Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science
http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/
ISSN 2238-8869

Ciclagem de Nutrientes e Estoque de Carbono em Sistema Agroflorestal sob Condições Climáticas do Cerrado

Mayane do Nascimento Lima Leite[1], Ana Paula Veroneze Bueno[2], Maria Jaqueline Modesto Teixeira[3], Daniella Maria Gomes Silva[4], Denise Lima Cavalcante Marinho[5], Matheus Mentone de Britto Siqueira[6], Francine Neves Calil[7], Adão Wagner Pêgo Evangelista[8]

[1] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0009-0009-5648-8117. Email: mayanelimaleite@gmail.com
[2] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0000-0002-0155-0181. Email: ana.veroneze@discente.ufg.br
[3] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0009-0008-3522-4043. Email: teixeiramaria@discente.ufg.br
[4] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0009-0005-7223-9568. Email: daniellamaria@discente.ufg.br
[5] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0000-0003-0714-6857. Email: deniselcaval@gmail.com
[6] Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio. Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0009-0009-1909-6800. Email: matheusmentone@discente.ufg.br
[7] Doutora em Engenharia Florestal. Docente na Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0000-0003-2882-9622. Email: francine@ufg.br
[8] Doutor em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem). Docente na Universidade Federal de Goiás. ORCID: 0000-0002-6499-9306. Email: adao_evangelista@ufg.br

RESUMO
A ciclagem de nutrientes e o estoque de carbono na serapilheira constituem processos importantes para a manutenção da funcionalidade dos sistemas agroflorestais, especialmente sob as condições climáticas do Cerrado. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo quantificar a biomassa de serapilheira e estimar os estoques de nutrientes e carbono em um sistema agroflorestal composto por baru (Dipteryx alata), banana (Musa sp.) e café (Coffea arabica), localizado em Goiânia, Goiás. A serapilheira acumulada foi coletada em outubro de 2023, em 40 pontos amostrais, utilizando-se gabaritos de 0,0625 m², e separada nas frações folha, galho e miscelânea. Após secagem, determinou-se a biomassa seca das frações, e amostras compostas foram submetidas à análise química para determinação das concentrações de macro e micronutrientes. Os estoques de nutrientes foram calculados a partir da biomassa e das respectivas concentrações, e o estoque de carbono foi estimado aplicando-se o fator 0,43 à biomassa seca. As condições meteorológicas do período foram caracterizadas por meio de dados de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A biomassa total de serapilheira acumulada foi de 10.922,40 kg ha^{-1}, com predominância da fração folha (8.938,72 kg ha^{-1}), seguida por miscelânea (1.183,20 kg ha^{-1}) e galho (800,48 kg ha^{-1}). Na fração folha, os maiores estoques de macronutrientes foram observados para N (134,08 kg ha^{-1}), Ca (107,26 kg ha^{-1}) e K (53,63 kg ha^{-1}). O estoque total estimado de carbono na serapilheira foi de 4.696,63 kg C ha^{-1}, concentrado principalmente na fração folha. Os resultados evidenciam a importância da serapilheira como compartimento de biomassa, nutrientes e carbono no sistema agroflorestal estudado.
Palavras-chave: Serapilheira acumulada; ciclagem de nutrientes; estoque de carbono; sistema agroflorestal; Cerrado.

ABSTRACT
Nutrient cycling and carbon stock in litter are important processes for maintaining the functioning of agroforestry systems, particularly under the climatic conditions of the Cerrado. In this context, this study aimed to quantify litter biomass and estimate nutrient and carbon stocks in an agroforestry system composed of baru (Dipteryx alata), banana (Musa sp.), and coffee (Coffea arabica) in Goiânia, Goiás, Brazil. Accumulated litter was collected in October 2023 at 40 sampling points using 0.0625 m² sampling frames and separated into leaf, branch, and miscellaneous fractions. After drying, the dry biomass of each fraction was determined, and composite samples

Submissão: 15/04/2026 Aceite: 03/09/2026 Publicação: 14/11/2026

v.15, n.3, 2026 • p. 207-217. • DOI http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2026v15i3.8791

© 2021 by the authors. Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento. Este manuscrito é distribuído nos termos da licença Creative Commons – Atribuição - NãoComercial 4.0 Internacional (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode), que permite reproduzir e compartilhar o material licenciado, no todo ou em parte, somente para fim não comercial; e produzir, reproduzir, e compartilhar material adaptado somente para fim não comercial.

were subjected to chemical analysis to determine macro- and micronutrient concentrations. Nutrient stocks were calculated from biomass and their respective concentrations, while carbon stock was estimated by applying a factor of 0.43 to dry biomass. Meteorological conditions during the study period were characterized using precipitation, air temperature, relative humidity, and wind speed data. Total accumulated litter biomass was 10,922.40 kg ha^{-1}, with the leaf fraction accounting for the largest amount (8,938.72 kg ha^{-1}), followed by miscellaneous material (1,183.20 kg ha^{-1}) and the branch fraction (800.48 kg ha^{-1}). In the leaf fraction, the highest macronutrient stocks were observed for N (134.08 kg ha^{-1}), Ca (107.26 kg ha^{-1}), and K (53.63 kg ha^{-1}). The estimated total carbon stock in the litter was 4,696.63 kg C ha^{-1}, concentrated mainly in the leaf fraction. The results highlight the importance of litter as a biomass, nutrient, and carbon pool in the agroforestry system studied.
Keywords: Accumulated litter; nutrient cycling; carbon storage; agroforestry system; Cerrado.

Introdução

Atualmente, a busca por sistemas produtivos mais sustentáveis e ambientalmente adequados tem estimulado a adoção e a avaliação de formas diversificadas para o uso da terra, entre as quais se destacam os sistemas agroflorestais, devido ao seu potencial de integrar aspectos produtivos, ambientais e socioeconômicos (Aaron *et al.* 2024). Nesse contexto, a sustentabilidade dos sistemas de produção deve considerar sua eficiência técnica, adequação ambiental, viabilidade econômica e aceitação social (Balbino *et al.* 2011).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) integram componentes agrícolas e florestais em uma mesma área, conciliando a produção de alimentos, energia e serviços ecossistêmicos com a produção florestal, favorecendo a infiltração de água no solo, a recuperação de sua fertilidade, a diminuição da erosão, o sequestro de carbono na biomassa vegetal e a produção local de materiais orgânicos, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, entre outros benefícios (Garcia *et al.* 2021).

A ciclagem de nutrientes via produção e decomposição da serapilheira é um processo importante de transferência desses nutrientes para o solo. Em sistemas consorciados, a decomposição da matéria orgânica é uma forma de sinergismo e complementaridade que ocorre entre os componentes bióticos, beneficiando a ciclagem de nutrientes no sistema e possibilitando maior eficiência no uso dos recursos disponíveis (Abreu *et al.* 2020). A deposição da serapilheira no solo pode sofrer influência de diversos fatores, como o tipo de vegetação, os fatores climáticos, a alternância entre períodos de seca e chuva, o vento, além do arranjo espacial e da idade do componente arbóreo no sistema (Carvalho *et al.* 2019).

Dessa forma, a caracterização das condições meteorológicas, associada à avaliação dos estoques de nutrientes na serapilheira, pode contribuir para o melhor entendimento da dinâmica biogeoquímica e do funcionamento dos sistemas agroflorestais, além de embasar o aprimoramento de práticas de manejo mais adequadas às condições do Cerrado.

Diante desse contexto, considerando a importância da serapilheira para a ciclagem de nutrientes e o estoque de carbono e a necessidade de ampliar o conhecimento sobre esses processos em sistemas agroflorestais no Cerrado, este estudo teve como objetivo quantificar a biomassa de serapilheira e estimar os estoques de nutrientes e carbono em um sistema agroflorestal (SAF) implantado no Cerrado goiano, considerando as condições meteorológicas do período de estudo. O SAF, localizado na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), é composto por baru (*Dipteryx alata*), banana (*Musa* sp.) e café (*Coffea arabica*).

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de sistema agroflorestal, situada na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), no município de Goiânia, Goiás, nas coordenadas geográficas 16°35'58,96" S e 49°16'49,55" O, a 741,48 m de altitude. A região está inserida no bioma Cerrado e apresenta clima tropical sazonal, classificado como Aw segundo Köppen, com médias históricas que caracterizam sua dinâmica climática: precipitação média anual em torno de 1.500 mm, concentrada no verão; temperatura média anual de 22,5 °C (Casaroli *et al.* 2018). O solo é classificado como Latossolo Vermelho, típico do Cerrado, com boa profundidade e drenagem. Para este estudo, foram considerados os dados de precipitação acumulada, temperatura média, umidade relativa do ar e velocidade média do vento, com a finalidade de caracterizar as condições meteorológicas durante o período do estudo.

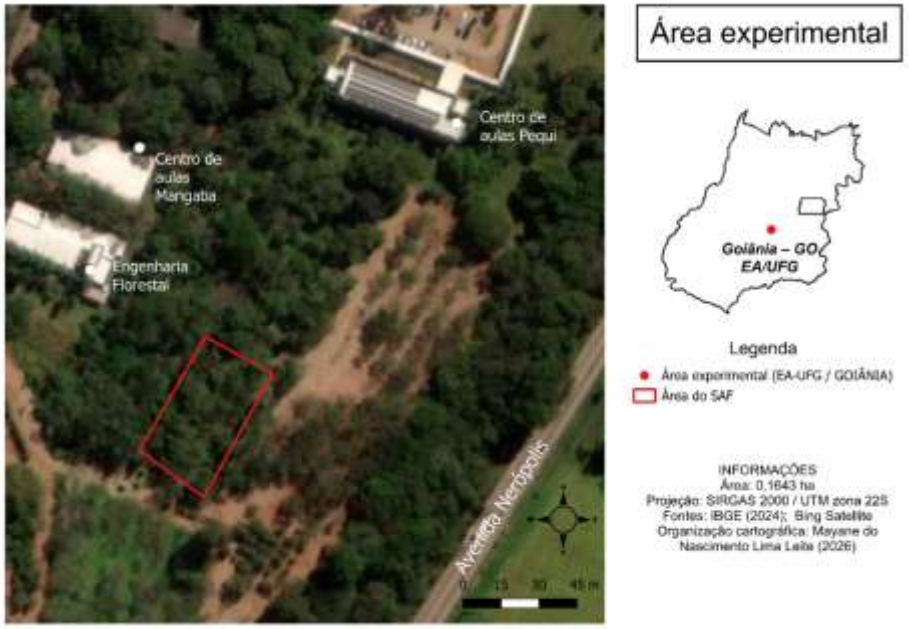


Figura 1 – Localização e delimitação da área experimental na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

O SAF foi estabelecido em 2006, a partir do plantio de espécies agronômicas no interior de um pomar de baruzeiro. O pomar é composto por 84 baruzeiros, distribuídos em seis renques de 14 árvores, com espaçamento de 6 m entre linhas e 3 m entre árvores. Entre 2010 e 2018, foram cultivadas diversas espécies agronômicas utilizadas como plantas de cobertura, como *Cajanus cajan*, *Crotalaria* spp., *Canavalia ensiformis*, *Stylosanthes* spp., *Manihot* sp. e *Megathyrsus maximus*, além de culturas agrícolas, como *Zea mays*, *Pennisetum americanum* e *Vigna unguiculata*. Em 2015, foram inseridas bananeiras (*Musa* sp.) entre os renques de baruzeiros, com espaçamento aproximado de 6 m entre linhas e 2 m entre plantas. Em 2020, foram introduzidas as plantas de café (*Coffea arabica* L.) entre as linhas de baruzeiros e bananeiras, com espaçamento de 3 m entre linhas e 1 m entre plantas (Figura 2). Em 2017, foi realizada a poda dos baruzeiros, com remoção de galhos adjacentes ao tronco principal até a metade da altura total das árvores. Esse manejo resultou na remoção de aproximadamente 50% da copa e no aumento da incidência de luz solar dentro do SAF. Atualmente, as árvores possuem altura média de 9,2 m.

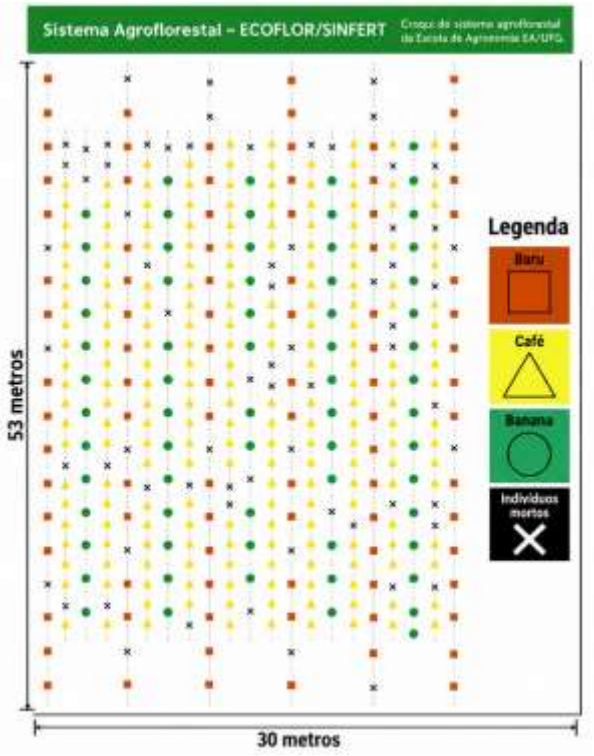


Figura 2 – Arranjo espacial das espécies que compõem o sistema agroflorestal (SAF) em estudo. Fonte: Calil *et al.* (2024).

Caracterização das condições meteorológicas

Considerando que a coleta das amostras foi realizada em 23 de outubro de 2023, foram verificados os registros de precipitação nos dias que antecederam a amostragem. Foram registrados 10,0 mm de precipitação em 20 de outubro e 5,0 mm em 21 de outubro, enquanto nos dias 22 e 23 de outubro não houve registro de precipitação.

Para a caracterização das condições meteorológicas durante o período de estudo, foram utilizados dados da Estação Meteorológica Automática de Goiânia (A002), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de 13 de agosto a 31 de dezembro de 2023. Foram consideradas a precipitação acumulada, a temperatura média do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade média do vento. Os dados foram organizados mensalmente e utilizados de forma descritiva, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições meteorológicas registradas no período de agosto a dezembro de 2023 na Estação Meteorológica Automática de Goiânia (A002)

Período	***Precipitação (mm)***	***Temperatura média do ar (°C)***	***Umidade relativa (%)***	***Velocidade do vento ($m\ s^{-1}$)***
13 a 31/08/23	18,6	24,25	53,09	0,95
Setembro / 2023	37,4	26,98	50,62	0,99
Outubro / 2023	77,6	27,60	58,47	0,88
Novembro / 2023	170,4	27,04	60,38	0,94
Dezembro / 2023	218,4	25,89	67,62	0,86
Total / Média do período	***522,4***	***26,52***	***58,49***	***0,92***

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir de dados da Estação Meteorológica Automática de Goiânia (A002), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes a 2023.

Amostragem

A coleta das amostras de serapilheira foi realizada em 23 de outubro de 2023, totalizando 40 pontos amostrais distribuídos aleatoriamente na área do sistema agroflorestal. Em cada ponto, foi utilizado um gabarito

de 25 x 25 cm (0,0625 m^2), sendo coletado todo o material depositado sobre a superfície do solo no interior da área delimitada pelo gabarito.

As amostras foram acondicionadas individualmente em sacos de papel devidamente identificados e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia de Plantas (Ecoflor), da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG). O material foi seco em estufa com circulação e renovação de ar, a 65 °C, por aproximadamente 72 horas, até atingir massa constante.

Após a secagem, cada amostra foi separada em três frações: folha, galho e miscelânea, sendo esta última constituída por frutos, flores, resíduos de origem animal e outros materiais não identificados. As frações de cada amostra foram pesadas individualmente e, posteriormente, agrupadas por categoria para obtenção de três amostras compostas, correspondentes a folha, galho e miscelânea. Os valores de massa seca foram registrados em planilha.

Estimativa da biomassa, estoque de carbono e CO_2 equivalente

A biomassa seca acumulada da serapilheira foi estimada para cada fração a partir da massa seca média obtida nos 40 pontos amostrais e da área do gabarito utilizado na coleta (0,0625 m^2). Os valores foram convertidos para kg ha^{-1} conforme a Equação 1:

$$Bioac = (Xt \div Ag) \times 10 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:
Bio ac: biomassa acumulada (kg ha^{-1});
Xt = massa do material seco remanescente após secagem (g);
Ag = área do gabarito (m^2).

A partir dos valores de biomassa, o estoque de carbono total na serapilheira para 1 (um) hectare de sistema agroflorestal foi estimado (Equação 2), multiplicando a biomassa seca acumulada de cada fração por 0,43, fator de composição de C (carbono) da biomassa foliar apresentado pelo IPCC[1] (2006), no Volume 4, Capítulo 4, Tabela 4.3. A adoção desse fator foi considerada em razão da predominância da fração folha no material amostrado.

$$Ec = Bioac\ x\ 0{,}43 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:
Ec = estoque de carbono (kg C ha^{-1});
Bio ac = biomassa acumulada (kg ha^{-1}).

O dióxido de carbono equivalente foi calculado a partir do estoque de carbono estimado, utilizando o fator de conversão 44/12 (3,67), baseado na relação entre as massas moleculares do CO_2 e do carbono, conforme a Equação 3 (IPCC 2019). Ou seja, 1 tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_2.

$$Ceq = Ec\ x\ 3{,}67 \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:
Ceq = dióxido de carbono equivalente (kg CO_2 eq ha^{-1});
Ec = estoque de carbono estimado (kg C ha^{-1}).

1 O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é o órgão das Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas. Disponível em: https://www.ipcc.ch/. Acesso em: junho de 2025.

Quantificação de nutrientes na serapilheira

Para a determinação das concentrações de nutrientes na serapilheira, as amostras foram trituradas em moinho de facas tipo *Willey*, no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio), do Setor de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado na Escola de Agronomia, formando amostras compostas correspondentes às frações folha, galho e miscelânea.

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas à Terra Análises para Agropecuária Ltda. para análise química de tecido vegetal, realizada conforme a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Foram determinadas as concentrações dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), expressas em porcentagem (%), e dos micronutrientes, cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), expressas em mg kg^{-1}.

Após a obtenção dos resultados laboratoriais, foram calculados os estoques de nutrientes contidos na biomassa de cada fração da serapilheira. Para os macronutrientes, cujas concentrações foram expressas em porcentagem (%), o estoque foi calculado pela multiplicação da biomassa acumulada da respectiva fração pela concentração do nutriente, dividida por 100, conforme a Equação 4:

$$En = BSA \times Cn / 100 \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:
En = estoque do nutriente (kg ha^{-1});
BSA = biomassa de serapilheira acumulada da respectiva fração (kg ha^{-1});
Cn = concentração do nutriente na matéria seca (%).

Para os micronutrientes, cujas concentrações foram expressas em mg kg^{-1}, os estoques foram calculados considerando a conversão de mg para kg, conforme a Equação 5:

$$En = BSA \times Cn / 1.000.000 \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:
En = estoque do nutriente (kg ha^{-1});
BSA = biomassa de serapilheira acumulada da respectiva fração (kg ha^{-1});
Cn = concentração do nutriente na matéria seca (mg kg^{-1}).

Resultados

Biomassa acumulada

A massa seca total das 40 amostras foi de 2.234,68 g para a fração folha, 200,12 g para a fração galho e 295,82 g para a fração miscelânea, correspondendo a massas secas médias de 55,87 g, 5,00 g e 7,40 g, respectivamente. A biomassa de serapilheira estimada foi de 10.922,40 kg ha^{-1}, com predominância da fração folha, que correspondeu a 8.938,72 kg ha^{-1} (81,8%), seguida pela miscelânea, com 1.183,20 kg ha^{-1} (10,8%), e pela fração galho, com 800,48 kg ha^{-1} (7,3%) (Figura 3).

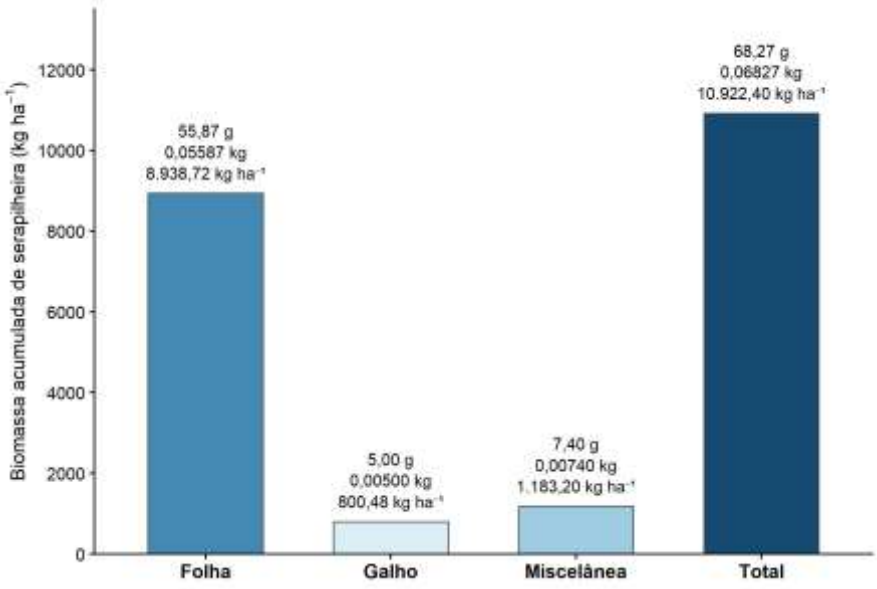


Figura 3 – Biomassa acumulada estimada da serapilheira e de suas frações. Fonte: elaborada pelos autores, 2026.

Estoque de nutrientes

Os estoques de nutrientes apresentaram diferenças entre as frações de serapilheira (Tabela 2). Na fração folha, que apresentou a maior biomassa, os maiores estoques de macronutrientes foram observados para N (134,08 kg ha^{-1}), Ca (107,26 kg ha^{-1}) e K (53,63 kg ha^{-1}), seguidos por Mg (20,56 kg ha^{-1}), P (8,94 kg ha^{-1}) e S (8,04 kg ha^{-1}). Entre os micronutrientes da fração foliar, os maiores estoques foram observados para Fe (8,49 kg ha^{-1}) e Mn (3,24 kg ha^{-1}).

Na fração galho, os maiores estoques foram registrados para Ca (11,21 kg ha^{-1}) e N (8,81 kg ha^{-1}), enquanto na miscelânea predominaram N (9,47 kg ha^{-1}), Ca (6,86 kg ha^{-1}) e K (4,73 kg ha^{-1}).

Tabela 2 – Estoque de nutrientes nas diferentes frações da serapilheira do sistema agroflorestal

Nutriente	***Folha (kg ha^{-1})***	***Galho (kg ha^{-1})***	***Miscelânea (kg ha^{-1})***
Nitrogênio	134,08	8,81	9,47
Fósforo	8,94	0,64	0,95
Potássio	53,63	1,60	4,73
Cálcio	107,26	11,21	6,86
Magnésio	20,56	2,40	1,77
Enxofre	8,04	0,24	0,24
Cobre	0,22	0,03	0,03
Ferro	8,49	1,28	2,13
Manganês	3,24	0,12	0,22
Zinco	0,86	0,06	0,12

Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

Estoque de carbono, CO_2 equivalente e relação C:N

O estoque total de carbono estimado na serapilheira foi de 4.696,63 kg C ha^{-1}, correspondendo a 17.236,64 kg CO_2 eq ha^{-1}. A maior contribuição para esses estoques foi proveniente da fração folha, por sua maior participação na biomassa acumulada. A relação C:N estimada foi de 28,67 na folha, 39,09 no galho e 53,73 na miscelânea, enquanto o valor calculado para o conjunto da serapilheira foi de 30,82 (Tabela 3).

Tabela 3 – Biomassa acumulada, estoque de carbono, CO_2 equivalente e relação C:N nas frações da serapilheira

Fração	***Biomassa (kg ha^{-})***	***Carbono (kg ha^{-})***	***CO_2 eq (kg ha^{-})***	***Relação C:N***
Folha	8.938,72	3.843,65	14.106,19	28,67
Galho	800,48	344,21	1.263,24	39,09
Miscelânea	1.183,20	508,78	1.867,21	53,73
TOTAIS	10.922,40	4.696,63	17.236,64	30,82

Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

Discussão

Os resultados indicam predominância da fração folha na serapilheira acumulada, correspondendo a 81,8% da biomassa total, o que reflete a importância dessa fração para a ciclagem de nutrientes e o aporte de matéria orgânica ao solo na área de estudo. Essa fração também concentrou os maiores estoques de nutrientes, com destaque para nitrogênio, cálcio e potássio. O comportamento observado é compatível com a importância das folhas na transferência de nutrientes entre a vegetação e o solo, uma vez que a deposição e a decomposição da serapilheira constituem importantes mecanismos de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais e agroflorestais (Giweta 2020). Ribeiro *et al.* (2017) observaram, em formações florestais do Cerrado, participação elevada de N e Ca na composição nutricional da serapilheira, embora a ordem de concentração dos nutrientes tenha variado entre as fitofisionomias e as estações do ano. Dessa forma, a compartimentalização da biomassa observada neste estudo constitui um reservatório temporário de nutrientes, cuja liberação para o sistema ocorre gradualmente durante o processo de decomposição da serapilheira (Pimenta *et al.* 2011).

O padrão de distribuição dos macronutrientes na fração folha apresentou a seguinte ordem decrescente: N > Ca > K > Mg > P > S. Os maiores estoques foram observados para N e Ca, seguidos por K, o que é similar aos padrões observados em outros estudos de serapilheira em formações florestais e sistemas agroflorestais. Ao avaliarem os estoques de nutrientes na serapilheira em diferentes fitofisionomias do Cerrado no Distrito Federal, durante o período chuvoso, Ribeiro *et al.* (2017) observaram a sequência N > Ca > K > Mg > S > P na mata de galeria e em povoamento de eucalipto. No Cerrado de Goiás, Carvalho *et al.* (2019) também observaram diferenças na distribuição de nutrientes entre os tipos de vegetação e frações da serapilheira, demonstrando que a composição nutricional desse material pode variar em função das características da vegetação. Essas variações podem estar relacionadas às características nutricionais do material vegetal, à composição das espécies e às diferenças na absorção, utilização e redistribuição dos nutrientes pelas plantas. Assim, o padrão observado no SAF composto por baru (*Dipteryx alata*), banana (*Musa* sp.) e café (*Coffea arabica*) evidencia a importância da diversidade das espécies vegetais na composição nutricional da serapilheira e no retorno potencial de nutrientes ao sistema.

A diferença observada nos estoques de nutrientes entre as frações da serapilheira pode estar relacionada às características do material vegetal que compõe o sistema agroflorestal, formado por espécies como baru, banana e café. A diversidade de componentes vegetais favorece a formação de uma serapilheira heterogênea quanto à composição e à qualidade do material acumulado, podendo resultar em diferentes padrões de acúmulo e ciclagem de nutrientes. A decomposição e a liberação de nutrientes da serapilheira são reguladas por diversos fatores, entre eles a composição química do material, os fatores ambientais e a atividade dos organismos decompositores (Giweta 2020). Dessa forma, as diferenças observadas entre as frações folha, galho e miscelânea no presente estudo reforçam a importância de considerar a composição das frações da serapilheira na avaliação da ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais.

A fração folha, por constituir a maior fração da serapilheira, também concentrou o maior estoque de carbono estimado, correspondendo a 3.843,65 kg C ha^{-1}. Além de exercer a função de reserva temporária de carbono e nutrientes, a camada de serapilheira atua na relação solo-atmosfera, contribuindo para a proteção da superfície do solo e para a manutenção da matéria orgânica. Em sistemas de integração, o acúmulo e a decomposição desse material representam importantes mecanismos de transferência de carbono e nutrientes entre a vegetação e o solo. Tapia-Coral *et al.* (2005), ao avaliarem estoques de carbono e de nutrientes na serapilheira em sistemas agroflorestais na Amazônia Central, também destacaram a importância desse compartimento na dinâmica do carbono e dos nutrientes. Nesse sentido, a predominância da fração folha observada no presente estudo reforça sua relevância como componente da serapilheira e como reservatório temporário de carbono e nutrientes no SAF.

A relação C:N estimada também diferiu entre as frações da serapilheira, apresentando valores de 28,67 na folha, 39,09 no galho e 53,73 na miscelânea. Essa relação constitui um importante indicador da qualidade do material vegetal e do potencial de decomposição e disponibilização de nitrogênio, uma vez que a proporção entre carbono e nitrogênio influencia a atividade dos organismos decompositores e os processos de mineralização e imobilização de N. De modo geral, materiais com menor relação C:N apresentam condições mais favoráveis à decomposição e à mineralização do nitrogênio, enquanto relações mais elevadas podem favorecer a imobilização microbiana e limitar temporariamente sua disponibilização (Pei *et al.* 2019). Portanto, a menor relação C:N observada na fração folha sugere maior potencial de decomposição e ciclagem de N em comparação com as demais frações, enquanto os maiores valores observados no galho e, principalmente, na miscelânea indicam materiais potencialmente menos favoráveis à rápida disponibilização desse nutriente.

Entretanto, essa interpretação representa um potencial associado à composição do material, uma vez que a taxa de decomposição e a dinâmica de mineralização do N não foram determinadas diretamente neste estudo.

A fração miscelânea, constituída por frutos, flores, resíduos de origem animal e outros materiais não identificados, apresentou composição distinta das demais frações. Embora tenha apresentado menor participação na biomassa acumulada em comparação com a folha, contribuiu para o estoque de macro e micronutrientes no sistema. A heterogeneidade dos materiais que compõem essa fração pode resultar em características químicas e padrões de decomposição distintos, uma vez que a qualidade do material vegetal constitui um dos fatores determinantes da dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes (Giweta 2020). Assim, a participação da miscelânea amplia a diversidade de materiais orgânicos presentes sobre o solo e integra a dinâmica de ciclagem de nutrientes no sistema.

O estoque de carbono estimado na serapilheira foi de 4.696,63 kg C ha^{-1}, correspondente a 17.236,64 kg CO_2 eq ha^{-1}, evidenciando a contribuição desse compartimento como reservatório temporário de carbono no SAF. Embora represente apenas uma parcela do carbono armazenado no sistema, a serapilheira compõe um elo importante entre a biomassa acumulada e o solo, pois parte do carbono presente no material depositado pode ser incorporado à matéria orgânica do solo durante o processo de decomposição. A distribuição do carbono entre biomassa arbórea, serapilheira e solo em sistemas agroflorestais varia em função da composição, idade e manejo do sistema, destacando a importância da avaliação conjunta desses compartimentos (Lenci *et al.* 2022). Dessa forma, os valores obtidos neste estudo devem ser interpretados como o estoque de carbono estimado e o CO_2 equivalente na serapilheira acumulada no momento da amostragem, não correspondendo ao estoque total de carbono ou ao sequestro de carbono de todo o sistema agroflorestal.

A distribuição do carbono entre as frações da serapilheira acompanhou diretamente a participação de cada uma delas na biomassa acumulada, uma vez que o estoque de carbono foi estimado a partir da biomassa seca. Nesse contexto, a predominância da fração folha resultou em sua maior contribuição para o estoque estimado de carbono, enquanto galho e miscelânea apresentaram participações proporcionalmente menores. Essa distribuição reforça a importância de considerar a composição da serapilheira na interpretação dos estoques de carbono em sistemas agroflorestais. Além da quantidade de material acumulado, as diferenças na relação C:N entre as frações indicam características qualitativas distintas dos resíduos presentes sobre o solo. A associação entre quantidade e qualidade do material é relevante para a compreensão da dinâmica desse compartimento, uma vez que a decomposição da serapilheira participa da transferência de carbono e nutrientes para o solo (Giweta 2020). Entretanto, o estoque observado representa uma condição específica no momento da amostragem e não permite determinar diretamente a permanência do carbono nesse compartimento. Conforme destacado por Lenci *et al.* (2022), a avaliação do carbono em sistemas agroflorestais envolve diferentes compartimentos, incluindo biomassa arbórea, serapilheira e solo. Assim, a quantificação realizada neste estudo contribui para caracterizar especificamente o compartimento serapilheira, fornecendo uma base para avaliações futuras que integrem outros reservatórios de carbono e amostragens em diferentes períodos do ano.

A manutenção da serapilheira sobre a superfície do solo constitui uma função relevante nos sistemas agroflorestais, pois atua na proteção física do solo e participa da ciclagem de nutrientes, além de favorecer a manutenção da matéria orgânica. A diversidade de componentes vegetais no sistema também favorece a formação de resíduos com características químicas e estruturais diversas, resultando em maior heterogeneidade da biomassa acumulada. Além da ciclagem de nutrientes, a presença da serapilheira pode auxiliar na manutenção da umidade e na proteção contra processos erosivos, características importantes em ambientes sujeitos à sazonalidade climática, como o Cerrado (Nair 2011; Altieri 2012). No SAF avaliado, os estoques de nutrientes e de carbono encontrados na serapilheira evidenciam a relevância desse compartimento na dinâmica biogeoquímica do sistema; entretanto, estudos com amostragens sazonais e avaliações da decomposição são necessários para determinar como esses estoques variam ao longo do tempo e em resposta às variações climáticas e ambientais.

Considerações Finais

A serapilheira acumulada no sistema agroflorestal apresentou predominância da fração folha, que também concentrou a maior parcela dos estoques de carbono e de nutrientes. Entre os macronutrientes, o destaque foi para os estoques de nitrogênio, cálcio e potássio, evidenciando a importância da serapilheira como compartimento de nutrientes no sistema.

Os valores observados para a relação C:N entre folha, galho e miscelânea indicam características qualitativas distintas entre as frações e diferentes potenciais de decomposição e disponibilização de nitrogênio.

Entretanto, como a decomposição e a mineralização não foram avaliadas diretamente, esses resultados devem ser interpretados como indicadores do comportamento potencial das frações.

O estoque de carbono na serapilheira foi estimado em 4.696,63 kg C ha^{-1}, correspondendo a 17.236,64 kg ha^{-1} de CO_2 equivalente. Esses resultados evidenciam a contribuição da serapilheira como compartimento temporário de carbono no sistema agroflorestal, sem representar, contudo, o estoque total ou o sequestro de carbono de todo o sistema.

De forma conjunta, os resultados demonstram o papel da serapilheira na ciclagem de nutrientes e na dinâmica biogeoquímica do sistema composto por baru, banana e café. Estudos com amostragens em diferentes períodos do ano, associados à avaliação das taxas de decomposição e das transformações do carbono e dos nutrientes, poderão ampliar a compreensão desses processos e de sua relação com as condições climáticas e ambientais no Cerrado.

Referências

Aaron W, Riar A, Saj S, Armengot L, Cicek H, Kiboi M, Singh A, Grass I, Cotter M 2024. The ecological and socioeconomic sustainability of organic agroforestry: a systematic review. *Agroforestry Systems* 98:2933–2949. DOI: 10.1007/s10457-024-01064-w.

Abreu KM, Ferreira JLS, Vasconcelos WA, Calil FN, Silva-Neto CM 2020. Biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em diferentes idades. *Revista Magistra* 31:736–748. Disponível em: https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4400. Acesso em: maio 2025.

Altieri MA 2012. *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável*. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular. 400 p.

Balbino LC, Barcellos AO, Stone LF (eds.) 2011. *Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 130 p. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf. Acesso em: maio 2025.

Calil FN, Collier LS, Chagas MP 2024. *Biomassa e carbono no componente arbóreo (Dipteryx alata Vogel) em um sistema agroflorestal*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Goiás.

Casaroli D, Rodrigues TR, Martins APB, Evangelista AWP, Alves Júnior J 2018. Padrões de chuva e de evapotranspiração em Goiânia, GO. Revista Brasileira de Meteorologia 33(2):247–256. DOI: 10.1590/0102-7786332004.

Carvalho HC de S, Ferreira JLS, Calil FN, Silva-Neto CM 2019. Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal – ENFLO* 7:e06. DOI: 10.5902/2316980X37296. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/enflo/article/view/37296. Acesso em: dez. 2023.

Garcia LT, Paulus LAR, Fernandes SSL, Arco-Verde MF, Padovan MP, Pereira ZV 2021. Viabilidade financeira de sistemas agroflorestais biodiversos no Centro-Oeste brasileiro. *Research, Society and Development* 10(4):e47210413682. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13682. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13682. Acesso em: jun. 2025.

Giweta M 2020. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment* 44:11. DOI: 10.1186/s41610-020-0151-2.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia 2025. Dados da Estação Meteorológica Automática de Goiânia (A002). Instituto Nacional de Meteorologia.

IPCC 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC 2019. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Lenci LHV, Tsukamoto Filho AA, Weber OLS, Honoré EAD, Caldeira SF, Bortolini J 2022. Estoque de carbono da biomassa arbórea, serapilheira e solo em sistemas agroflorestais com seringueira. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 17(3):e2406. DOI: 10.5039/agraria.v17i3a2406.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 319 p.

Nair PKR 2011. Agroforestry systems and environmental quality: introduction. *Journal of Environmental Quality* 40(3):784–790. DOI: 10.2134/jeq2011.0076.

Pei G, Liu J, Peng B, Gao D, Wang C, Dai W, Jiang P, Bai E 2019. Nitrogen, lignin, C/N as important regulators of gross nitrogen release and immobilization during litter decomposition in a temperate forest ecosystem. *Forest Ecology and Management* 440:61–69. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.03.001.

Pimenta JA, Rossi LB, Torezan JMD, Cavalheiro AL, Bianchini E 2011. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 25(1):53–57. DOI: 10.1590/S0102-33062011000100008.

Ribeiro FP, Bussinguer AP, Hodecker BER, Gatto A 2017. Conteúdo de nutrientes na serapilheira em três fisionomias do Cerrado do Distrito Federal. *Pesquisa Florestal Brasileira* 37(92):465–473. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.92.1312.

Tapia-Coral SC, Luizão FJ, Wandelli E, Fernandes ECM 2005. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agroforestry Systems* 65(1):33–42. DOI: 10.1007/s10457-004-5152-0.