Funfação Cargill, 1989. 71 p.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

SALDARRIAGA, J. G. et al. Long-Term Chronosequence of Forest Succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **British ecological society**, v. 76, n. 4, p. 938–958, 1988.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

SAS. **Satistical Analysis System.** Versão 8.02. 2000. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

SCHMINK, M.; WOOD, C. H. **Conflitos sociais e a formação da Amazônia.** Tradução de Noemi Miyasaka Porro e Raimundo Moura. Belém: EDUFPA, 2012. 496 p. il. ISBN 978-85-247-0513-7

SCHROTH, G. et al. Contribution of agroforests to landscape carbon storage. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, p. 1–16, 2013.

SCHROTH, G. et al. Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 21, n. 1, p. 67–80, 2014.

SCHROTH, G. et al. Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 21, n. 1, p. 67–80, 2016.

- SEGURA, M. et al. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. **Change**, v. 46, p. 45–50, 2008. 86
- SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. **Biotropica**, v. 37, n. 1, p. 2–8, 2005.
- SILVA NETO, P. J. et al. **Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira**. Belém, Pará: CEPLAC, 2001.
- SOMARRIBA, E. et al. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 173, p. 46–57, 2013a.
- SILVA, L.F. Solos para cacau. IV Curso Int. de cacau. CEPLAC/CEPEC. Ilhéus, BA. 28 p. apud CHEPOTE, R.E.; SANTANA, S.O.; ARAUJO, Q. R.; SODRÉ, G. A.; REIS, E.L., PACHECO, R.G., MARROCOS, P.C.; SERÔDIO, M.H.C.F.; VALLE, R. R. Aptidão agrícola e fertilidade de solos para a cultura do cacaueiro. In: VALLE R. R. **Ciência e Tecnologia e Manejo do Cacaueiro**. Brasília: CEPLAC, CEPEC, SEFIS, 2012. P 67-114.
- SOMARRIBA, E. et al. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 173, p. 46–57, 2013b.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J. Productivity of Theobroma cacao agroforestry systems with timber or legume service shade trees. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 2, p. 109–121, 2011.
- SOTO PINTO, L. et al. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, n. 78, p. 5–10, 2010.
- STEFFEN, W.; CRUTZEN, J.; MCNEILL, J. R. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? **Ambio**, v. 36, n. 8, p. 614–621, 2007.
- THONG, K. C., NG, W. L. Growth and nutrients composition of monocrop cocoa plants on Island Malaysian soils. **Proc. Conf. Cocoa Coconuts**, Kuala Lumpur. pp. 262-286, 1980.
- THORNTON, P.; CRAMER, L. **Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within the CGIAR's mandate**. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), v. CCAFS Work, n. 23, p. 1–201, 2012.

- TNC. The Nature Conservancy. **Lista de híbridos presentes no campo experiemtnal de Tucumã, CEPLAC, obtida pelos técnicos em conservação Erivaldo Alves e Márcio Queiroz**. Documento interno do projeto “Cacau Mais Sustentável”, 2016. 87
- TNC. The Nature Conservancy. **Fundo para redução do desmatamento e degradação florestal em: A experiência de São Félix do Xingu**. Belém. 2013, 62 p. Disponível em: <http://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2013/10/fundo-para-redd-sao-felix-do-xingu.pdf>. Acesso em: 5 de nov de 2015.
- TUMWEBAZE, S. B. et al. Allometric biomass equations for tree species used in agroforestry systems in Uganda. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 4, p. 781–795, 2013.
- USDA. NRCS (United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service), 2000. **Growing carbon: a new crop that helps agricultural producers and the climate too**. Disponível em: <http://www.unl.edu/nac>. Acesso em: 10 dezembro de 2015.
- VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate Change and Food Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, n. 1, p. 195–222, 2012.
- VIANA, T. G. et al. **Produtividade do sistema agroflorestal cabruca do cacauero de agricultores familiares no litoral sul da Bahia**. Ilhéus: Instituto Cabruca. p. 6, 2011. Disponível em: <http://www.cabruca.org.br/download.php?i=36>. Acesso em: 05 set 2016.
- VINUTO, J. **A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate aberto**. Temáticas, v. 44, n. 22, p. 203–20, 2014.
- WADE, A. S. I. et al. Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 138, n. 3–4, p. 324–334, 2010.
- WEINMANN, W.; PROFESSIONAL, G. Cocoa growers reaping benefits after challenging power structures. p. 1–2, 2014.
- WOOD, G. A. R; LASS, R. A. **Cocoa**. 4. ed. Agawam: Blackwell Science. 1985. 630 pp.
- ZUIDEMA, P. A. et al. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. **Agricultural Systems**, v. 84, n. 2, p. 195–225, 2005.

APÊNDICE A.

Questionário utilizado na entrevista com produtores agroflorestais de cacau

PARTE I – Identificação

Nome

Idade

Gênero

Estado Civil

Nome do imóvel:

Tamanho da propriedade:

Área com SAF-Cacau:

Área com pasto:

PARTE II – Caracterização Socioeconômica

1. Qual é a região de origem da família?
2. Quantas pessoas compõem a família? Qual idade dos filhos?
3. Qual o meio de transporte utilizado pela família?
4. Qual é o seu nível de escolaridade?
5. Quantos filhos estão estudando ou estudaram?
6. Atualmente, qual seria a maior necessidade da família?
7. Recebeu, Recebe ou está esperando para receber algum financiamento para prática agropecuária? Qual? Quanto?
8. Alguém da família participa de algum programa social do governo? (bolsa família, bolsa escola, salário maternidade, etc) Qual/quais?
9. Os documentos da propriedade estão adequados? (Contrato de compra e venda, CAR, etc). Se não, Por quê?
10. Há quanto tempo pratica pecuária nesta propriedade?
11. Há quanto tempo planta Cacau? Sempre foi em SAF?
12. Qual é a principal atividade geradora de renda na propriedade? Em proporção?
13. Possui alguma outra fonte de renda durante o ano?
14. Necessita de mão-de-obra externa?
15. Quantas horas trabalha por dia?
16. Quais pessoas da família trabalham diretamente com o pasto? (nº e relação de parentesco e função).
17. Quais pessoas da família trabalham diretamente com o SAF-cacau? (nº e relação de parentesco e função).
18. Quais são as ferramentas/insumos necessários para a manutenção da pecuária?
19. Você costuma anotar as atividades, os custos e os gastos em caderno de anotação?
20. Quanto é o gasto anual relativo à criação do gado? Em que período do ano?

21. Quanto é a renda bruta anual relativa à criação do gado? Em que período do ano?
22. Quais são as ferramentas/insumos necessários para a manutenção do SAF-cacau?
23. Quanto é o gasto anual relativo ao SAF-cacau? Em que período do ano?
24. Quanto é a renda bruta anual relativa ao SAF-cacau? Em que período do ano?
25. Descreva as despesas fixas de sua família:
 - Aluguel:
 - Financiamento da casa própria
 - Água
 - Alimentação
 - Energia Elétrica
 - Telefone
 - Plano de Saúde/Medicamentos
 - Mensalidades Escolares
 - Transporte
 - Materiais/insumos agrícolas
 - Outros

PARTE III- Caracterização e Percepção - SAF-Cacau

26. Por que trabalha com cacau?
27. Qual motivo faz você manter a produção de cacau até hoje?
28. Utiliza algum adubo no cacau? Qual?
29. Utiliza algum defensivo agrícola no cacau? Qual?
30. Quando você implantou o SAF-Cacau (amostrado)? (
31. Qual era o uso do solo antes do SAF-Cacau na área amostrada?
32. Porque você escolheu plantar cacau com outras árvores?
33. Onde você adquiriu as mudas de cacau?(Lugar/instituição)
34. O cacau do senhor apresenta algum tipo de doença(s)? Quais(s)? Qual é a perda estimada por causa dela(s)
35. Você utiliza clones/híbridos de cacau? Quais? Por quê?
36. Qual o espaçamento do cacau?
37. Qual o espaçamento das árvores?
38. Qual é sua a produção anual média de cacau?
39. Qual foi a produção da colheita de cacau passada?
40. Você faz parte de alguma cooperativa/associação de produção? Qual?
41. Você vê vantagem em participar de uma cooperativa/associação de produção de cacau? Se sim, Quais? Se não, por que?
42. Você vende outros frutos além do cacau? Quais? Qual é a renda anual advinda desta venda?
43. As árvores do SAF são de juqueira (regeneração) ou foram plantadas? Por quem?
44. Como você escolhe as árvores que permanecerão no SAF-cacau?
45. Liste as espécies que você tem no SAF-Cacau.
46. Você pratica ou praticou algum manejo nas árvores nativas? Quando e qual?
47. Você pretende aumentar, manter ou diminuir a quantidade de árvores no SAF? Por quê?

48. Por ano, quantas vezes você roça o cacau?
49. Por ano, quantas vezes você poda o cacau?
50. Por ano, quantas vezes você desbrota o cacau?
51. Você recebeu capacitação técnica para manejar o SAF-Cacau? De quem?
52. O SAF-Cacau lhe dá pouco, médio ou muito trabalho?
53. De acordo com suas despesas, o retorno econômico do SAF-Cacau lhe é satisfatório?
54. O preço do cacau está bom, médio ou ruim?
55. Pra você, qual o melhor indicador de qualidade para o SAF-cacau?
56. Em termos de fertilidade, o que você acha sobre o solo do SAF-Cacau?
57. Pra você, o solo do cacau é melhor, pior ou igual do que o solo da floresta?
58. Ele melhorou, piorou ou continua igual com relação à pastagem/floresta anterior?
59. O SAF-Cacau pode ser algo bom, ruim ou indiferente para os animais da região?
60. É possível observar animais silvestres no SAF-Cacau? Quais?
61. Como você acha que o SAF-Cacau pode influenciar as árvores nativas da Amazônia?
62. Na sua interpretação geral, o SAF-Cacau é capaz de recuperar uma pastagem degradada? Por quê?
63. Considerando sua visão sobre o SAF-Cacau, você gostaria de aumentar, manter ou reduzir a área produtiva? Você estaria disposto a aumentar ou manter o número de árvores com cacau se o governo lhe pagasse? Qual valor o sr. Acharia justo a ser pago por hectare por ano?

Nome:

Idade:

Grupo:

Figura 4: “Estrela” utilizada para avaliação de agroflorestas no âmbito da Cooperafloresta, ainda sem nenhuma marcação

APÊNDICE B.

Tabela 13 - Estatísticas descritivas das variáveis resposta amostradas.

Variável	Média	Erro Padrão	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo
IDADE	14,35	0,78	7,00	9,50	14,00	18,00	25,00
Cc	13,53	1,00	2,17	9,60	12,19	17,67	29,52
Cs	16,06	3,73	0,00	0,97	6,34	31,32	103,48
CTOTAL	29,59	3,85	5,73	14,23	21,83	40,32	126,55
PRODkggha	354,32	53,05	0,00	85,33	273,31	477,29	1447,86
ICD	27,85	3,61	0,16	5,68	27,00	46,65	74,62
pH010	5,37	0,10	3,90	4,90	5,40	5,70	6,60
MO010	40,75	1,53	24,00	34,50	39,00	46,50	65,00
P010	13,13	1,79	5,00	8,00	10,00	14,50	73,00
K010	2,38	0,14	1,00	1,70	2,30	3,25	4,50
Ca010	51,40	4,41	3,00	28,50	49,50	66,00	132,00
Mg010	13,45	0,84	2,00	9,50	14,50	17,00	23,00
HA010	28,95	3,19	12,00	19,00	22,00	32,50	135,00
SB010	67,23	5,12	6,70	39,65	67,60	86,35	157,60
CTC010	96,18	4,23	58,40	76,10	90,90	111,05	172,60
Vporc010	67,78	2,97	5,00	57,00	75,50	81,50	92,00
AREIA010	309,28	13,32	127,00	260,00	323,50	372,00	452,00
SILTE010	252,15	23,37	17,00	141,00	258,50	348,00	524,00
ARGILA010	438,58	21,30	152,00	319,00	464,50	549,00	712,00
pH2030	4,95	0,10	3,80	4,50	4,80	5,40	6,40
MO2030	18,85	1,09	10,00	14,50	16,00	21,50	42,00
P2030	4,45	0,33	1,00	3,00	4,00	5,00	12,00
K2030	1,76	0,12	0,80	1,10	1,65	2,00	3,90
Ca2030	19,08	2,22	1,00	9,50	16,00	28,50	61,00
Mg2030	4,40	0,50	0,00	3,00	4,50	6,00	14,00
HAL2030	30,35	2,09	15,00	25,00	28,00	31,00	88,00
SB2030	25,43	2,67	2,80	13,05	23,05	36,80	78,30
CTC2030	55,78	2,61	33,10	40,55	55,20	65,75	94,30
Vporc2030	43,10	3,12	3,00	30,00	44,50	55,00	83,00
AREIA2030	262,63	14,27	83,00	203,00	257,50	324,00	439,00
ARGILA2030	249,05	23,42	15,00	149,50	237,00	350,00	555,00
SILTE2030	488,43	26,84	151,00	318,00	515,50	646,50	737,00

IDADE: idade em anos do plantio de cacau; Cc: carbono estocado em pés de cacau, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; Cs: carbono estocado, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; CTOTAL: soma do Cc e Cs, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; PRODkggha: Produtividade do SAF-Cacau, em kg de amêndoas secas por hectare/ano; ICD: Índice de cobertura de dossel, em %; pH010: potencial hidrogênioônico na profundidade 0-10 cm; MO: Matéria orgânica na profundidade 0-10 cm, em $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (colorimétrica) P010: fósforo na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. K010: Potássio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Ca010: Cálcio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Mg010: Magnésio na profundidade 0-10 cm, em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ em resina. Hal010: Acidez potencial na

profundidade 0-10 cm, em mg.dm^{-3} em resina. SB: Soma de bases na profundidade 0-10 cm, em mg.dm^{-3} em resina. CTC: Capacidade de troca catiônica na profundidade 0-10 cm, em mg.dm^{-3} em resina. Vporc010: Saturação de bases, em porcentagem. pH2030: potencial hidrogênioônico na profundidade 20-30 cm; MO2030: Matéria orgânica na profundidade 20-30 cm, em g.dm^{-3} (colorimétrica) P2030: fósforo na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. K2030: Potássio na profundidade 20-30 cm, em mmolc.dm^{-3} em resina. Ca2030: Cálcio na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. Mg2030: Magnésio na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. Hal2030: Acidez potencial na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. SB2030: Soma de bases na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. CTC2030: Capacidade de troca catiônica na profundidade 20-30 cm, em mg.dm^{-3} em resina. Vporc2030: Saturação de bases, em porcentagem na profundidade 20-30 cm. Fonte: Autor, 2017.

APÊNDICE C.

Tabela de Autovalores da matriz de correlação obtidos na análise de componentes principais.

Tabela 14 - Autovalores da matriz de correlação obtidos na análise de componentes principais.

Autovalores da matriz de correlação				
Componente	Autovalor	Diferença	Proporção	Cumulativo
1	11,9724907	7,2881188	0,3741	0,3741
2	4,6843719	0,8073794	0,1464	0,5205
3	3,8769925	1,0452834	0,1212	0,6417
4	2,8317092	0,8408166	0,0885	0,7302
5	1,9908925	0,5609115	0,0622	0,7924
6	1,4299811	0,2648146	0,0447	0,8371
7	1,1651664	0,3179621	0,0364	0,8735
8	0,8472043	0,1505639	0,0265	0,9
9	0,6966404	0,1594422	0,0218	0,9217
10	0,5371983	0,1260853	0,0168	0,9385
11	0,4111129	0,0449124	0,0128	0,9514
12	0,3662005	0,1056505	0,0114	0,9628
13	0,2605501	0,0376517	0,0081	0,971
14	0,2228984	0,070608	0,007	0,9779
15	0,1522904	0,022608	0,0048	0,9827
16	0,1296824	0,0292697	0,0041	0,9867
17	0,1004127	0,007214	0,0031	0,9899
18	0,0931986	0,021604	0,0029	0,9928
19	0,0715947	0,0170629	0,0022	0,995
20	0,0545318	0,0165785	0,0017	0,9967
21	0,0379533	0,01017	0,0012	0,9979
22	0,0277834	0,0075243	0,0009	0,9988
23	0,020259	0,0049503	0,0006	0,9994
24	0,0153087	0,0117595	0,0005	0,9999
25	0,0035492	0,0035255	0,0001	1
26	0,0000237	0,0000215	0	1
27	0,0000022	0,0000015	0	1
28	0,0000007	0,0000007	0	1
29	0	0	0	1
30	0	0	0	1
31	0	0	0	1
32	0		0	1

APÊNDICE D.

Tabela de autovetores das variáveis resposta dentro dos componentes principais.

Tabela 15 - Autovetores das variáveis respostas dentro dos componentes principais.

AUTOVETORES		
Variável	Componente 1	Componente 2
IDADE	0,107857	0,066879
Cc	0,187537	-0,047145
Cs	0,053015	0,175911
CTOTAL	0,100117	0,157765
PRODkgha	0,009406	-0,358740
ICD	0,046737	0,206985
pH010	0,229245	-0,164782
MO010	0,229051	-0,012579
P010	0,062977	-0,280996
K010	0,114650	0,058277
Ca010	0,265186	-0,100373
Mg010	0,221702	-0,177543
HA1010	-0,163904	0,178669
SB010	0,267529	-0,113894
CTC010	0,200623	-0,003215
Vporc010	0,243060	-0,162257
AREIA010	-0,111904	-0,137512
ARGILA010	0,115859	0,317858
SILTE010	-0,056993	-0,262575
pH2030	0,265542	-0,021995
MO2030	0,123876	0,154182
P2030	0,147920	-0,143623
K2030	0,135894	0,092111
Ca2030	0,268638	0,063897
Mg2030	0,242850	0,095094
HAL2030	-0,159341	0,205538
SB2030	0,269904	0,072911
CTC2030	0,148518	0,239041
Vporc2030	0,277732	0,009037
AREIA2030	-0,028065	-0,014146
ARGILA2030	0,096002	0,326106
SILTE2030	-0,068889	-0,276996

Ponto de corte em 0,25