



ARTIGO ORIGINAL

## Dinâmica sazonal de nutrientes e atributos físicos do solo em sistemas agroflorestais

### *Seasonal dynamics of soil nutrients and physical attributes in agroforestry systems*

Geny Rocha da Silva<sup>1\*</sup>   
Daniela Pauletto<sup>1</sup>   
Arystides Resende Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), Instituto de Biodiversidade e Florestas, Rua Vera Paz, s/n, 68035-110, Santarém, Pará, Brasil

<sup>2</sup> Embrapa Amazônia Oriental (Embrapa), Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n, 66095-100, Santarém, Pará, Brasil

\* **Autor correspondente:**  
E-mail: geny.silva14@gmail.com

#### PALAVRAS-CHAVE

Fertilidade do solo  
Agricultura familiar  
Sistemas integrados

#### KEYWORDS

Soil fertility  
Family farming  
Integrated systems

**RESUMO:** Com a aplicação de técnicas agroflorestais, a produtividade de estabelecimentos agropecuários e de plantações florestais de diversas dimensões podem se estabilizar, evitando a degradação do solo ou perda de produtividade ao longo dos anos. Já os fatores edafoclimáticos, como luminosidade, temperatura e umidade no solo, também influenciam a manutenção da produção e os sistemas agroflorestais (SAFs) por constituírem uma importante estratégia para garantir maior estabilidade dessas condições. Assim, objetivou-se avaliar propriedades físicas e químicas do solo em SAFs considerando a sazonalidade (período seco e chuvoso). O estudo foi realizado em três diferentes sistemas agroflorestais, todos localizados no município de Belterra (PA), por meio da avaliação química, física, da luminosidade e temperatura do solo em relação a variáveis climáticas. Os nutrientes apresentaram, na maior parte do ano, baixos teores no solo (0-20 cm de profundidade), e, em todos os SAFs, a ciclagem de nutrientes ainda não provê a quantidade necessária de nutrientes para a manutenção das necessidades de produção das culturas. O SAF 1 apresentou as maiores porcentagens de argila (24,0%) e o SAF 3, a maior quantidade de areia (89,5%). Os valores de densidade do solo determinados foram abaixo dos limites críticos ao desenvolvimento da vegetação. Observou-se maior umidade do solo em sistemas com teores mais elevados de argila. As condições edáficas foram fortemente influenciadas pelo manejo dos SAFs, pela composição e arranjo das espécies inseridas.

**ABSTRACT:** With the application of agroforestry techniques, the productivity of agricultural establishments and forest plantations of various dimensions can stabilize, avoiding soil degradation or loss of productivity, over the years. The edaphoclimatic factors, such as light, temperature and humidity in the soil, also influence the maintenance of production and agroforestry systems (SAFs) as they constitute an important strategy to guarantee greater stability of these conditions. The objective of this work was to evaluate soil physical and chemical properties in different agroforestry systems, considering the seasonality (dry and rainy period) and the effect of management in these areas. The study was carried out in three different agroforestry systems, all located in the municipality of Belterra (PA), through chemical and physical evaluation, soil luminosity and temperature in relation to climatic variables. The nutrients showed, for most of the year, low levels in the soil (0-20 cm deep) and in all SAFs the nutrient cycling still does not provide the necessary amount of nutrients to maintain the production needs of the crops. Most of the nutrients presented low soil content (0-20 cm depth) of SAFs, with SAF 1 having the highest percentages of clay (24.0%) and SAF 3 with the highest amount of sand (89.5%), soil density values determined were below the critical limits for vegetation. Soil moisture, in May, was observed in systems with higher clay contents. And the edaphic conditions are strongly influenced by the handling of the SAFs and by the composition and arrangement of the inserted species.

Recebido em: 23/10/2019  
Aceito em: 04/05/2020

## 1 Introdução

Em atividades agropecuárias, o solo é um recurso importante, contudo seus atributos químicos e físicos necessitam de manejo adequado para a manutenção de seus recursos, pois, quando tratados de maneira incorreta, carecem de longos períodos de tempo para serem restaurados (Oliveira et al., 2015).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, culturas agrícolas e/ou forrageiras e/ou em integração com animais, em uma mesma unidade de manejo, obedecendo a um arranjo espacial e temporal específico (Abdo et al., 2008).

A aplicação de técnicas agroflorestais pode estabilizar a produtividade de estabelecimentos agropecuários e de plantações florestais de diversas dimensões, evitando a degradação do solo ou perda de produtividade ao longo dos anos (Barros et al., 2009).

As vantagens do uso dos sistemas agroflorestais se devem, entre outros fatores, à incorporação e manutenção da matéria orgânica no solo, o que reflete em melhorias nos atributos físicos, aprimorando sua estrutura, como a 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).

O comportamento das propriedades físicas do solo está interligado, como a densidade do solo, que está diretamente ligada à sua porosidade, pois quanto menor a densidade maior será a porosidade do solo (Silva et al., 2011). Os SAFs funcionam como um potencial protetor do solo, principalmente no que tange à recuperação de áreas degradadas (Mascarenhas et al., 2017),

pois podem contribuir com a evolução das propriedades físico-químicas e estimular a microbiota, devido à matéria orgânica do solo (Pezarico et al., 2013). Da mesma forma, fatores climáticos como menor luminosidade e temperatura, e mais elevada umidade no solo proporcionam maior produtividade nos cultivos protegidos, mostrando a importância de diferentes estratos na plantação (Santos et al., 2010). Neste âmbito, os SAFs podem ser apontados como uma solução a ser implementada para controlar e melhorar as condições edafoclimáticas, comparando-se a produções a pleno sol.

Baseado na importância ambiental dos sistemas agroflorestais, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e químicas do solo em sistemas agroflorestais em função da sazonalidade (período seco e chuvoso).

## 2 Material e Métodos

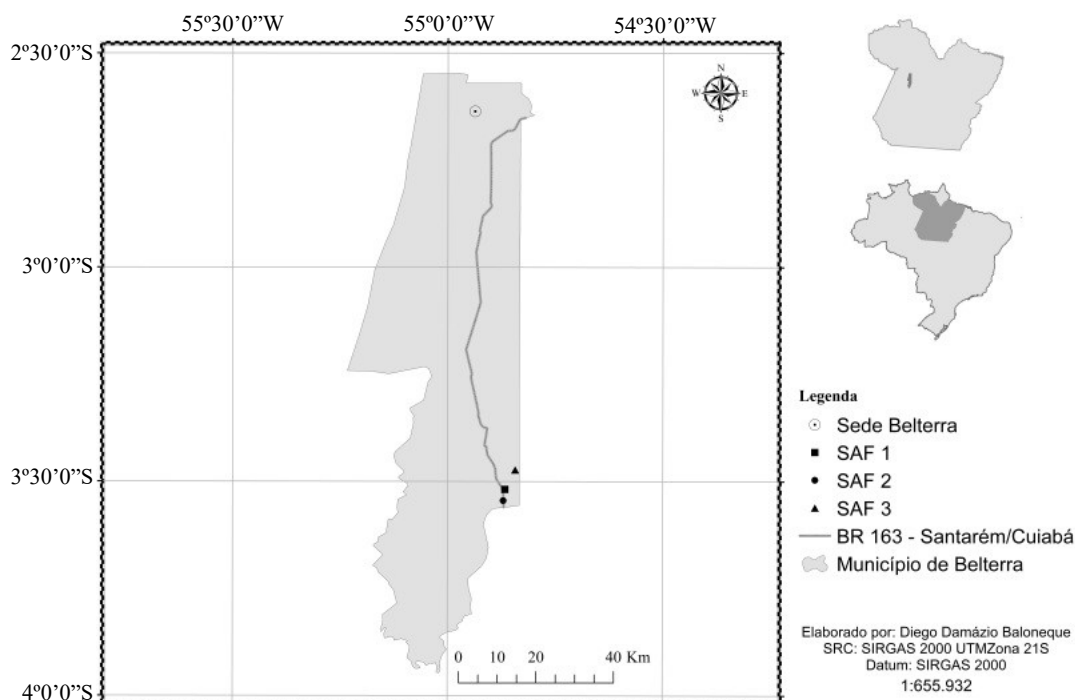
As áreas de estudo se situam no município de Belterra, na mesorregião do Baixo Amazonas, no estado do Pará. A média térmica para o período estudado foi de 27 °C de temperatura (máximas de 34,5 °C e mínimas de 22 °C) e a precipitação anual foi de 1.027 mm (Instituto Nacional de Meteorologia, 2016). A vegetação típica da área é a floresta ombrófila densa (Cordeiro, 2004).

O estudo foi realizado em três sistemas agroflorestais implementados por agricultores familiares entre os anos de 2010 e 2013 (Tabela 1), com apoio da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará (Emater), como estratégia para o fortalecimento da renda familiar e diversificação da produção (Figura 1).

**Tabela 1.** Histórico de uso dos sistemas agroflorestais avaliados no município de Belterra (PA)

**Table 1.** History agroforestry systems use evaluated at the Belterra city (PA)

Área	SAF 1	SAF 2	SAF 3
Localização	Município de Belterra S -3°31'35" e W -54°52'16"	Município de Belterra S -3°32'36" e W -54°52'22"	Município de Belterra S -3°28'23" e W -54°48'17"
Tamanho (ha)	1,5	0,5	1
Composição do SAF	Cumarú ( <i>Dipteryx odorata</i> (Aublet.) Willd.), Pimenta-do-reino ( <i>Piper nigrum</i> L.), Banana ( <i>Musa</i> spp), Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.), Graviola ( <i>Annona muricata</i> L.), Cupuaçu ( <i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K. Schum.), Castanheira ( <i>Bertholletia excelsa</i> Kunth.)	Taperebá ( <i>Spondias mombin</i> L.), Pimenta-do-reino ( <i>Piper nigrum</i> L.)	Cumarú ( <i>Dipteryx odorata</i> (Aublet.) Willd.), Andiroba ( <i>Carapa guianensis</i> Aubl.), Pimenta-do-reino ( <i>Piper nigrum</i> L.), Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.), Moringa ( <i>Moringa oleifera</i> Lam.)
Histórico da área	Retirada da vegetação nativa e queima para implantação de pastagem. Desenvolvimento de atividade pecuária por cinco anos.	Área de regeneração natural de taperebá ( <i>Spondias mombin</i> L.), onde se realizou o desbaste para melhorar a produção.	Área de criação de gado durante 15 anos.



**Figura 1.** Mapa de localização dos sistemas agroflorestais avaliados no município de Belterra (PA)

**Figure 1.** Location map of agroforestry systems evaluated at the Belterra city (PA)

O SAF 1 foi implementado no ano de 2012, quando foi adicionado o plantio de macaxeira (*Manihot* sp) nos primeiros dois anos (2012-2013) nas entrelinhas dos plantios perenes e semiperenes. A macaxeira, no contexto regional, é entendida somente como os tubérculos propícios para alimentação após cozimento. A mandioca é um dos tubérculos que são consumidos após a torrefação na produção de farinha.

A adubação do solo para implementação do SAF 1 foi feita com aplicação de 20 g de fertilizante mineral (NPK 10-28-20), dosagem esta utilizada pelos produtores da região, sendo reaplicado uma vez a cada ano na área de projeção da copa, como formulação para o crescimento e produtividade dos cultivos, porém não houve análise de solo para orientar estas aplicações. Também houve a aplicação da adubação orgânica com esterco de gado e de galinha na cova durante a implementação e uma vez por ano, como parte do manejo no sistema, realizado no mês anterior à chuva (dezembro).

O segundo sistema (SAF 2) utilizou o taperebá como tutor vivo (suporte para fixação) para implantar a pimenta-do-reino e, a partir de 2015, foi inserido neste arranjo, de forma aleatória, feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) para auxiliar na melhoria das condições de solo.

O terceiro sistema (SAF 3), nos três primeiros anos, realizou plantações anuais de macaxeira (*Manihot* sp) e abacaxi (*Ananas* sp). Para o plantio, realizou-se adubação com compostagem de excrementos de animais e resíduos vegetais na cova. O manejo do solo foi feito com adubação verde provinda das culturas espontâneas da área, cobertura do solo com gramíneas oriundas da propriedade e pela

poda e deposição no solo de galhos de moringa (*Moringa oleifera* Lam.).

As coletas de solo – objeto deste trabalho – foram realizadas na profundidade de 0-20 cm em três períodos: 1) início do período seco em 2015 (agosto); 2) início do período chuvoso em 2016 (janeiro); 3) início do período seco em 2016 (julho). Esses períodos foram utilizados devido à disponibilidade de água no solo e à precipitação na região (Instituto Nacional de Meteorologia, 2016). Esse tipo de coleta é habitualmente utilizado para avaliar solos considerando períodos de seca e períodos chuvosos (Ramalho & Guerra, 2014; Vitor et al., 2009). Utilizaram-se amostras simples (coletadas em ziguezague) para compor uma amostra composta, segundo as recomendações da Embrapa (Veloso et al., 2006).

Para as análises físicas, foram considerados os seguintes atributos: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e umidade gravimétrica e granulometria (Veloso et al., 2006). Foram coletadas amostras de solo com estrutura de acordo com recomendações da Embrapa (Veloso et al., 2006), e as análises foram realizadas seguindo a metodologia da Embrapa (Paula et al., 2011).

As amostras de solo também foram submetidas à análise química para os atributos pH ( $H_2O$ ), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), H+Al, alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO) do solo.

Para a análise de recomendação de calagem e adubação, como referência para recomendações de intervenção, foram

usadas as exigências nutricionais da principal fonte de renda dos três SAFs, que é a pimenta-do-reino, devido ao seu rápido retorno econômico e a atual demanda de mercado nacional e internacional (Lourinho et al., 2014).

Os dados de luminosidade foram medidos pelo luxímetro digital modelo LDR-225 (depositando o sensor do aparelho no solo para medir a luz que chega a ele). Além disso, a temperatura do solo foi obtida por meio de termômetro de solo *Taylor* (profundidade de 10 cm do solo). Para estas variáveis, realizaram-se medições mensais nas linhas e entrelinhas dos plantios de espécies perenes dos sistemas agroflorestais, por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Em razão da ausência de normalidade dos dados, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (Assistat versão 7.7) para a comparação de médias, para poder avaliar se as amostras possuíam o mesmo tipo de distribuição. Para avaliar se havia relação entre estes fatores, foi usado o índice de correlação de Pearson. Realizaram-se estas análises usando o software Excel 2013. Para esta correlação, consideraram-se os dados de temperatura e luminosidade no solo em relação às variáveis ambientais disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que foram: dados mensais de evaporação real em milímetros (perda de água por evaporação e transpiração nas condições reinantes – atmosféricas e de umidade do solo), insolação total (intervalo total de tempo – entre o nascimento e o pôr do sol – em que o disco solar não esteve oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza, em horas), precipitação total em milímetros (quantidade de água resultante da condensação do vapor de água na atmosfera), temperatura média mensal

(em graus Celsius) e umidade relativa média (taxa de água no ar, em porcentagem).

### 3 Resultados e Discussão

Nos três SAFs estudados (Tabela 2), os valores de densidade de partículas variaram de 2,48 a 2,54 g.cm<sup>-3</sup>, e os valores de densidade do solo foram abaixo dos limites críticos ao desenvolvimento da vegetação estabelecido por Reichert et al. (2003). Nos SAFs 2 e 3, os valores de densidade do solo variaram de 0,89 a 1,06 g.cm<sup>-3</sup> abaixo do limite crítico, isto é 1,65 g.cm<sup>-3</sup> para solos com teor de argila menor que 20% e no SAF 1 os valores de densidade do solo variaram e 0,96 a 1,03 g.cm<sup>-3</sup> abaixo do limite crítico de 1,55 g.cm<sup>-3</sup> para solos com teor de argila entre 20 a 55%, segundo Reichert et al. (2003), demonstrando que a densidade do solo não é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas nos SAFs em estudo.

Esses valores de densidade do solo abaixo do limite crítico podem ser justificados devido aos SAFs apresentarem um acúmulo de matéria orgânica na camada superficial e baixa interferência de atividades antrópicas no momento do estudo, encontrando-se isolado do tráfego de pessoas, animais e maquinários que geralmente são fontes de compactação do solo (Reichert et al., 2007), nos quais as dinâmicas naturais favorecem a conservação dos atributos e estrutura do solo, como alta densidade e a periódica renovação radicular; além da liberação de exsudatos na rizosfera que estimulam a atividade biológica, proporcionando a formação e a estabilização dos agregados no solo e aumento de sua porosidade (Bayer & Mielniczuk, 2008).

**Tabela 2.** Propriedades físicas do solo

**Table 2.** Physical soil properties

Área	Período	Densidade do solo (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade partículas (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosidade (%)	Umidade Gravimétrica (%)			Classe textural	
					Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)		
SAF 1	Período 1	1,02		58,8	9			Franco-argilo-arenosa	
	Período 2	1,03	2,48	58,6	14	63,1	24,0		12,9
	Período 3	0,96		61,4	8				
SAF 2	Período 1	1,06		57,3	5			Franco-arenosa	
	Período 2	1,02	2,49	59,3	13	70,4	14,0		15,6
	Período 3	1,02		59,1	9				
SAF 3	Período 1	0,97		62,0	1			Arenosa	
	Período 2	0,89	2,54	64,9	2	89,5	6,0		4,5
	Período 3	1,02		59,9	1				

A porosidade no SAF 3 obteve maior destaque (59,9 a 64,9%) em relação aos outros sistemas (Tabela 2), sendo este um fator que influencia no crescimento radicular. Portanto quanto menor o seu valor maior será a restrição para as plantas (Rocha et al., 2015). Este fato pode ser agravado à medida que o teor de argila no solo aumenta, como no SAF 1, que, relacionado aos SAFs 2 e 3, foi o sistema que apresentou maior teor de argila (Tabela 2),

sendo mais propenso à diminuição da porosidade total e à compactação com uso inadequado (Ramos et al., 2015).

No início do período chuvoso (Período 2), os valores da umidade no solo foram maiores em todas as áreas avaliadas (Tabela 2), e a retenção da água pode ter influência da matéria orgânica presente no solo (Minosso et al., 2017; Silveira et al., 2020). No SAF 3, os baixos valores de umidade podem ter sido

causados pelos elevados teores de areia (89,5%), apresentando maior percolação da água e baixa capacidade de armazenamento. No entanto esses valores podem ser alterados com o manejo e incremento de matéria orgânica que auxilia na retenção da água (Costa et al., 2016).

O SAF 1 apresentou maior teor de umidade do solo (14%) no Período 2, sendo que nesta área o solo possui maior fração de argila (24,0%) e maior diversidade de espécies no sistema agroflorestal. A umidade do solo apresentou valores semelhantes no SAF 2 (13%), contudo o solo possui menores teores de argila (14,0%). Provavelmente, essa retenção de água se deve ao papel desempenhado pela serrapilheira depositada sobre o solo em quantidade mais abundante que nos demais sistemas. Já o SAF 3 apresentou os menores teores de umidade (1-2%) e de matéria orgânica,

além de apresentar maior quantidade de areia (89,5%) no solo (Tabelas 2 e 3).

Avaliando-se os três sistemas (Tabela 3), pode ser observado que o SAF 3, apesar do aumento de matéria orgânica no segundo período, apresentou os níveis mais baixos de fertilidade das áreas avaliadas. A saturação de bases foi maior no SAF 2, sendo que, nesta área e no SAF 3, houve aumento de um período ao outro (Período 2 para Período 3), enquanto no SAF 1 este parâmetro aumentou no segundo período, porém apresentou queda no último período. A dinâmica do solo varia de acordo com seu uso, porém os solos agricultáveis da Amazônia, em sua maioria, possuem baixa fertilidade, reação ácida e baixa capacidade de troca catiônica (Cunha et al., 2007). Por isso é necessária a manutenção da matéria orgânica no solo, pois, além dos benefícios para a estrutura, ela atua na ciclagem dos nutrientes do solo.

**Tabela 3.** Fertilidade dos sistemas agroflorestais

**Table 3.** Agroforestry systems fertility

Área	Período	MO g/kg	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC		Saturação	
											Total	Efetiva	Base	Alumínio
					mg/dm <sup>3</sup>			cmolc/dm <sup>3</sup>				cmolc/dm <sup>3</sup>	V%	m%
SAF 1	Período 1	23,48	5,1	7	32	2	1,7	0,4	0,3	5,61	7,80	2,49	28,09	12,04
	Período 2	22,42	4,8	6	41	2	1,7	0,5	0,3	5,12	7,43	2,62	31,16	11,47
	Período 3	21,40	4,7	4	27	2	1,4	0,3	0,5	5,61	7,39	2,28	24,09	21,93
SAF 2	Período 1	23,01	4,8	5	43	2	2,2	0,4	0,2	4,13	6,85	2,92	39,74	6,85
	Período 2	22,44	5,1	15	45	5	3,2	0,4	0,1	3,96	7,70	3,84	48,55	2,61
	Período 3	22,23	5,4	5	36	2	3,0	0,6	0,1	3,63	7,33	3,80	50,50	2,63
SAF 3	Período 1	10,33	4,8	8	18	2	0,8	0,2	0,4	4,46	5,51	1,46	19,17	27,46
	Período 2	14,77	4,6	26	30	2	1,0	0,3	0,3	3,96	5,35	1,69	25,92	17,79
	Período 3	12,25	5,1	9	18	2	1,3	0,4	0,2	3,80	5,55	1,96	31,64	10,22

Onde: MO – matéria orgânica; P – fósforo; K – potássio; Na – sódio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H+Al – hidrogênio + alumínio; e CTC – capacidade de troca catiônica.

No SAF 1, apesar de ter ocorrido adubação sintética e orgânica, os teores de fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) encontrados foram baixos para os três períodos analisados, considerando as recomendações prescritas nas *Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará* (Cravo et al., 2007). Tendo em vista esta referência, os teores de cálcio (Ca) no solo são considerados médios (1,6 – 4,5 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) para os Períodos 1 e 2, variando no Período 3, quando foram encontrados baixos teores (1,4 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>). Os teores de alumínio (Al) foram baixos nos dois primeiros períodos e médio para o terceiro, sendo que os teores dos nutrientes no solo estão de acordo com os níveis adequados determinados por Cravo et al. (2007), o que interfere na produtividade e no crescimento das plantas, já que a elevada concentração de alumínio no solo pode ser um fator limitante (Miguel et al., 2010).

No SAF 1, o pH do solo diminuiu do primeiro ao último período analisado (Tabela 3), fator que pode ser decorrente do manejo realizado com a aplicação de fertilizantes. Isso porque, com a maior absorção de nutrientes, ocorre a liberação dos íons H<sup>+</sup> para a planta manter o equilíbrio eletroquímico

quando há a absorção de um cátion da solução, o que acarreta a acidificação da solução do solo (Fernandes et al., 2015), o que pode ser atribuído à falta da correção do solo antes da aplicação do fertilizante, conforme constatado pelo relato do produtor sobre suas práticas agrícolas habituais.

Para o SAF 2, de acordo com Cravo et al. (2007), considera-se, nos Períodos 1 e 2, teor médio para K (41 a 60 mg/dm<sup>3</sup>), juntamente com os valores de Ca, que nos três períodos encontraram-se com teores médios. O teor de P para o segundo período (início do período chuvoso) foi médio (classificação de 11 – 18 mg/dm<sup>3</sup>), valor considerado positivo para o sistema. Este teor pode ter sido impulsionado pela espécie de maior ocorrência, que é o taperebá (*Spondias mombin* L.), uma espécie caducifólia (Sacramento & Souza, 2000), pois, no período anterior, ocorreu a estação de seca na Amazônia. Assim, com essa deposição de folhas no período seco e com a decomposição das folhas no período úmido, ocorre a liberação de nutrientes para o solo.

No SAF 3, os teores de K, Na e Ca em todos os períodos (seco e chuvoso) são considerados baixos. Já os teores de P e Al no solo, no segundo e primeiro período, são médios e, para o

terceiro período, encontram-se em quantidade baixa de acordo com as recomendações de Cravo et al. (2007). Neste sistema, o manejo é feito com a incorporação dos resíduos das culturas espontâneas da área. Com isso, pode ter ocorrido emergência de cultura(s) com maior aporte e capacidade de liberação de P e K, observando também que, no mesmo período (início do período chuvoso), houve o aumento da MO. Já para o pH houve diminuição no segundo período, enquanto, no último período, registrou-se o maior valor para o SAF.

No início do período chuvoso de 2016, houve aumento dos nutrientes no solo para o P e K em relação ao valor no início do período seco de 2015, o que pode ser decorrente da baixa disponibilidade de água no solo nessa estação, já que este fator é essencial na translocação dos elementos químicos, concordando com Fassbender (2013).

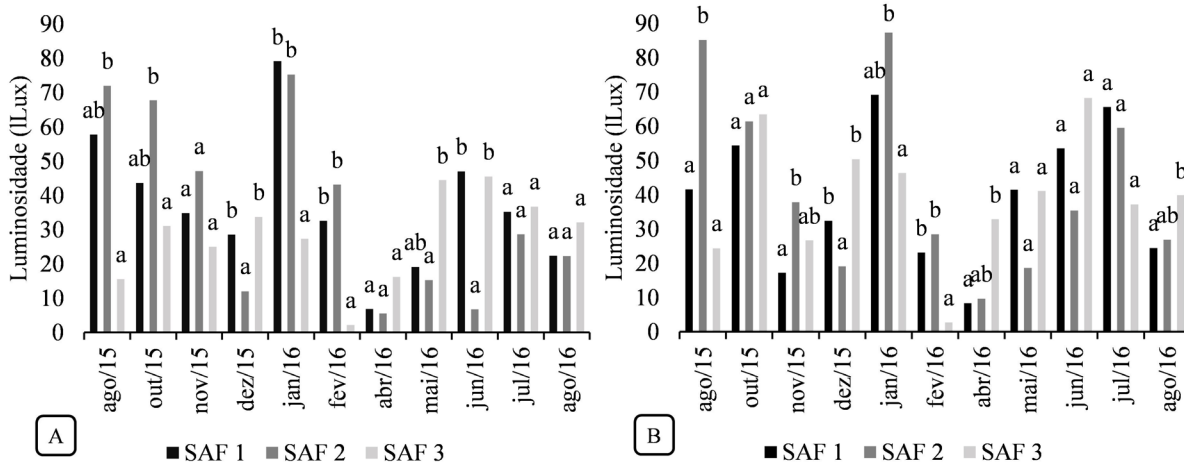
Em todos os sistemas, a pimenta-do-reino é o principal cultivo, devido ao retorno econômico mais rápido para o produtor. Assim, considerando os valores da saturação de bases (V%) do solo, no último período de coleta, todas as áreas teriam necessidade de calagem. Para o SAF 1, seriam necessários 2,7 t/ha; para o SAF 2, 0,7 t/ha; e, para o SAF 3, adicionar 1,6 t/ha de calcário, tomando por base o poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100%. Neste caso, o indicado seria o dolomito, devido ao solo possuir magnésio com teor inferior a 0,7 cmol/dm<sup>3</sup> (Cravo et al., 2007), o que permite a utilização e eficiência na correção.

Adotando os mesmos parâmetros anteriores, também haveria a necessidade de adubação para todos os sistemas nas seguintes

proporções: 205 g/planta para N; 195 g/planta para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e 155 g/planta para K<sub>2</sub>O, tendo como base a utilização de fertilizantes simples como ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, pois contêm maiores teores dos nutrientes recomendados. Por condições financeiras limitadas, os produtores rurais envolvidos neste trabalho adotam como prática realizar a adubação, quando possível, somente do principal cultivo de retorno econômico.

Esses valores revelam que a ciclagem de nutrientes dos SAFs avaliados, com a inserção de diversas espécies com ciclo de vida diferenciados, ainda não provê a quantidade necessária de nutrientes para a manutenção das necessidades de produção das culturas. Para minimizar esse cenário, poderiam ser adotadas espécies com menor necessidade nutricional ou investir em combinações e arranjos que promovam uma ciclagem de nutrientes mais efetiva e maior acúmulo de biomassa no solo. As espécies de ingá (*Inga spp*) e a gliricídia (*Gliricidia sepium*) são exemplos de leguminosas com função de adubação verde utilizadas em SAFs (Corrêa, 2005), que são eficientes na deposição de matéria orgânica sobre o solo por meio de podas periódicas.

Quanto à disponibilidade de luz incidindo sobre o solo, os meses de agosto/2015 e janeiro/2016 obtiveram altos valores de luminosidade nas áreas intercalares às linhas de plantio no SAF 2 (Figura 2). Esse fato pode ser atribuído à queda total das folhas das árvores de taperebá, sendo que, nesses mesmos meses e em outubro, também foram verificados maiores valores de luminosidade incidente sobre o solo nas linhas de plantio ou ocorrência das espécies perenes dos sistemas.



**Figura 2.** Luminosidade (Lux) em sistemas agroflorestais. A – Luminosidade na linha de plantio, B – Luminosidade na entrelinha de plantio. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo teste Kruskal-Wallis para cada mês

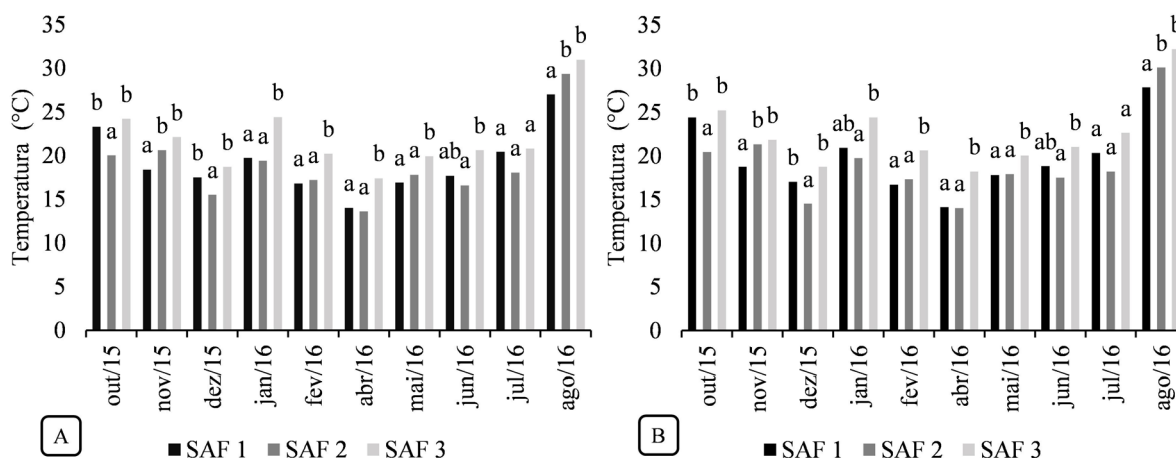
**Figure 2.** Luminosity (Lux) in agroforestry systems. A - Luminosity in the planting line, B - Luminosity in the planting line. Equal letters do not differ statistically at the 95% probability level by the Kruskal Wallis test for each month

A temperatura no solo do SAF 3 foi maior em todos os meses avaliados na linha e entrelinha de plantio de espécies perenes lenhosas em relação aos outros dois SAFs (Figura 3). Porém, nos meses de outubro, dezembro e junho, não diferiu estatisticamente do SAF 1 e, nos meses de novembro e agosto, o SAF 2 não diferiu estatisticamente do SAF 3. Ademais,

o SAF 3 possui pouca cobertura de dossel em função das características de copa das espécies do arranjo, o que gera alta incidência solar sobre o sistema. Considerando a influência da temperatura do solo, Derpsch et al. (1985) mostraram que, em solos descobertos, ocorre aumento de temperatura em comparação com áreas com palhada.

A diferença de temperatura verificada na entrelinha em relação à linha de cultivo de espécies perenes lenhosas nos SAFs avaliados foi de 0,5, 0,3 e 0,5 °C para o SAF 1, SAF 2 e SAF 3, respectivamente. Isso evidencia que estes SAFs possuem estabilidade no controle da temperatura no solo, o que favorece, de acordo com Alves (2009), as plantas e a microbiota presentes.

Os dados de correlações encontrados (Tabela 4) mostraram que, entre os fatores temperatura do solo e período de insolação, considerando as variáveis para o período de um ano, houve correlação positiva ( $r$ : 0,55 a 0,80). Para o período chuvoso, a temperatura do solo se relacionou com diversos fatores, como evaporação, insolação, precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar (Tabela 4), situação que não ocorreu no período de seca.



**Figura 3.** Temperatura do solo (10 cm) nos sistemas agroflorestais. A – Temperatura na linha de plantio, B – Temperatura na entrelinha de plantio. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo teste Kruskal-Wallis para cada mês

**Figure 3.** Soil temperature (10 cm) in agroforestry systems. A - Plantation line temperature, B - No Temperature in the planting line. Equal letters do not differ statistically at the 95% probability level by the Kruskal Wallis test for each month

**Tabela 4.** Correlação entre a temperatura do solo e as condições ambientais nos sistemas agroflorestais

**Table 4.** Correlation between soil temperature and environmental conditions in agroforestry systems.

	Período anual					
	SAF 1		SAF 2		SAF 3	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
r (temperatura do solo <i>versus</i> insolação)	0,80	0,79	0,70	0,69	0,66	0,67
	Período chuvoso					
	SAF 1		SAF 2		SAF 3	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
r (temperatura do solo <i>versus</i> evaporação)	-0,69	-0,65	-0,76	-0,74	-0,76	-0,75
r (temperatura do solo <i>versus</i> insolação)	0,87	0,89	0,75	0,76	0,77	0,79
r (temperatura do solo <i>versus</i> precipitação)	-0,65	-0,63	-0,62	-0,60	-0,59	-0,57
r (temperatura do solo <i>versus</i> temperatura média)	0,96	0,95	0,98	0,97	0,97	0,97
r (temperatura do solo <i>versus</i> umidade relativa do ar)	-0,95	-0,94	-0,93	-0,92	-0,93	-

## 4 Conclusões

A ciclagem de nutrientes nos SAFs avaliados ainda não provê a quantidade de nutrientes para a manutenção das necessidades de produção das culturas. Os valores determinados de densidade do solo foram abaixo dos limites críticos de desenvolvimentos da vegetação, não sendo este, portanto, fator limitante ao seu desenvolvimento. Sistemas com maior teor de argila apresentaram maior retenção da água no período chuvoso e conseguiram manter a umidade no período seco. As condições edáficas são fortemente influenciadas pelo manejo dos SAFs e pela composição e arranjo das espécies inseridas.

## Referências

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.
- ALVES, L. M. *Sistemas agroflorestais (SAFs) na restauração de ambientes degradados*. 2009. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- BARROS, A. V. L.; HOMMA, A. K. O.; TAKAMATSU, J. A.; TAKAMATSU, T.; KONAGANO, M. Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-Açu, estado do Pará. *Amazônia Ciência e Desenvolvimento*, Belém, v. 5, n. 9, p. 121-151, 2009.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, J. A. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- CORDEIRO, A. *Floresta Nacional do Tapajós: plano de manejo*. Brasília, DF: IBAMA, 2004. v. 1.
- CORRÊA, E. F. *Avaliação da decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa de Castanha-do-Brasil (bertholletia excelsa), Cupuaçu (theobroma grandiflorum) e Glicíndia (gliricidia sepium) em um sistema agroflorestal no Estado de Roraima*. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005.
- COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P. Armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 10, n. 2, p. 55-65, 2016.
- CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. D. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. D. O.; SANTOS, G. D. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, Manaus, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.
- DÉRPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.
- FASSBENDER, H. W. Suelos y sistemas de producción agroflorestales: notas del curso. In: SILVA, I. C. *Sistemas agroflorestais: conceitos e métodos*. Itabuna: SBSAF, 2013.
- FERNANDES, D. M.; GROHSCOPF, M. A.; GOMES, E. R.; FERREIRA, N. R.; BULL, L. T. Fósforo na solução do solo em resposta a aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. *Irriga*, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 14-27, 2015. Edição especial.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3fuBvqF>. Acesso em: 12 dez. 2016.
- LOURINHO, M. P.; COSTA, C. A. S.; SOUZA, L. C.; SOUZA, L. C.; OLIVEIRA NETO, C. F. Conjuntura da pimenta-do-reino no mercado nacional e na região norte do Brasil. *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer*, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1016-1031, 2014.
- 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 diferentes tipos de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 19, p. 574-580, 2015.
- MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; MÜLLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.
- MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *CES Revista*, Juiz de Fora, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010.
- MINOSSO, J.; ANTONELLI, V.; FREITAS, A. R. Variabilidade sazonal da infiltração de água em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. *Geographia Meridionalis*, Pelotas, v. 3, n. 1, p. 86-103, 2017.
- OLIVEIRA, G. G.; SILVA, É. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; BARBOSA, S. M.; SILVA, B. M. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 58, n. 4, p. 388-395, 2015.
- PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.
- RAMALHO, M. F. J. L.; GUERRA, A. J. T. Relação entre erosão e deposição, comparando-se tais eventos com a textura de materiais colúvio-aluviais: uma análise preliminar. *Revista Geonorte*, Manaus, v. 5, n. 23, p. 660-664, 2014.
- RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 58, n. 1, p. 45-51, 2015.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.



- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT J. M. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. v. 5, p. 49134.
- ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 108, 2015.
- SACRAMENTO, C. K.; SOUZA, F. X. *Cajá (Spondias mombin L.)*. Jaboticabal: Funep, 2000. 42 p. (Coleção Frutas Nativas 4).
- SANTOS, L. L.; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. *Revista de Ciências Agroambientais*, Alta Floresta, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.
- 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*, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.
- SILVEIRA, D. C.; FONTANELI, R. S.; REBESQUINI, R.; DALL'AGNOL, E.; PANISSON, F. T.; BOMBONATTO, M. C. P.; CEOLIN, M. E. Plantas de cobertura de solo de inverno em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. *Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, Passo Fundo, v. 29, n. 173, p. 18-23, 2020.
- VELOSO, C. A. C.; VIÉGAS, I. J. M.; OLIVEIRA, R. F.; BOTELHO, S. M. *Amostragem de solo e planta para análise química*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. D.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 435-442, 2009.

---

**Contribuição dos autores:** Geny Rocha da Silva realizou a coleta de dados e a escrita científica; Daniela Pauletto deu suporte para a coleta de dados, contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Arystides Resende Silva contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica.

**Agradecimentos:** À Universidade Federal do Oeste do Pará, instituição que promoveu o estudo científico e a disponibilização de seus laboratórios para o uso na pesquisa, e à Embrapa NAPT Santarém por auxiliar com empréstimos de equipamentos para as coletas de dados.

**Fontes de financiamento:** Não houve fonte de financiamento.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.