



# Sustainability indicators in the agroforestry systems of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará

## *Indicadores de sustentabilidade dos sistemas agroflorestais de agricultores familiares do município de tomé-açu, Pará*

Elisana Batista dos Santos\*<sup>1</sup>, Osvaldo Ryohei Kato<sup>2</sup>, Roberta de Fátima Rodrigues Coelho<sup>3</sup>, Marinalva Cardoso Maciel<sup>4</sup>

**Abstract:** The aim of this article was to evaluate, using sustainability indicators, agroforestry systems (AFS) on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará, arising from the transition processes of different production systems. Eight AFS, three areas of secondary vegetation, and three conventional systems were evaluated. Direct observation was used to evaluate the sustainability indicators, assigning a value from 1 to 10 to each indicator (1 - undesirable; 5 - moderate and 10 - ideal). The mean value of the indicators was determined for each system under evaluation. The areas under conventional systems had the lowest value, of 0.25 for the crop-health indicators and 1.32 for soil quality, which suggests the need for proper management to prevent environmental problems in areas of pasture, cleared land and monocropped black pepper. The highest values of 4.1 for the crop-health indicators and 6.99 for soil quality, were obtained in the areas of secondary vegetation, and values of 3.0 for crop health and 6.1 for soil quality in the areas of AFS-BP, emphasising the role of secondary vegetation and agroforestry systems in recovering the productive potential of agrosystems. It can be concluded that the use of a simple technique (radar charts) together with statistical methods show that secondary vegetation, agroforestry and conventional systems differ; however, secondary vegetation and AFS are more sustainable, as they showed better results for each of the indicators under evaluation compared to the conventional systems.

**Key words:** Attributes. Management. Land use.

**Resumo:** Objetivou-se avaliar os sistemas agroflorestais (SAFs) nas propriedades de agricultores familiares do município de Tomé-açu, Pará, oriundos de processos de transição dos diferentes sistemas produtivos por meio de indicadores de sustentabilidade. Foram avaliados oito SAFs, três capoeiras e três sistemas convencionais. Para avaliar os indicadores de sustentabilidade, utilizou-se a metodologia de observação direta, atribuindo-se a cada indicador um valor de 1 a 10 (sendo 1 - indesejável; 5 - moderado e 10 - ideal). Obteve-se o valor médio de indicadores para cada sistema avaliado. As áreas de sistemas convencionais apresentaram o menor valor de 0,25 de indicadores de saúde do cultivo e de 1,32 de qualidade do solo, o que sugere a necessidade de manejos adequados para prevenir problemas ambientais em áreas de pasto, roça e monocultivo de pimentão-reino. Os maiores valores de 4,1 de indicadores da saúde do cultivo e de 6,99 de qualidade do solo foram obtidos em áreas de capoeira, e valores de 3,0 de indicadores da saúde do cultivo e de 6,1 de qualidade do solo nos SAFs-PR; ressaltando o papel das capoeiras e dos sistemas agroflorestais em recuperar o potencial produtivo dos agrossistemas. O uso de uma técnica simples (gráficos em formato tipo radar) com métodos estatísticos apontaram que os sistemas capoeira, agroflorestal e convencional são diferentes. Porém, a capoeira e o SAF são mais sustentáveis por terem apresentado melhores resultados em todos os indicadores avaliados quando comparados ao sistema convencional.

**Palavras-chave:** Atributos. Manejo. Uso da terra.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 17/10/2022, approved on 29/11/2022 and published on 06/01/2023

<sup>1</sup>Doutora em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia. Professora da Universidade Federal do Pará. Endereço: Conjunto Cidade Nova IV, WE-26, n° 02, CEP: 67130-660, Ananindeua, Pará (Campus Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará). E-mail: [elisana@ufpa.br](mailto:elisana@ufpa.br)/[elisnabs@hotmail.com](mailto:elisnabs@hotmail.com)

<sup>2</sup>Doutor em Agricultura Tropical, Embrapa Amazônia Oriental, Belém. E-mail: [osvaldokato@gmail.com](mailto:osvaldokato@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutora em Ciências Agrárias, Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Castanhal. E-mail: [roberta.coelho@ifpa.edu.br](mailto:roberta.coelho@ifpa.edu.br)

<sup>4</sup>Doutora em Economia, Professora da Universidade Federal do Pará, Faculdade de Estatística, Belém. E-mail: [marinalvamaciel@gmail.com](mailto:marinalvamaciel@gmail.com)

## INTRODUCTION

Agroforestry Systems (AFS) are seen as an alternative to conventional cultivation models for a number of reasons, including the sustainability of biological processes, together with the possibility of further dynamising production, diversifying labour and adding value to the agricultural product, thereby reducing the pressure exerted by land use in agricultural production (SILVA *et al.*, 2014). The adoption of such systems is increasingly becoming an alternative for smallholdings, and enables participation of the entire family (MELO JUNIOR, 2014).

The AFS set up in the district of Tomé-Açu stand out among other AFS, since family farmers are able to develop technologies and processes that resemble so-called ‘islands of efficiency’, i.e. they can be reproduced by other producers, and undergo various adaptations over the years, following changes in the socioeconomic and environmental context in which they were created (HOMMA *et al.*, 2014; CAMPOS *et al.*, 2022).

In Tomé-Açu, the AFS have afforded high productive efficiency as an economic alternative to monocropped *Piper nigrum* L. (black pepper) in the area. Use of these systems has been efficient due to diversifying production, including the use of black pepper during the initial phase of setting up the AFS (MELO JÚNIOR, 2014).

Despite its importance as an alternative to the so-called conventional cultivation models, the adoption of AFS among farmers is still rare, even in regions showing significant potential for their implementation. There is a need for a better understanding of the sustainability of those AFS that already exist, as well as their ability to foster new systems by means of the multiplier effect (MELO JUNIOR, 2014).

According to Kemerich *et al.*, (2014), several tools can be used to verify the sustainability of such production systems as AFS, including sustainability indicators, which in some ways can serve as a quick and effective means of analysis, demonstrating the reality of a given ecosystem in its various aspects, in addition to serving as a parameter for decision-making within the scope of AFS on farming properties.

## INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) vêm se apresentando como uma alternativa aos modelos de cultivos convencionais por uma série de razões, entre elas, a sustentabilidade dos processos biológicos agregados à possibilidade de maior dinamização da produção, diversificação de mão de obra e agregação de valor ao produto agrícola, dessa forma é possível diminuir a pressão exercida pelo uso da terra na produção agrícola (SILVA *et al.*, 2014). A adoção desses sistemas torna-se cada vez mais uma alternativa para a pequena propriedade, possibilitando, inclusive, a participação da estrutura familiar (MELO JUNIOR, 2014).

Os SAFs implantados no município de Tomé-Açu se destacam dentre os demais, pois os agricultores familiares conseguem desenvolver tecnologias e processos assemelhando-se às chamadas “ilhas de eficiência”, ou seja, podem ser reproduzidos por outros produtores e sofrer algumas adaptações ao longo dos anos com as modificações do contexto socioeconômico e ambiental em que foram criados (HOMMA *et al.*, 2014; CAMPOS *et al.*, 2022).

Em Tomé-Açu, os SAFs trouxeram grandes eficiências produtivas, como alternativa econômica ao monocultivo da *Piper nigrum* L. (pimenta-do-reino) nesse município. A utilização desses sistemas tem sido eficiente pela diversificação da produção, incluindo a pimenta-do-reino na fase inicial de implantação dos SAFs (MELO JÚNIOR, 2014).

Apesar de sua importância como alternativa aos modelos denominados convencionais de cultivo, ainda é pequena a adoção de SAFs entre agricultores, mesmo em regiões com significativa potencialidade para sua implantação. Identificou-se a necessidade de um melhor entendimento sobre a sustentabilidade dos SAFs já implantados, bem como sua capacidade de fomentar novos sistemas, por meio do seu efeito multiplicador (MELO JUNIOR, 2014).

De acordo com Kemerich *et al.*, (2014), para verificar a sustentabilidade dos sistemas produtivos como os SAFs, pode-se utilizar várias ferramentas, como os indicadores de sustentabilidade, que de certa forma podem servir para uma análise rápida e eficaz, demonstrando a realidade de um determinado ecossistema em suas diferentes dimensões. Além de servir de parâmetro para a tomada de decisões no âmbito dos SAFs em propriedades de agricultores.

Altieri and Nicholls (2002) proposed a methodology for diagnosing soil quality and crop health in coffee plantations in Costa Rica. The indicators were selected because they can be easily and practically applied by family farmers. In addition, they are accurate, easy to interpret and sensitive to environmental changes and the impact of soil management practices, integrating the physical, chemical and biological properties of the soil. The indicators are evaluated considering such attributes as plant diversity and the management system, using agroecological production systems as a reference.

The use of sustainability indicators applied to AFS, can contribute to a reliable diagnosis in various scenarios, especially when considering the vision and perception of those at the centre of the whole discussion, the farmers. This study proposes to analyse, using sustainability indicators, AFS on the properties of family farmers in the district of Tomé-açu, Pará, arising from the transition processes of different production systems.

## MATERIAL AND METHODS

### Location

The district of Tomé-Açu (20°40'54" S and 48°16'11" W) is located in the Mesoregion of North-eastern Pará, 200 km from the city of Belém (Figure 1). It is delimited to the North by the districts of Acará and Concórdia do Pará; to the East by São Domingos do Capim, Aurora do Pará and Ipixuna do Pará, to the South by Ipixuna do Pará, and to the West by Tailândia and Acará (IBGE, 2018).

### Biophysical aspects

The climate in the region is tropical rainy, with a well-defined dry season, an average annual temperature between 26°C and 27.9°C, relative humidity around 82%, and annual rainfall of 2500 mm showing irregular monthly distribution, with a period (from November to June) of greater rainfall intensity. The district covers an area of 5,145 km<sup>2</sup> and has a population of 62,854 inhabitants, made up of around 60% of people from Pará (IBGE, 2018).

Desta forma, Altieri e Nicholls (2002) propuseram uma metodologia para o diagnóstico da qualidade do solo e saúde dos cultivos em plantações de café na Costa Rica. Os indicadores foram selecionados por serem fáceis e práticos para serem aplicados pelos agricultores familiares. Além disso, são precisos, fáceis de interpretar, sensíveis às mudanças ambientais e aos impactos das práticas de manejos dos solos e integram propriedades físicas, químicas e biológicas dos mesmos. Os indicadores são avaliados considerando os atributos como a diversidade vegetal e o sistema de manejo, tendo como referência sistemas agroecológicos de produção.

A utilização de indicadores de sustentabilidade, aplicados aos SAFs, podem contribuir para diagnósticos confiáveis em diversos cenários, principalmente quando se considera a visão e a percepção daquele que, de certa maneira, coloca-se no centro de toda essa discussão que é o agricultor. Este trabalho propõe-se a analisar os SAFs nas propriedades de alguns agricultores familiares no município de Tomé-açu, Pará, oriundos de processos de transição dos diferentes sistemas produtivos através de indicadores de sustentabilidade.

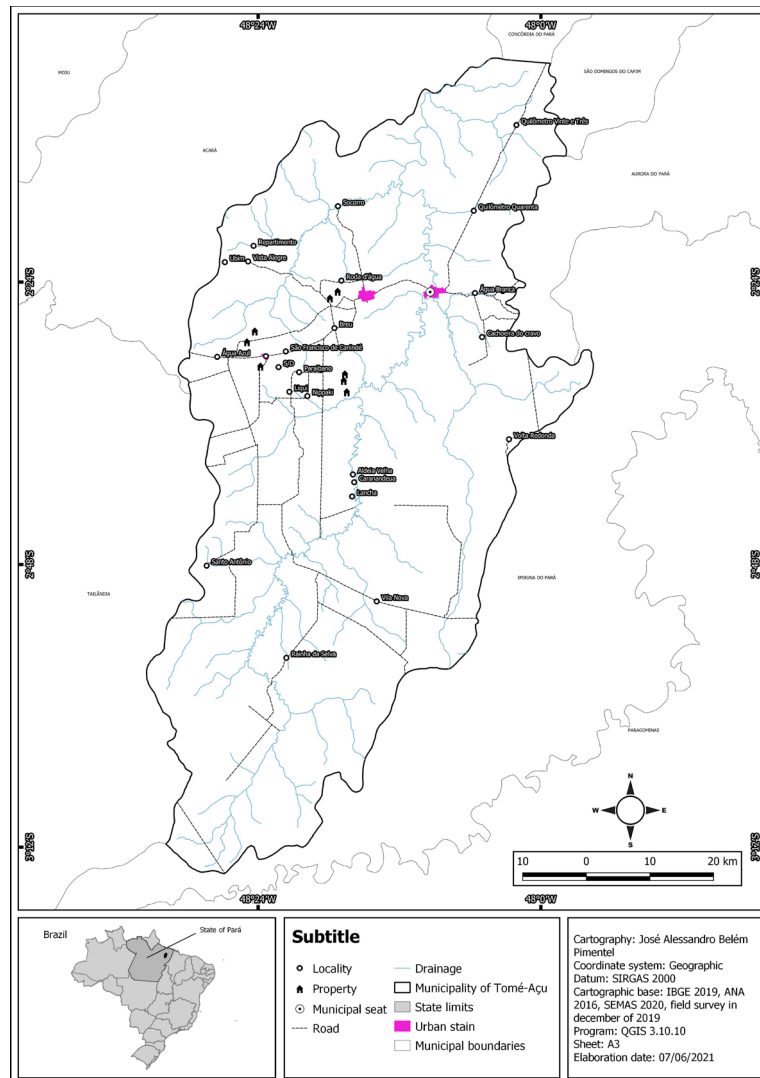
## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização

O município de Tomé-Açu (20° 40' 54'' S e 48° 16' 11 '' O) está localizado na Mesorregião Nordeste Paraense, distante 200 km da cidade de Belém (Figura 1). Limita-se ao Norte com os municípios do Acará e Concórdia do Pará; a Leste com São Domingos do capim, Aurora do Pará e Ipixuna do Pará, ao Sul com Ipixuna do Pará e a Oeste com Tailândia e Acará (IBGE, 2018).

### Aspectos biofísicos

O município possui clima tropical chuvoso com estação seca bem definida, com temperatura média anual entre 26 °C e 27,9 °C, umidade relativa entre 82%, precipitação de 2500mm anuais, distribuição mensal irregular, tendo um período (de novembro a junho) com maior intensidade de chuvas, ocupa uma área de 5.145 km<sup>2</sup> e população de 62.854 habitantes, composta por cerca de 60% de paraenses (IBGE, 2018).



**Figure 1** - Schematic map of the location of the properties under study in the district of Tomé-Açu, Pará, Brazil.

*Figura 1* - Mapa esquemático da localização das propriedades estudadas no município de Tomé-Açu, Pará, Brasil.

The original vegetation comprises Dense Ombrophilous Lowland Forest. Drainage is via the basin of the Acará-Mirim River, which rises to the south of the region, follows a north-northeast direction, and flows into the Acará River (IBGE, 2018).

The soils in the area are represented by a dystrophic Yellow Latosol of a clayey and medium texture; a dystrophic Concretionary Lateritic soil of indiscriminate texture; a eutrophic and dystrophic Partially Moist Gleysol; and a combined eutrophic and dystrophic Aluvisol (BOLFE; BATISTELLA, 2011).

A vegetação original é composta por Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. A drenagem é representada pela Bacia do Rio Acará-Mirim, que nasce ao sul do município, toma a direção norte-nordeste e deságua no rio Acará (IBGE, 2018).

Os solos do município são das seguintes classes: Latossolo Amarelo distrófico, textura argilosa e textura média; Concrecionário Laterítico indiscriminados distróficos, textura indiscriminada; Gleys Pouco Úmido eutrófico e distrófico; e Aluvial eutrófico e distrófico, em associação (BOLFE; BATISTELLA, 2011).

## Selection of the family farmers

The study was carried out in November 2020, on the properties of family farmers, which underwent a process of transition from a conventional system to an agroforestry system. The following areas were selected: AFS that went through the transition process, having been previously cleared (2 areas); AFS that went through the transition process and had previously been areas of pasture (3 areas); AFS that went through the transition process and had previously been areas of monocropped *Piper nigrum* L. (black pepper) (3 areas). Each category (cleared land, pasture and *Piper nigrum* L.) included an area of secondary vegetation (known locally as capoeira) that served as a reference area (control). The areas with a conventional system included a cleared area of *Manihot esculenta* Crantz (cassava), *Brachiaria brizantha* (MG-5) (grass) and of monocropped *Piper nigrum* L. (black pepper), giving a total of 14 areas.

To better identify and characterise the properties of the family farmers, it was agreed to refer to them as Production Systems: AFS-P1, AFS-P2, AFS-C1, AFS-C2, AFS-C3, AFS-BP1, AFS-BP2 and AFS-BP3; Secondary vegetation: S1, S2 and S3; and Conventional systems: P, C and BP, as per Table 1.

## Seleção das famílias de agricultores familiares

O estudo foi realizado no mês de novembro de 2020, nas propriedades de agricultores familiares que passaram pelo processo de transição do sistema convencional para os Sistemas agroflorestais. Foram selecionadas áreas de SAFs que, anteriormente, eram áreas de roça (2 áreas), áreas de SAFs que passaram pelo processo de transição e que antes eram áreas de pasto (3 áreas), áreas de SAFs que passaram pelo processo de transição e, anteriormente, eram área de monocultivo de *Piper nigrum* L (pimenta-do-reino) (3 áreas). Cada categoria (roça, pasto e monocultivo de *Piper nigrum* L (pimenta-do-reino) teve uma área de capoeira que serviu como área de referência (testemunha). As áreas dos sistemas convencionais foram constituídas por roça de *Manihot esculenta* Crantz (mandioca), de *Brachiaria brizantha* (MG-5) (capim) e de monocultivo de *Piper nigrum* L (pimenta-do-reino), totalizando quatorze áreas.

Para melhor identificar e caracterizar as propriedades de agricultores familiares, convencionou-se chamá-las de Sistemas Produtivos: SAF-P1, SAF-P2, SAF-R1, SAF-R2, SAF-R3, SAF-PR1, SAF-PR2 e SAF-PR3, Capoeira: C1, C2 e C3, e Sistema convencional: P, R e PR, conforme Tabela 1.

**Table 1** - Category, production system, secondary vegetation and conventional system registered on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará

**Tabela 1** - Categoria; Sistema produtivo, Capoeira e Sistema convencional registrado nas propriedades dos agricultores familiares do município de Tomé-Açu, Pará

Category	Production system / Secondary vegetation / Conventional system
Pasture	(AFS-P1) 3-year AFS, initially an area of pasture
Pasture	(AFS-P2) 4-year AFS, initially an area of pasture
Pasture	(S1) 40-year secondary vegetation inside AFS-P2
Pasture	(P) 6-year pasture of <i>Brachiaria brizantha</i> (MG-5) grass on a neighbouring property of AFS-BP3
Cleared land	(AFS-C1) 5-year AFS, initially a cleared area
Cleared land	(AFS-C2) 3-year AFS, initially a cleared area
Cleared land	(AFS-C3) 3-year AFS, initially a cleared area
Cleared land	(S2) 20-year secondary vegetation inside AFS-C1
Cleared land	(C) 2-year-old cleared area of cassava inside AFS-P2
Black pepper	(AFS-BP1) 15-year AFS, initially monocropped black pepper
Black pepper	(AFS-BP2) 10-year AFS, initially monocropped black pepper
Black pepper	(AFS-BP3) 10-year AFS, initially monocropped black pepper.
Black pepper	(S3) 20-year secondary vegetation within AFS-BP1
Black pepper	(BP) 3-year monocropped black pepper inside AFS-R3

Some of the agroforestry and conventional systems of this study can be seen in Figure 2.

Alguns dos sistemas agroflorestais e convencionais dessa pesquisa podem ser verificados na Figura 2.



**Figure 2** - View of the Agroforestry Systems. a: 10-year area of AFS-BP2; b: 10-year area of AFS-BP3; c: 3-year area of AFS-C2; d: 6-year pasture of *Brachiaria brisantha* (MG-5) grass; e: 2-year cleared area of cassava; f: 3-year area of monocropped black pepper, in the district of Tomé-Açu, Pará, Brazil.

Source: research author.

**Figura 2** - Aspecto dos Sistemas Agroflorestais: a- Área de SAF-PR2 com 10 anos de idade; b- Área de SAF-PR3 com 10 anos de idade; c- Área de SAF-R2 com 3 anos de idade; d- Área de pasto de capim *Brachiaria brisantha* (MG-5) com 6 anos de idade; e- Área de roça de mandioca com 2 anos de idade; f- Área de monocultivo de pimenta-do-reino com 3 anos de idade do município de Tomé-Açu, Pará, Brasil.

Fonte: autora da pesquisa.

The selected properties (including up to four fiscal modules) belong to family farmers. Selection was random via a survey of the Rural Environmental Register (CAR) and of farmers not linked to the Mixed Agricultural Cooperative of Tomé-Açu (CAMTA). Properties were used where the area of AFS was equal to or greater than 0.3 hectares; the number of species comprising the AFS greater than or equal to 3, considering palm trees as an arboreal component; and the age of the AFS greater than or equal to one year. Before setting up the AFS, fertiliser and limestone were applied when preparing the soil, except in the two areas of pasture (Table 2).

As propriedades selecionadas são de agricultores familiares (com até quatro módulos fiscais), e a seleção foi aleatória por meio do levantamento do cadastro ambiental rural (CAR) e agricultores não vinculados à Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA). Foram utilizadas áreas de propriedades que apresentam tamanho de área de SAF igual ou maior que 0,3 hectare; o número de espécies componentes do SAF maior ou igual a 3, considerando as palmeiras como componente arbóreo; e a idade do SAF maior ou igual a 1 ano. Antes da implantação dos SAFs, as áreas tiveram adubação e aplicação de calcário no preparo do solo, exceto as duas áreas da categoria pasto (Tabela 2).

**Table 2** - Soil preparation prior to setting up the AFS on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará*Tabela 2* - Preparo do solo antes da implantação do SAF nas propriedades de agricultores familiares do município de Tomé-Açu, Pará

Category	Limestone and fertiliser used prior to setting up the AFS
Pasture	(AFS-P1): none
Pasture	(AFS-P2): none
Cleared land	(AFS-C1): limestone, castor cake, bone meal, chicken manure, NPK
Cleared land	(AFS-C2): chicken manure, NPK
Cleared land	(AFS-C3): limestone, chicken manure, NPK
Black Pepper	(AFS-BP1): limestone, NPK, bone meal, castor cake
Black Pepper	(AFS-BP2): limestone, NPK
Black Pepper	(AFS-BP3): limestone, NPK

### Data collection

To evaluate the sustainability indicators, an adaptation was made to the qualitative assessment methodology proposed by Altieri and Nicholls (2002), which is easy for farmers to use and understand. Five indicators were used for crop health: appearance of the plantation; growth of the crop; diversity of plant species; surrounding natural diversity; and the management system. A 5 m x 5 m plot (25 m<sup>2</sup>) was built for the evaluation.

Eight qualitative indicators were used for soil quality: ground cover; residue status; colour, odour and organic matter; root development; biological activity; soil structure; compaction and infiltration; and soil depth, all of which can be easily observed and measured. Trenches of approximately 0.40 m x 0.40 m x 0.40 m (length x width x depth) were dug to assess the quality of the soil. The observed face of the profile was isolated in order to keep the structure intact, and the profile cleaned by a previously trained team member (moderator). After cleaning, the field team and the farmer evaluated the characteristics defined above (ALTIERI; NICHOLLS, 2002).

In order to avoid influencing the results, the moderator remained exempt from any assessments during evaluation by the team, expressing his own assessment of the attribute only once the team had given its opinion. The attributes were valued on a scale of 1; 5 and 10 (1 - undesirable; 5 - moderate; and 10 - ideal conditions). These values were changed based on the local reality of each property under study; when an indicator did not match this reality, it was discarded, thereby giving the field team and the farmer the freedom to decide which indicators were the most relevant.

### Coleta de dados

Para a avaliação dos indicadores de sustentabilidade foi feita a adaptação da metodologia de avaliação qualitativa proposta por Altieri e Nicholls (2002), que é de fácil percepção e entendimento pelos agricultores. Foram utilizados cinco indicadores para a saúde do cultivo, sendo: aparência do plantio; crescimento do cultivo; diversidade de espécies vegetais; diversidade natural circundante e sistema de manejo. Para avaliação foi construída uma parcela de 5 m x 5 m (25 m<sup>2</sup>).

Para a qualidade do solo foram utilizados oito indicadores qualitativos, sendo: cobertura do solo; estado de resíduos; cor, odor e matéria orgânica; desenvolvimento de raízes; atividade biológica; estrutura do solo; compactação e infiltração; e profundidade do solo, ambos de fácil percepção e valoração. Para a avaliação da qualidade do solo, foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m (comprimento x largura x profundidade). Foi realizado o isolamento da face de observação do perfil, a fim de manter a estrutura intacta. Um membro da equipe, previamente capacitado (moderador), realizou limpeza do perfil. Após a limpeza, a equipe de campo e o agricultor realizaram a avaliação das características previamente definidas nos indicadores (ALTIERI; NICHOLLS, 2002).

O moderador se manteve isento da avaliação ao longo da avaliação da equipe, a fim de evitar a indução de notas. Ele manifestou a sua avaliação do atributo apenas após o parecer da equipe. Os atributos foram valorados em uma escala de 1; 5 e 10 (1 - condição indesejável; 5 - mediana e 10 - ideal). Esses valores foram alterados conforme a realidade local de cada propriedade estudada. Quando um indicador não se adequava à realidade ele era descartado, dando a equipe de campo e ao agricultor a liberdade para decidirem quais indicadores são os mais relevantes.

To characterise the preparation of the soil prior to setting up the AFS, semi-structured interviews were carried out using the ODK Collect tool. This application was developed in Java for mobile devices that run the Android operating system. The Collect tool allows the user to load forms saved in Aggregate, fill in and edit these forms once loaded, and finally publish the forms (BURCANO *et al.*, 2016).

## Data analysis

The sustainability indicators were evaluated based on the results obtained for soil quality and crop health, starting with an overall analysis to compare the systems with regard to the mean values of the indicators under study.

The fourteen systems in the study were arranged into five groups: AFS-P, which combines the two AFS that had previously been areas of pasture; AFS-C, which combines the three AFS that had previously been cleared areas; AFS-BP, combining the three AFS that had previously been areas of monocropped black pepper; Secondary Vegetation, which includes the three areas of secondary vegetation; and Conventional system, combining the three conventional systems (farmland, pasture, and monocropped black pepper).

Once the data had been collected, radar charts were prepared as proposed by Nicholls *et al.* (2003). This consisted in plotting the data from the sampling units on a radar chart, considering aspects related to each sustainability indicator, and then calculating the area of the polygon formed by the chart, where the size of the area was the sustainability indicator for that sampling unit.

As an alternative to the radar method for creating the sustainability indicators, Hierarchical Cluster Analysis (HCA) was used. This is a method of pattern recognition that aims to separate the set of data into groups (clusters), so that the elements belonging to any one group are similar to each other with respect to the variables, and the elements in different groups are heterogeneous in relation to these same characteristics (MINGOTI, 2007).

Para caracterizar o preparo do solo antes da implantação do SAF, foram realizadas entrevistas semiestruturadas através da ferramenta ODK Collect. Esse aplicativo foi desenvolvido em Java para objetos móveis que rodem o sistema operacional Android. O Collect permite que o usuário carregue os formulários salvos no Aggregate, preencha e edite esses formulários carregados e, por fim, que publique os formulários salvos no Aggregate (BURCANO *et al.*, 2016).

## Análise dos dados

Com base nos resultados obtidos da qualidade do solo e da saúde do cultivo, avaliou-se os indicadores de sustentabilidade, iniciando com uma análise geral para o confronto entre os sistemas no que diz respeito aos valores médios dos indicadores pesquisados.

Agrupou-se os quatorze sistemas pesquisados em cinco grupos: SAF-P, que agrega os dois SAFs que anteriormente eram áreas de pasto; SAF-R, que agrega os três SAFs que anteriormente eram áreas de roça; SAF-PR, que agrega os três SAFs que anteriormente eram monocultivo de pimenta-do-reino; capoeira, que agrega três áreas de capoeira; e Sistema convencional, que agrega três áreas de sistemas convencionais (área de roça, área de pasto e área de monocultivo de pimenta-do-reino).

De posse dos dados coletados realizou-se a elaboração de gráficos em formato tipo radar proposto por Nicholls *et al.* (2003), que consiste em plotar os dados das unidades amostrais pesquisadas referentes às questões relativas a cada indicador de sustentabilidade em um gráfico do tipo de radar para em seguida calcular a área do polígono formado no gráfico, e a medida da área foi o indicador de sustentabilidade da unidade amostral.

Como alternativa ao método de radar para a criação dos indicadores de sustentabilidade, foi utilizada a análise de agrupamentos hierárquica ou Análise de Cluster (HCA). Esse é um método de reconhecimento de padrões que tem por objetivo separar o conjunto de dados em grupos (cluster ou agrupamento), de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com relação às variáveis, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características (MINGOTI, 2007).



Clusters were formed based on proximity measures. Considering the quantitative nature of the data, a distance measure was chosen: the quadratic Euclidean distance. By calculating the paired distances, a distance matrix was constructed, from which the clusters were formed using Ward's method as the criterion for joining the sampling units, with the aim of minimising the variance within the cluster.

This technique was used to group the agroforestry systems according to their sustainability indicators as related to crop health and soil quality, thereby identifying differences between the systems. This technique served to characterise the groups of systems based on the indicators under study. After determining the sustainability indicators related to crop health and soil quality, any differences between the three systems (AFS, secondary vegetation and conventional) were evaluated.

To test the hypothesis of equality between the systems, a non-parametric Kruskal-Wallis analysis of variance (ANOVA) was carried out, considering that in this study the sample size was small, making it difficult to prove the requirements for using the parametric ANOVA.

In case the hypothesis of equality between the groups should be rejected, the alternative hypothesis was that at least one of the groups would be different from the others, requiring further tests to carry out paired comparisons between the groups to identify those that differed.

For this analysis, Dunn's test (1964) was used, which verifies multiple comparisons following a non-parametric Kruskal-Wallis ANOVA, incorporating the Benjamin and Hochberg (1995) method for adjusting the significance level of multiple comparisons. The analyses were carried out using the Excel and R (rstatix package) software.

## RESULTS AND DISCUSSION

The values of the sustainability indicators for crop health and soil quality for the AFS-P, AFS-C, AFS-BP, secondary vegetation and conventional systems are shown in Figures 2 and 3.

Os agrupamentos foram formados a partir de medidas de proximidade. Considerando a natureza quantitativa dos dados, optou-se por uma medida de distância: a distância euclidiana quadrática. Calculando-se as distâncias pareadas, construiu-se a matriz de distâncias, a partir da qual foram feitos os agrupamentos utilizando como critério para a junção das unidades amostrais o método de Ward, que objetivou minimizar a variância dentro do Cluster.

Essa técnica foi utilizada para agrupar os sistemas agroflorestais de acordo com os seus indicadores de sustentabilidade referentes à saúde do cultivo e à qualidade do solo, assim, identificou-se diferenças entre os sistemas. Também foi possível caracterizar os grupos de sistemas de acordo com os indicadores pesquisados. Após a determinação dos indicadores de sustentabilidade referentes à saúde do cultivo e qualidade do solo, foi avaliado se existiu diferença entre os três sistemas estudados: SAF, capoeira e convencional.

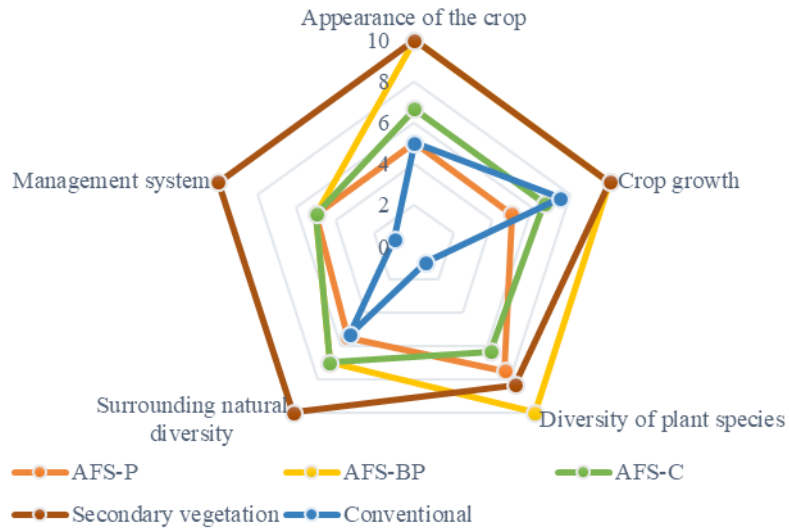
Para testar a hipótese de igualdade entre os sistemas, foi realizada a análise de variância (Anova) não paramétrica de Kruskal-Wallis, considerando que se trata de um estudo com uma amostra de tamanho pequeno, sendo, portanto, difícil comprovar os requisitos para a utilização da Anova paramétrica.

Em caso de rejeição da hipótese de igualdade entre os grupos, a hipótese alternativa foi de que pelo menos um dos grupos foi diferente dos demais, então foi necessário realizar testes posteriores para fazer as comparações pareadas entre os grupos para identificar aqueles diferentes.

Para essa análise, foi utilizado o teste de Dunn (1964), que testa as múltiplas comparações após uma anova não paramétrica de Kruskal-Wallis, incorporando o método de Benjamin e Hochberg (1995) para ajuste do nível de significância de comparações múltiplas. As análises foram realizadas com o auxílio dos programas computacionais Excel e R (pacote rstatix).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos indicadores de sustentabilidade para a saúde do cultivo e qualidade do solo para os sistemas SAF-P, SAF-R, SAF-PR, capoeira e convencional são representados nas Figuras 2 e 3.



**Figure 3** - Mean values of the sustainability indicators in relation to crop health for AFS-P, AFS-C, AFS-BP, secondary vegetation and conventional systems in Tomé-Açu, Pará.

*Figura 3* - Valores médios dos indicadores de sustentabilidade em relação a saúde do cultivo para os SAF-P, SAF-R, SAF-PR, capoeira e convencional em Tomé-Açu, Pará.

The system of secondary vegetation (Figure 3) had the greatest value for polygon area, of 4.1 (Table 3) for all indicators, compared to the other systems. Secondary vegetation plays a fundamental role in the conservation of biodiversity, the preservation of water quality, and the formation of ecological corridors.

From an ecological point of view, secondary vegetation improves the relationship between soil structure, moisture, and nutrient cycling via the roots. Shading by the trees provides a mild microclimate, and the accumulation of litter affords ground cover, which when decomposed, becomes an important source of organic matter for agricultural practices. As such, the management of secondary vegetation in family farming in the Amazon is one way of reproducing natural ecological processes, and can be seen in the practices of farmers in the area (BALÉE, 2014).

The areas of AFS show high values for some of the indicators under study. In particular, AFS-BP presented a value for polygon area of 3.0 (Table 3) compared to the other agroforestry systems.

A capoeira (Figura 3) foi o sistema que apresentou maior valor da área do polígono de 4,1 (Tabela 3) em todos os indicadores quando comparado aos demais sistemas. A capoeira ou vegetação secundária tem papel fundamental na conservação da biodiversidade, preservação da qualidade da água e para a formação de corredores ecológicos.

A capoeira, sob o ponto de vista ecológico, melhora as relações de estrutura do solo, umidade e ciclagem de nutrientes, através das raízes. O sombreamento das árvores fornece um microclima ameno, e o acúmulo de serapilheira proporciona cobertura ao solo e, quando decomposta, torna-se importante fonte de matéria orgânica para as práticas das agriculturas. Portanto, o manejo de capoeiras, na agricultura familiar amazônica é uma forma de reprodução dos processos ecológicos naturais, podendo ser observados nas práticas dos agricultores na Amazônia (BALÉE, 2014).

As áreas de SAFs apresentam altos valores para alguns indicadores pesquisados. Particularmente, o SAF-PR apresentou valor da área do polígono de 3,0 (Tabela 3) quando comparado aos demais sistemas agroflorestais.

**Table 3** - Values for the polygon area formed in the radar chart for the general indicator of crop-health and soil quality of the 14 systems evaluated on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará

*Tabela 3 - Valores da área do polígono formado no gráfico radar para o indicador geral de saúde do cultivo e qualidade do solo nos 14 sistemas pesquisados nas propriedades de agricultores familiares do município de Tomé-Açu, Pará*

Crop health		Soil quality	
Type of System	Value	Type of System	Value
Secondary vegetation (S2)	4.365357	Secondary vegetation (S2)	6.999058
Secondary vegetation (S3)	4.365357	Secondary vegetation (S3)	6.999058
Secondary vegetation (S1)	3.516268	Secondary vegetation (S1)	6.999058
AFS-BP1	3.316597	AFS-BP3	6.999058
AFS-BP3	3.316597	AFS-BP2	6.999058
AFS-BP2	2.373869	AFS-C3	6.008293
AFS-C3	2.373869	AFS-BP1	4.334831
AFS-P2	1.127848	AFS-P1	2.871441
AFS-C2	1.127848	Pasture-P	2.562828
AFS-C1	1.020259	AFS-C2	2.300689
AFS-P1	0.723066	AFS-P2	2.237337
Black Pepper-BP	0.450391	AFS-C1	2.151176
Cleared area of cassava-C	0.176127	Cleared area of cassava-C	0.773311
Pasture-P	0.157951	Black Pepper-BP	0.650229

This can be explained by the fact that this production system had been established for a longer period, 10 and 15 years, compared to the other AFS whose ages ranged from 3 to 5 years, as described in Table 1. Another possible explanation is the fact that these agroforestry systems have good ground cover, with a diversity of species of differing heights and cycles growing simultaneously, and depositing biomass and residue at different times.

Therefore, by maintaining vegetation cover similar to that of forest areas, which allows the fertility of the soil to be maintained, fundamental to nutrient cycling via the management of organic waste (SILVA *et al.*, 2011), the AFS guarantee sustainability of production, especially in soils of the Amazon, due to the benefits of organic matter on the physical, chemical and biological properties of the soil, allowing for a large accumulation of carbon in the biomass and litter compartments (FROUFE *et al.*, 2011).

Isso se justifica pelo fato desse sistema ter se estabelecido há mais tempo, entre 10 e 15 anos, em comparação aos demais SAFs que tem entre 3 e 5 anos, conforme descrito na Tabela 1. Outra possível justificativa é o fato desses sistemas agroflorestais apresentarem boa cobertura do solo, com diversidade de espécies, em diferentes alturas e ciclos crescendo simultaneamente e depositando biomassa e resíduos em épocas alternadas.

Portanto, os SAFs, por manterem uma cobertura vegetal semelhantes as áreas de florestas, a qual permite a manutenção da fertilidade do solo fundamental na ciclagem de nutrientes pelo manejo dos resíduos orgânicos (SILVA *et al.*, 2011), garantem a sustentabilidade da produção, especialmente, nos solos da Amazônia, pelos benefícios da matéria orgânica nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que possibilita grande acúmulo de carbono nos compartimentos de biomassa e serrapilheira (FROUFE *et al.*, 2011).

In AFS, organic matter is incorporated and maintained in the soil, which reflects in improvements to its physical attributes, enhancing its structure, such as soil density, porosity and water retention, as well as the chemical and biological attributes that favour plant growth (MARCHINI *et al.*, 2015). In addition to the various vegetation strata, the AFS provide a more efficient use of the solar radiation and available area, presenting various types of root systems for exploiting different soil depths (SOUZA; PIÑA-RODRIGUES, 2013).

The conventional system had the lowest value for polygon area (0.25) (Table 3) compared to the other systems, especially in relation to the diversity of plant species and the type of management. This is because, being an area of agricultural systems, the conventional system does not have a richness of plant species; furthermore, family farmers rarely manage these areas (Figure 3).

The secondary forest (capoeira) had the highest value for polygon area (6.99) (Table 3), considering each of the soil-quality indicators under evaluation. Areas of secondary vegetation can be used as deposits of organic matter and sources of nutrients to improve soil quality under alternative agricultural systems (Figure 4).

Nos SAFs ocorrem a incorporação e manutenção da matéria orgânica no solo, o que reflete em melhorias nos atributos físicos, aprimorando sua estrutura, como: densidade do solo, porosidade e retenção de água, bem como os atributos químicos e biológicos que irão favorecer o crescimento das plantas (MARCHINI *et al.*, 2015). Além dos vários estratos da vegetação, que proporcionam uma utilização mais eficiente da radiação solar e da área disponível, com diferentes tipos de sistemas radiculares explorando diferentes profundidades de solo (SOUZA; PIÑA-RODRIGUES, 2013).

A área convencional foi a que apresentou menor valor da área do polígono (0,25) (Tabela 3) quando comparado aos outros sistemas, principalmente, em relação ao parâmetro sistema de manejo e diversidade de espécies vegetais. Isso ocorre devido ao sistema não apresentar riqueza de espécies vegetais por ser área de sistemas agrícolas, além disso, os agricultores familiares manejam pouco essas áreas (Figura 3).

A floresta secundária (capoeira) teve maior valor da área do polígono (6,99) (Tabela 3), considerando todos os indicadores de qualidade do solo avaliados. As capoeiras podem ser usadas como depósitos de matéria orgânica e fontes de nutrientes para melhoria da qualidade do solo em sistemas agrícolas alternativos (Figura 4).

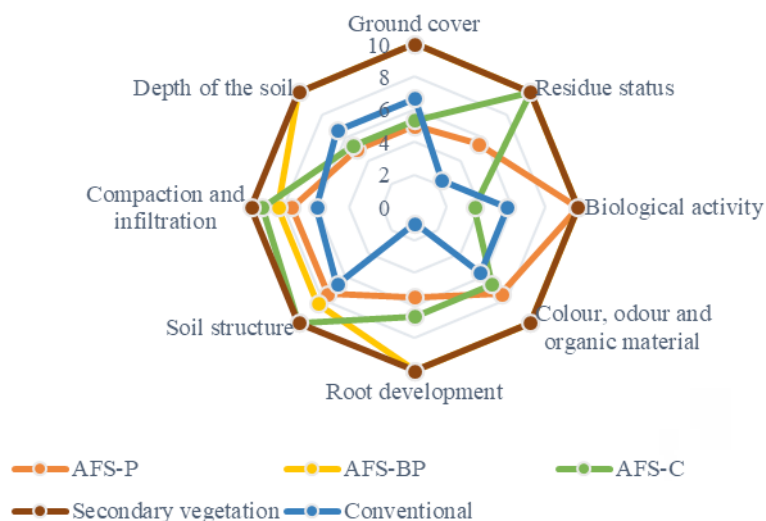


Figure 4 - Mean values for soil quality for AFS-P, AFS-C, AFS-BP, secondary vegetation and conventional systems in Tomé-Açu, Pará.

Figura 4 - Valores médios da qualidade do solo para os SAF-P, SAF-R, SAF-PR, capoeira e convencional em Tomé-Açu, Pará.

Secondary forests (capoeira) tend to have a greater amount of organic matter, which helps in improving various soil characteristics, such as those related to soil fertility, conservation and carbon sequestration. In this respect, family farmers use fallow periods to enable the soil to recover its ability to return satisfactory yields (SANG *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2018).

Thus, secondary vegetation plays an important role related to high biomass production, resilience capacity and as a repository of diversity, increasing the provision of raw materials and food, so that the correct management of these secondary forests reduces the pressure of exploitation on primary-forest ecosystems, minimising the impacts of deforestation (BORGES, 2020; OBERLEITNER *et al.*, 2021).

With a value of 1.32, the performance of the conventional system (Figure 4) resulted in lower values than the other systems for the indicators of root development, residue status, compaction and infiltration, soil structure, colour and odour, and organic matter. This result may be related to these systems having less ground cover and therefore suffering more intensely from the effects of weathering on the surface, and from the degradation of organic matter, which aggravates the status of the soil characteristics. Such results suggest the need for additional management under this system, especially the addition of organic matter, to prioritise biomass production whether by the use of fallow periods or other techniques, such as green manure.

Conventional systems may share a lack of conservationist management techniques, particularly those aimed at ground cover and the addition of organic matter; however, they may exhibit other types of differing impacts, e.g. the intensive use of agricultural machinery can expose the soil organic matter to rapid degradation in large areas, in addition to allowing the breakdown of soil aggregates, contributing to the process of compaction. On the other hand, in small areas, burning the vegetation prior to cultivation quickly degrades the existing organic matter; furthermore, the farmers generally do not replace soil nutrients via fertilisation (SOUSA *et al.*, 2018).

As florestas secundárias (capoeiras) tendem a apresentar maior quantidade de matéria orgânica contribuindo para a melhoria de diversas características do solo, tais como àquelas relacionadas à fertilidade e conservação do solo e sequestro de carbono. Nesse sentido, os agricultores familiares utilizam o pousio para que o solo recupere sua capacidade de suportar produtividades satisfatórias (SANG *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2018).

Assim, a capoeira desempenha um papel importante relacionado à elevada produtividade de biomassa, capacidade de resiliência e o repositório de diversidade, aumentando a provisão de matéria-prima e alimentos, de modo que o manejo correto dessas capoeiras ou florestas secundárias diminui a pressão exploratória sobre ecossistemas de floresta primária, podendo minimizar os impactos do desmatamento (BORGES, 2020; OBERLEITNER *et al.*, 2021).

O sistema convencional (Figura 4) obteve valores inferiores ao dos demais sistemas nos indicadores: desenvolvimento de raízes, estado de resíduo, compactação e infiltração, estrutura do solo e cor, odor e matéria orgânica, com valor de 1,32. Esse resultado pode estar relacionado ao fato desses sistemas apresentarem uma menor cobertura do solo e, portanto, sofrerem com maior intensidade os efeitos do intemperismo sobre sua superfície e com a degradação da matéria orgânica, o que agrava a situação das características do solo. Esses resultados sugerem a necessidade de manejos adicionais a esse sistema, como à adição de matéria orgânica e outros que priorizam a produção de biomassa, seja por meio de pousio e outras técnicas como adubação verde.

Os sistemas convencionais podem compartilhar a ausência de técnicas conservacionistas de manejo, principalmente àquelas voltadas para cobertura do solo e adição de matéria orgânica, porém, podem exibir outras formas de impacto divergentes entre si, por exemplo, uso intensivo de maquinário agrícola pode expor a matéria orgânica do solo à rápida degradação nas grandes lavouras, além de propiciar a quebra dos agregados do solo, contribuindo para o processo de compactação. Já nas pequenas lavouras a queima da vegetação para implantação do cultivo degrada rapidamente a matéria orgânica existente, além dos agricultores, normalmente, não realizarem a reposição dos nutrientes ao solo via adubação (SOUSA *et al.*, 2018).

In turn, conservationist management, such as direct planting, the cultivation of grasses and legumes, crop rotation and intercropping, and the use of machinery and equipment suitable for sustainable production, can be valid alternatives for sustainable soil management under the conditions of Tomé-açu, Pará.

Sousa *et al.*, (2018), working with visual soil-quality indicators in family agroecosystems in the state of Maranhão, concluded from their research that such indicators proved to be practical and easy to interpret. The abandoned area of pasture had the lowest average value for these indicators, which suggests the need for adequate management to prevent environmental problems in areas of pasture. The highest values for the visual indicators were obtained in areas of natural regeneration. The authors highlight the importance of the role of secondary vegetation in recovering the productive potential of agrosystems.

The general sustainability indicator of crop health and soil quality for each of the 14 systems under evaluation, showed the following result in descending order: Secondary vegetation > Agroforestry Systems > Conventional System (Table 3). This shows that secondary vegetation and AFS obtained the best results for crop health and soil quality, inferring that these systems are more sustainable than the conventional system.

To compare the AFS, secondary vegetation and conventional systems, the non-parametric Kruskal-Wallis Analysis of Variance was used. The non-parametric test rejected the hypothesis of equality between the three systems for both the crop-health indicator and soil quality (Table 4). These results show that statistically the three systems are different, confirming that the highest mean values of the indicators are for the secondary vegetation, followed by the agroforestry system, and lastly the conventional system.

Os manejos conservacionistas, como plantio direto, o cultivo de gramíneas e leguminosas e a rotação e consórcio de culturas, além do uso de máquinas e equipamentos adequados à produção sustentável, por sua vez, podem ser alternativas válidas para o manejo sustentável do solo nas condições de Tomé-açu, Pará.

Sousa *et al.* (2018), trabalhando com indicadores visuais de qualidade do solo em agroecossistemas familiares maranhenses, concluíram que os indicadores se mostraram práticos e de fácil interpretação. A área de pastagem abandonada apresentou o menor valor médio de indicadores, o que sugere a necessidade de manejos adequados para prevenir problemas ambientais em áreas de pastagem. Os maiores valores de indicadores visuais foram obtidos em área de regeneração natural, os autores ressaltaram a importância do papel das capoeiras em recuperar o potencial produtivo dos agrossistemas.

O indicador geral de sustentabilidade da saúde do cultivo e da qualidade do solo, para cada um dos 14 sistemas pesquisados, mostrou em ordem decrescente o seguinte resultado: Capoeira > Sistemas Agroflorestais > Sistema Convencional (Tabela 3). Isso mostra que a capoeira e o SAF obtiveram os melhores resultados para saúde do cultivo e qualidade do solo, possibilitando inferir que esses sistemas são mais sustentáveis que o sistema convencional.

Para realizar a comparação entre os Sistemas SAFs, Capoeira e Convencional, foi utilizada a Análise de Variância não-paramétrica de Kruskal-Wallis. O teste não-paramétrico rejeitou a hipótese de igualdade entre os três sistemas tanto para o Indicador de Saúde do cultivo quanto para o indicador de qualidade do solo (Tabela 4). Esses resultados mostram que estatisticamente os três sistemas são diferentes, confirmando que as maiores médias dos indicadores são da capoeira, seguido do sistema agroflorestal e posterior do convencional.

**Table 4** - Results of the non-parametric Kruskal-Wallis Analysis of Variance for the mean value of the sustainability indicators of crop health and soil quality in the ASF, secondary vegetation and conventional systems

*Tabela 4 - Resultado da Análise de Variância não-paramétrica de Kruskal-Wallis da média dos indicadores de sustentabilidade saúde do cultivo e qualidade do solo nos sistemas SAFs, Capoeiras e Convencionais*

System	Mean Value	
	Crop health	Soil quality
AFS	1.92	4.24
Secondary vegetation	4.08	6.70
Conventional system	0.26	1.33
P-value	0.0053	0.0265

Table 5 shows that the three systems differed in relation to the crop-health indicator at a significance level of 5%. As seen in Table 3, the mean value of the secondary vegetation was far higher than the mean values of the other systems. However, when comparing the soil-quality indicator, the difference was statistically significant at a level of 5% for the comparison between the secondary vegetation and the conventional system. These results confirm that the floristic composition differed between the systems. Conventional systems are areas with no floristic richness, while AFS and areas of secondary vegetation include arboreal and/or fruit species.

A Tabela 5 evidencia que os três sistemas foram diferentes entre si em relação ao indicador de saúde do cultivo ao nível de significância de 5%. Conforme visto na Tabela 3, a média do sistema capoeira foi bastante superior às médias dos demais sistemas. No entanto, na comparação do indicador de qualidade do solo, a diferença foi estatisticamente significativa ao nível de 5% para a comparação Capoeira *versus* Convencional. Estes resultados ratificam que a composição florística entre os sistemas foi diferente. Os sistemas convencionais são áreas que não apresentam riqueza florística, enquanto as áreas de SAFs e capoeira apresentam espécies arbóreas e/ou frutíferas.

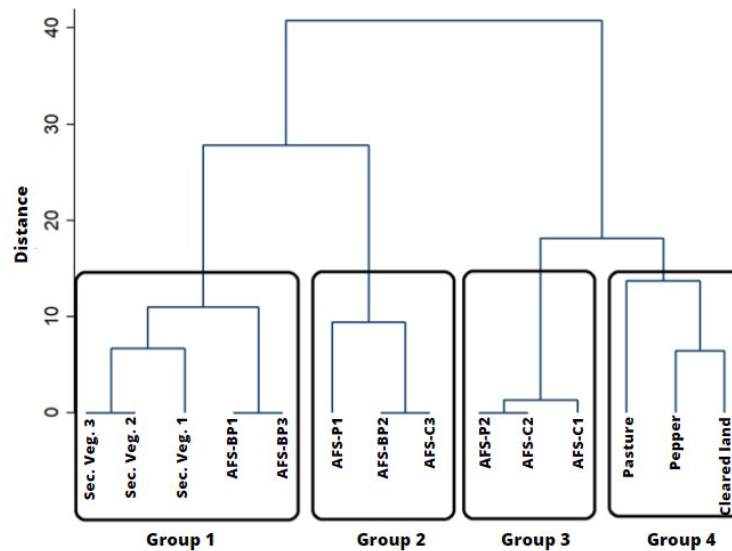
**Table 5** - Result of Dunn's test for the values of the sustainability indicators of crop health and soil quality for AFS versus secondary vegetation, AFS versus the conventional system, and the conventional system versus secondary vegetation

*Tabela 5 - Resultado do teste de DUNN para os valores dos indicadores de sustentabilidade saúde do cultivo e qualidade do solo nos sistemas SAF versus Capoeira, SAF versus Convencional e Convencional versus Capoeira*

Systems under comparison	P-value	
	Crop health	Soil quality
AFS v. Secondary vegetation	0.0383	0.0781
AFS v. the Conventional system	0.0256	0.0521
Conventional system v. Secondary vegetation	0.0018	0.0106
P-value	0.0053	0.0265

For Bolfe and Batistella (2011), species diversity in the various AFS of Tomé-Açu is related to a decline in the black pepper cycle, to the species diversity found in forest remnants around the AFS, and to the association of species carried out by Japanese-Brazilian farmers, who tested several fruit species under different arrangements. The cluster analysis (Figure 5) shows four distinct groups for the crop-health indicators.

Para Bolfe e Batistella (2011), a diversidade de espécies nos SAF de Tomé-Açu está relacionada ao declínio do ciclo da pimenta-do-reino e à associação entre espécies realizada pelos agricultores nipo-brasileiros que testaram diversas espécies de frutíferas em diferentes arranjos e além da diversidade de espécies nos remanescentes florestais do entorno dos SAF. A análise de Cluster (Figura 5) mostra quatro grupos distintos para os indicadores de saúde do cultivo.



**Figure 5** - Result of the cluster analysis for the values of the crop-health indicators between the mean values of the 14 systems under study on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará.

*Figura 5* - Resultado da análise de Cluster para os valores dos indicadores de saúde do cultivo entre as médias dos valores para os 14 sistemas pesquisados nas propriedades de agricultores familiares do município de Tomé-Açu, Pará.

Group 1 comprises three areas of secondary vegetation and two areas of AFS-BP. The AFS-BP agroforestry systems were established for a longer period (10 and 15 years), which explains their being grouped with the areas of secondary vegetation.

Group 2 is formed by the areas of AFS-P, AFS-BP and AFS-C. The areas of AFS-P and AFS-C are open areas with an age of up to 5 years, favouring the incidence of solar radiation and, consequently, the appearance of new species, which increases species richness, and was probably the reason for their being grouped with AFS-BP.

O Grupo 1 é composto por três áreas de capoeiras e 2 áreas de SAFs-PR. Os sistemas agroflorestais SAF-PR estão estabelecidos a mais tempo com idades de 10 anos e 15 anos, o que justifica se agruparem as áreas de capoeira.

O Grupo 2 é formado pelas áreas de SAFs de P, PR e R. As áreas de SAFs de P e R são áreas abertas e com idade de até 5 anos, o que favorece a incidência de radiação solar e, conseqüentemente, aparecimento de novas espécies, o que aumenta a riqueza das espécies e por isso, provavelmente tenha se agrupado com SAFs PR.



Group 3 is composed of two areas of AFS-C and one area of AFS-P. The characteristic of this group is the high richness of the surrounding natural vegetation. On the other hand, as these agroforestry systems are between 3 and 5 years old, they are grouped together, probably as they are in the process of formation, requiring the intervention of other components, such as a management system and the introduction of other forest and agricultural species until the systems consolidate. Group 4 is formed by the areas of P, BP and C, which were grouped together as they are areas of conventional agricultural systems with a small number of species.

The cluster analysis divided the systems into three groups for soil quality. Figure 6 shows the dendrogram of this division.

O Grupo 3 é composto por duas áreas de SAFs-R e 1 área de SAF-P. A característica desse grupo é alta riqueza de vegetação natural circundante. Por outro lado, como esses sistemas agroflorestais apresentam idades de 3 a 5 anos, eles se agrupam, provavelmente, por se encontrarem em processo de formação, sendo necessário a intervenção de outros componentes, como sistema de manejo, introdução de outras espécies florestais e agrícolas até que o mesmo se consolide. O Grupo 4 é formado pelas áreas P, PR e R, que se agruparam por serem áreas de sistemas agrícolas convencionais, com baixo número de espécies.

Em relação à qualidade do solo, a análise de cluster dividiu os sistemas em três grupos. A Figura 6 apresenta o dendrograma com a divisão dos grupos.

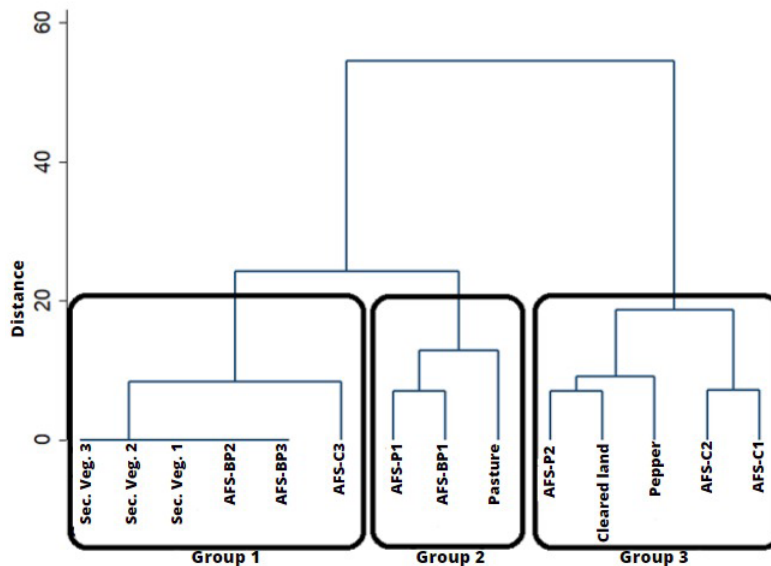


Figure 6 - Result of the cluster analysis for the values of the soil-quality indicators between the mean values for the 14 systems under study on the properties of family farmers in the district of Tomé-Açu, Pará.

*Figura 6 - Resultado da análise de Cluster para os valores dos indicadores de qualidade do solo entre as médias dos valores para os 14 sistemas pesquisados nas propriedades de agricultores familiares do município de Tomé-Açu, Pará.*

In Group 1, areas of secondary vegetation and areas of agroforestry systems (AFS-BP and AFS-C) were grouped. The use of mineral fertiliser, and the richness of the species may have influenced the high value for soil quality of each of the indicators, which may explain the grouping of these areas.

No Grupo 1, agregaram-se as áreas de capoeira e as áreas de sistemas agroflorestais (SAFs-PR e SAF-R). O uso de adubação mineral e as riquezas das espécies podem ter interferido no alto valor da qualidade do solo em todos os indicadores, o que pode justificar o agrupamento dessas áreas.

Group 2 is formed by AFS-P, AFS-BP and the area of pasture. The high values for the indicators of biological activity: colour, odour and organic matter; ground cover; residue status and soil depth; and the low value for colour, odour and organic matter resulting from the fertilisation practices in each of the areas may have contributed to this grouping.

Group 3 is formed by the areas of AFS-C and AFS-P, and by the conventional systems of cleared land and black pepper, which are grouped together as they present low values for the indicators of soil quality and high values for the indicators of soil structure, compaction, and infiltration.

Groups 2 and 3 were probably formed due to these areas of agroforestry systems having low species richness, and to the type of management system used by the farmer on his property.

The cluster analysis showed that the secondary vegetation, AFS and monocropped systems differ in their crop-health indicators, and that the type of management adopted by the family farmer is one of the important indicators for assessing the sustainability of these systems, since identifying the type of management adopted in production systems influences the stocks of soil organic matter and may reduce, maintain or increase these stocks in relation to the native vegetation (KHORRAMEMDEL *et al.*, 2013).

Managing AFS with permanent ground cover is essential for maintaining soil fertility, where litter is the main pathway for the transfer of organic matter and the cycling of nutrients and other essential elements from the vegetation to the soil of the forest (GODINHO *et al.*, 2014). In this respect, AFS under simplified or complex sustainable management, seek to increase production based on the local culture of the family farmer, guiding production in the midst of biodiversity through an exchange relationship between living beings (ARAUJO *et al.*, 2022).

Pezarico *et al.* (2013), working with soil-quality indicators in AFS in the district of Amambai, MS, concluded in their study that the indicators used had the potential for detecting environmental changes that depended on the type of management adopted. Species diversity in agroforestry systems contributed significantly to an improvement in soil quality when compared to the monocropped systems.

O Grupo 2 é formado pelas áreas SAF-P, SAF-PR e Pasto. Os altos valores nos indicadores de atividade biológica; cor, odor e matéria orgânica; cobertura do solo; estado de resíduo e profundidade do solo, e baixo valor de cor, odor e matéria orgânica, devido às práticas de adubação em todas as áreas podem ter contribuído para a agrupamento.

O Grupo 3 é formado pelas áreas de SAFs- R e SAF-P e pelos sistemas convencionais de roça e pimenta, agrupando-se por apresentarem baixos valores dos indicadores de qualidade do solo e altos valores de indicadores de estrutura do solo e de compactação e infiltração.

A formação do Grupo 2 e do Grupo 3, provavelmente, ocorreu devido essas áreas de sistemas agroflorestais apresentarem baixa riqueza de espécies e pelo tipo de sistema de manejo utilizado pelo agricultor na sua propriedade.

A análise de Cluster mostrou que os sistemas capoeira, SAFs e monocultivo são diferentes para os indicadores saúde do cultivo, e que o tipo de manejo adotado pelo agricultor familiar é um dos importantes indicadores para avaliar a sustentabilidade desses sistemas, pois, identificar o tipo de manejo adotado em sistemas produtivos, exercem influência nos estoques de matéria orgânica no solo, podendo diminuir, manter ou aumentar esses estoques em relação à vegetação nativa (KHORRAMEMDEL *et al.*, 2013).

O manejo dos SAFs com cobertura do solo permanente é essencial para a manutenção da fertilidade do solo, e a serrapilheira é a principal via de transferência de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e de outros elementos essenciais da vegetação para o solo florestal (GODINHO *et al.*, 2014). Neste sentido, os SAFs, com o manejo sustentável simplificado ou complexo buscam aumentar a produção conforme a cultura local do agricultor familiar, orientando a produção em meio à biodiversidade, em uma relação de troca entre os seres vivos (ARAUJO *et al.*, 2022).

Pezarico *et al.* (2013), trabalhando com indicadores de qualidade do solo em SAFs no município de Amambai-MS, concluíram no seu estudo que os indicadores utilizados apresentaram potencial para detectar alterações ambientais em função do manejo adotado. Com relação a diversidade de espécies dos sistemas agroflorestais, contribuiu, de forma significativa, para a melhoria da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas sob monocultivo.

Silva *et al.* (2020), evaluating soil quality under different production systems using visual indicators, found that a management of intercropping was similar to the agroecological clearing of the land, where the presence of native trees, management of the crown, and permanence of the litter on the ground helped to improve the physical and chemical characteristics of the soil, and where the management carried out by farmers in trying to minimise the impacts caused by agricultural crops, included conservationist practices that made it possible to maintain and conserve the properties of the soil.

Sousa *et al.* (2018) found that intercropping can result in greater biological balance in the production system, since, as it presents greater crop diversity in any one area, it offers shelter and alternative food to the natural enemies of insects, pests and phytopathogens.

The adoption of more sustainable management practices, such as intercropping, organic fertiliser and agroforestry systems, is a strategy that can help improve the physical, chemical and biological qualities of the soil, and can therefore guarantee long-term production under more-dynamic conditions that are better balanced with the environment in which it operates (LIMA *et al.*, 2020). The authors concluded in their research that agroecosystems in transition to an agroforestry system afford better land occupation, diversity and production of annual crops and fruit throughout the year, including optimising the use of labour and reducing the initial costs of implementation.

Therefore, production under a sustainable system proves to be promising, as it promotes nutrient cycling without the need for external inputs. Such a production system is also capable of improving the physical, chemical and biological characteristics of the soil (VIEIRA *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONS

The secondary vegetation presented the highest values for the sustainability indicators of crop health and soil quality, which highlights the importance of ensuring this type of environment be maintained to ensure conservation of the biodiversity and of ecological processes;

Silva *et al.* (2020), avaliando a qualidade do solo em diferentes sistemas de produção utilizando indicadores visuais, verificaram que o manejo dos consórcios foi semelhante ao roçado agroecológico, com presença de árvores nativas, manejo da copa e permanência da serapilheira no solo, contribuindo na melhoria das características físicas e químicas do solo. Sendo justificado pelo manejo realizado pelos agricultores, tentando minimizar os impactos oriundos dos cultivos agrícolas, através de práticas conservacionistas, que possibilitaram a manutenção e conservação das propriedades do solo.

Sousa *et al.* (2018) constataram que o cultivo consorciado pode possibilitar um maior equilíbrio biológico no sistema produtivo, pois, uma vez apresentando maior diversidade de culturas em uma mesma área, oferece também abrigos e alimentos alternativos aos inimigos naturais de insetos, pragas e fitopatógenos.

A adoção de manejos mais sustentáveis, tais como consórcio, adubação orgânica e sistemas agroflorestais, é uma estratégia que pode contribuir para a melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas dos solos, sendo, portanto, prática que pode garantir a produção a longo prazo em condições mais equilibradas e dinâmicas com o meio em que está inserida (LIMA *et al.*, 2020). Os autores concluíram na sua pesquisa que os agroecossistemas de transição para sistema agroflorestal proporcionam melhor condição de ocupação da terra, diversidade e produção de culturas anuais e frutíferas, ao longo do ano, otimização de utilização da mão de obra e reduzem seus custos iniciais de implantação.

Assim sendo, a produção em sistemas sustentáveis mostra-se promissora, pois promove a ciclagem de nutrientes não necessitando de insumos externos. Esse sistema de produção também é capaz de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo (VIEIRA *et al.*, 2015).

## CONCLUSÕES

A capoeira foi o sistema que apresentou maiores valores de indicadores de sustentabilidade para a saúde do cultivo e qualidade do solo, o que ressalta a importância de garantir a manutenção desse tipo de ambiente para promover a conservação da biodiversidade e de processos ecológicos;

The AFS also presented higher values for the sustainability indicators of crop health and soil quality compared to the monocropped areas, showing that biodiverse systems, in addition to ensuring food production, help to improve the quality of the soil and crops;

The cluster analysis showed that the consolidated AFS were grouped with the areas of secondary vegetation due to being structurally very similar; some areas AFS were grouped with conventional areas as they are still in the initial phase;

It can be inferred from the analyses that the type of management practiced in the various areas under study may have had an effect on the sustainability indicators, as management can affect the dynamics of the natural processes of each system.

Os SAFs, também, apresentaram maiores valores de indicadores de sustentabilidade para a saúde de cultivo e qualidade de solo quando comparados às áreas de monocultivos, mostrando que sistemas biodiversos, além de garantir produção de alimentos, contribuem para a melhoria na qualidade do solo e dos próprios cultivos;

A análise de cluster mostrou que os SAFs consolidados se agruparam com as áreas de capoeiras, pelo fato de estruturalmente se assemelharem muito e algumas áreas de SAFs se agruparam com áreas convencionais por ainda estarem em fase inicial;

De acordo com as análises, infere-se que o manejo praticado nas diferentes áreas estudadas pode ter tido interferência nos indicadores de sustentabilidade, pois interfere na dinâmica dos processos naturais dos sistemas.

### CITED SCIENTIFIC LITERATURE

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, v. 64, p. 17-24, 2002.

ARAÚJO, F. A. S.; ANDRADE, L. P.; MOLICA, R. J. R.; ANDRADE, H. M. L. S. Indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais: levantamento de metodologias e indicadores utilizados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, p. 1-16, 2022. 60(spe), e246191. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.246191>

BALÉE, W. Florestas antrópicas no Acre: inventário florestal no geoglifo Três Vertentes, Acrelândia. **Revista de Antropologia**, v. 1, n. 6, p. 140-169. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v6i1.1752>

BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the false Discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B** 57, p. 289-300, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>

BOLFE, É. L.; BATISTELLA, M. Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em ToméAçu, Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 11391147, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000004>

BORGES, S. H.; TAVARES, T. R. S; CROUCH, N. M. A.; BACCARO, F. Sucessional trajectories of bird assemblages in amazonian secondary forests: Perspectives from complementary biodiversity dimensions. **Forest Ecology and Management**, p. 483-118731, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118731>

BUCARDO, E.; MADRIZ, B.; ZONNEVELD, M. V. Guía para el uso de dispositivos Android en el llenado de encuestas bajo la plataforma Open Data Kit. 2016. 38p.

CAMPOS, M. V. A; HOMMA, A. K. O; MENEZES; A. J. E. A; FILGUEIRAS, G. C.; MARTINS, W. B. R. Dinâmica de sistemas agroflorestais com mudanças socioeconômicas e ambientais: caso de cooperativas nipo-paraenses da cooperativa agrícola mista de Tomé-Açu, Estado do Pará. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**. v. 11, n. 1, pág. e22811121000, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/10.33448/rsd-v11i1.21000>

- DUNN, O. J. Multiple comparisons using rank sums. **Technometrics**, v. 6, n. 3, p. 241-252, 1964. DOI: <https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa da Amazônia Legal - Fronteira Agrícola e Censo Agropecuário 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>, acesso em 20 de jan. 2019.
- FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestratos para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.143>
- GODINHO, T. de O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602014000100002>
- HOMMA, A. K. O., MENEZES, A. J. E. A., BARROS, A. V. L. de. Dinâmica dos sistemas agroflorestais: o caso da colônia agrícola de Tomé-Açu, Pará. In: HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. ed. Brasília: Embrapa, 2014, p. 425-436.
- KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista monografias ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236130814411>
- KHORRAMDEL, S.; KOOCHKEI, A.; MAHALLATI, M. N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 133, p. 25-31, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.008>
- LIMA, J. F.; SOUZA, J. B.; BARBOSA, A. S. Sustentabilidade em sistemas produtivos no município de Serraria, Paraíba. **Revista Verde**. v. 15, n. 1, p. 105-110, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.6881>
- MARCHINI, D. C.; LING, T. G. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 19, p. 574-580, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p574-580>
- MELO JÚNIOR, J. G. Importância da diversidade dos sistemas agroflorestais na sustentabilidade de agroecossistemas familiares na Comunidade Santa Luzia, Município de Tomé-Açu/Pará, Belém, Pará. 2014, 129f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Amazônicas) – Universidade Federal do Pará, Belém.
- MINGOTI S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. 1 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 297p.
- NICHOLLS, C.; ALTIERI, M.; DEZANET, A.; FEISTAEUR, D.; LANA, M.; BAPTISTA, M.; OURIQUES, M. Método agroecológico rápido e de fácil acesso na estimativa da qualidade do solo e saúde do cultivo em vinhedos. Personal Communication, USA, Califórnia, 2003.
- OBERLEITNER, F.; EGGER, C.; OBERDORFER, S.; DULLINGER, S.; WANER, W.; HIETZ, P. Recovery of aboveground biomass, species richness and composition in tropical secondary forests in SW Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, p. 479-118580, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118580>.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias Amazonia Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>
- SANG, P. M.; LAMB, D.; BONNER, M.; SCHIMIDT, S. Carbon sequestration and soil fertility of tropical tree plantations and secondary forest established on degraded land. **Plant and soil**, v. 362, p. 187-200, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1281-9>

SILVA, P. V. C.; AGUIAR, M. I.; DANTAS, F. M. M.; ALMEIDA, M. V. R.; COSTA, L. O.; ZULIANI, D. Q. Utilização de indicadores participativos de qualidade do solo em sistemas de produção agrícola familiar. **Nativa**, v. 8, n. 5, p. 671-678, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.9852>

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2011v13n1p77-86>

SILVA, R. A.; CRETA, J. E.; MEDRATO, M. J. S.; RIGOLIN, I. M. Sistemas integrados de produção- o novo desafio para a agropecuária brasileira. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 1, p. 55-68, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n1.a100>.

SOUSA, R. M.; PEREIRA, R. R.; ARAUJO, D. R.; SOARES, F. Indicadores visuais de qualidade do solo em agroecossistemas familiares maranhenses. **Acta Tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 109-120, 2018. DOI: <https://doi.org/10.35818/acta.v13i1.671>

SOUZA, M. C. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100010>

VIEIRA, M. V. M.; GIUNTI O. D.; GRIS, C.; SILVA, F., A. V. Indicadores de sustentabilidade e influência de sistemas agroflorestal e convencional sobre a qualidade do solo e do café arábica em Piumhi-MG. **Revista Verde**, v. 10, n. 2, p. 229 - 238, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3329>