

Decomposition of green manure biomass in dystrophic Yellow Latosol in Piauí state, Brazil

Decomposição da biomassa de adubos verdes em Latossolo Amarelo distrófico no Piauí, Brasil

Mauro Sergio Teodoro^{1*}, Henrique Antunes de Souza², Braz Henrique Nunes Rodrigues³, Francisco José de Seixas Santos³

Abstract: Although most research demonstrates the importance of green manure, some aspects have yet to be elucidated. Thus, the present study aimed to determine the biomass decomposition pattern of plants used as green manure in dystrophic Yellow Latosol (coastal caatinga phase), under a dry megathermal climate, with a small water surplus. A completely randomized design was used, with nineteen treatments and four repetitions. The decomposition constant (k), remaining dry biomass and half-life ($T_{1/2}$) of the residue after 120 days in the field were assessed. Cowpea, jack bean and sunflower (cv. Catissol and IAC Uruguai) are rapidly decomposing species with a half-life ranging from 98 to 112 days to decompose 50% of biomass. Dwarf pigeon pea, crotalaria juncea, sorghum 1 and siratro are slow-decomposing species, with a 315 to 630-day half-life to decompose 50% of biomass. Both groups are recommended for intercropping because the decomposition rate of their plant residue is compatible with soil protection and nutrient supply, in addition to being sync with the nutrient requirements of cash crops.

Key words: Decomposition constant. Remaining dry biomass. Legumes. Plant residue. Half-life.

Resumo: Embora a maioria dos estudos evidencie a importância da adubação verde, existem aspectos ainda carentes de respostas por parte das pesquisas. Assim, objetivou-se com o presente trabalho determinar o padrão de decomposição da biomassa de plantas utilizadas como adubos verdes em Latossolo Amarelo distrófico, fase caatinga litorânea, sob influência de clima subúmido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico. O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e dezenove tratamentos. Avaliaram-se: constante de decomposição (k), quantidade de biomassa seca remanescente e tempo de meia vida ($T_{1/2}$) dos resíduos após 120 dias de permanência no campo. Feijão-caupi, feijão-de-porco, girassol Catissol e girassol IAC Uruguai compõem o grupo das espécies de decomposição rápida, com tempo de meia-vida variando de 98 a 112 dias para decompor 50% da biomassa. Guandu-anão, crotalaria juncea, sorgo 1 e siratro compõem o grupo das espécies de decomposição lenta, com tempo de meia-vida alto, variando de 315 a 630 dias para decompor 50% da biomassa. Esses dois grupos podem ser recomendados em cultivo consorciado, pois podem propiciar velocidade de decomposição dos resíduos compatível com a proteção do solo e com o fornecimento de nutrientes em sincronia com a demanda das culturas comerciais.

Palavras-chave: Constante de decomposição. Fitomassa remanescente. Leguminosa. Resíduo vegetal. Tempo de meia-vida.

*Corresponding author

Submitted for publication on 11/03/2019 and approved 18/08/2019

¹Analyst; Embrapa Tabuleiros Costeiros; Av. Beira Mar, 3250 – Jardins, Aracaju-SE, CEP 49040-490; mauro-sergio.teodoro@embrapa.br

²Researcher; Embrapa Meio-Norte; Av. Duque de Caxias, 5650 – Buenos Aires, Teresina-PI, CEP 64006-245; Henrique.souza@embrapa.br

³Researcher; Embrapa Meio-Norte; BR 343, Km 35, CX Postal 341, Parnaíba-PI, CEP 64200-970; braz.rodrigues@embrapa.br, francisco.seixas@embrapa.br

INTRODUCTION

Managing agroecosystems is important because they must be balanced in order to be productive, competitive and sustainable in the long term (CALEGARI, 2014).

Historical records indicate that ancient civilizations such as the Romans, Greeks and Chinese successfully used green manure (FLORENTÍN *et al.*, 2011), which contributes to maintaining and improving the physical (BASCH *et al.*, 2012), chemical and biological attributes of the soil (DELARMELINDA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

The biomass of this plant residue helps conserve tropical soils and favors a long-term increase in organic matter content (LIMA *et al.*, 2012); however, field studies on the decomposition of straw from plants used as green manure in the hottest regions of the country, such as Piauí state, are scarce.

Climate in the area is characterized as megathermal, dry and sub-humid, with a small water surplus (BASTOS *et al.*, 2018), predominantly sandy soils with low organic matter content and cation exchange capacity (CEC), a long dry season and constant wind (MEHL *et al.*, 2010). According to the aforementioned authors, organic matter added to the soil decomposes quickly under these conditions.

Using green manure to produce sufficient amounts of biomass to provide year-long soil cover is vital to the sustainability of agricultural systems (GIONGO *et al.*, 2011), but it is important to know its half-life in the environment and the dynamics of its nutrient release to ensure a sustainable production system.

Grasses produce a large amount of biomass and their high carbon-to-nitrogen (C/N) ratio means they decompose relatively slowly, contributing to persistent soil cover (CALVO *et al.*, 2010). Additionally, the nitrogen (N) fixing capacity of legumes results in a high N content, typically with a low C/N ratio and relatively fast decomposition.

Green manure is important to maintaining and improving soil quality in agricultural systems (AITA *et al.*, 2014); However, its half-life in the soil and nutrient release rate are related to its decomposition rate, which is governed by the intrinsic characteristics of the plant species, how they are managed, and the soil and climate conditions, such as temperature and moisture.

INTRODUÇÃO

O manejo de agroecossistemas, em que os mais diversos sistemas de produção são equilibrados para serem produtivos, além de competitivos e sustentáveis ao longo do tempo, faz-se necessário (CALEGARI, 2014).

Comprovações históricas demonstram que antigas civilizações, tais como romanos, gregos, chineses e outros povos da Antiguidade, utilizavam a prática da adubação verde com sucesso (FLORENTÍN *et al.*, 2011). O uso dessa atividade contribui para a manutenção e melhoria dos atributos físicos (BASCH *et al.*, 2012), químicos e biológicos do solo (DELARMELINDA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A biomassa desses materiais vegetais contribui para a conservação dos solos tropicais, favorecendo também, em longo prazo, o incremento nos teores de matéria orgânica desses solos (LIMA *et al.*, 2012). Entretanto, são poucos os estudos de campo sobre a decomposição da palhada acumulada por plantas utilizadas como adubos verdes nas regiões mais quentes do país, principalmente no estado do Piauí.

Nesta região, onde o clima é caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico (BASTOS *et al.*, 2018), há o predomínio de solos com textura arenosa, com baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica (CTC); com longo período de déficit hídrico e vento constante (MEHL *et al.*, 2010). De acordo com os autores, nessas condições ocorre rápida decomposição do material orgânico adicionado ao solo.

A utilização da adubação verde com objetivo de gerar quantidades de biomassa seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano é essencial para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (GIONGO *et al.*, 2011). No entanto, segundo os autores, é importante que se conheça o tempo de permanência desses resíduos no ambiente e a dinâmica de liberação dos nutrientes presentes em sua biomassa para o sucesso de um sistema sustentável de produção.

As gramíneas contribuem com elevada quantidade de biomassa e, devido à alta relação entre carbono e nitrogênio (C/N), o seu processo de decomposição é relativamente lento, contribuindo para a persistência da cobertura do solo (CALVO *et al.*, 2010). Ainda segundo os autores, as leguminosas, por fixarem o nitrogênio (N) atmosférico, possuem altos teores de N na matéria vegetal, e os restos vegetais geralmente têm baixa relação C/N, com decomposição relativamente acelerada.

O uso da adubação verde em sistemas agrícolas é importante à manutenção e melhoria da qualidade do solo (AITA *et al.*, 2014). Porém, os autores associam a permanência dos resíduos culturais dos adubos verdes no solo após o manejo, bem como a velocidade de liberação de nutrientes à sua taxa de decomposição, a qual é condicionada pelas características intrínsecas das espécies vegetais, pela forma como elas são manejadas e pelas condições edafoclimáticas, principalmente temperatura e umidade.

Although most studies demonstrate the importance of green manure for protecting against soil erosion, carbon addition, increased nitrogen content and nutrient cycling, among other benefits, aspects such as plant residue decomposition have yet to be elucidated. Thus, the present study aimed to determine the decomposition pattern of the biomass produced by green manure species in dystrophic yellow latosol in Piauí state (PI).

MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted from May to September 2016, in the experimental field belonging to Embrapa Meio-Norte, located in the municipality of Parnaíba (PI) (03°05' S; 41°46' W), at an altitude of 46.8 m. The climate in the region is characterized as megathermal, dry and sub-humid, with a small water surplus and evaporation potential of 29.7% in October/November/December, relative humidity of 68.7%, and average annual rainfall and temperature of 878 mm and 28.7 °C, respectively (BASTOS *et al.*, 2018).

The soil in the study area was described as medium-grained dystrophic yellow latosol of the coastal caatinga phase (MELO *et al.*, 2004). Simple soil samples were collected from the 0 to 0.25 m layer at different points in the experimental area, combined to form a compound sample and submitted to chemical and physical characterization. The results of the chemical analysis were: pH (in water) = 6.38; P = 15.32 mg dm⁻³; K⁺ = 0.23 cmol_c dm⁻³; Na = 0.09 cmol_c dm⁻³; Ca⁺⁺ = 3.90 cmol_c dm⁻³; Mg⁺⁺ = 0.54 cmol_c dm⁻³; Al⁺⁺⁺ = 0.03 cmol_c dm⁻³; H + Al = 1.46 cmol_c dm⁻³; N = 0.05 dag kg⁻¹; MO = 1.40 dag kg⁻¹; CEC = 6.22 dag kg⁻¹. Physical analysis classified the soil as sandy loam.

Data on rain, temperature and sunlight levels (Figure 1) during the study period were recorded by the National Institute of Meteorology (INMET) weather station located in the experimental field and provided by Bastos *et al.*, 2018.

The experiment was carried out in an area used to assess the adaptation of legumes (annual and perennial) and grasses to the soil and climate conditions in the Brazilian Midnorth (Meio-Norte) region, which has not been submitted to chemical fertilizers or liming in the last 6 years.

Embora a maioria dos estudos evidencie a importância dos adubos verdes para a proteção do solo contra a erosão, adição de carbono, incremento de nitrogênio e ciclagem de nutrientes, entre outros benefícios, há aspectos, como o padrão de decomposição dos resíduos gerados, em que a pesquisa ainda precisa apresentar respostas. Assim, objetivou-se determinar o padrão de decomposição da biomassa produzida por espécies de adubos verdes em Latossolo Amarelo distrófico no estado do Piauí.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de maio a setembro de 2016, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, no município de Parnaíba-PI (03°05' S; 41°46' W) com 46,8 m de altitude. O clima da região é caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico e uma concentração de 29,7% de evapotranspiração potencial no trimestre outubro/novembro/dezembro, com umidade média relativa do ar de 68,7%, precipitação média de 878 mm e temperatura média de 28,7 °C (BASTOS *et al.*, 2018).

O solo da área experimental foi descrito como Latossolo Amarelo distrófico de textura média, fase caatinga litorânea (MELO *et al.*, 2004). As amostras simples de solo foram coletadas em pontos diversos da área experimental, na camada de 0 a 0,25 m, uniformizadas para obtenção de amostra composta, e realizada a caracterização química e física. O resultado da análise química foi: pH (em água) = 6,38; P = 15,32 mg dm⁻³; K⁺ = 0,23 cmol_c dm⁻³; Na = 0,09 cmol_c dm⁻³; Ca⁺⁺ = 3,90 cmol_c dm⁻³; Mg⁺⁺ = 0,54 cmol_c dm⁻³; Al⁺⁺⁺ = 0,03 cmol_c dm⁻³; H + Al = 1,46 cmol_c dm⁻³; N = 0,05 dag kg⁻¹; MO = 1,40 dag kg⁻¹; CTC = 6,22 dag kg⁻¹. Quanto à análise física, este solo foi classificado como areia franca.

Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura e insolação (Figura 1) referentes ao período de condução do experimento foram registrados pela estação climatológica do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizada no Campo Experimental e disponibilizados por Bastos *et al.*, 2018.

O experimento foi realizado em área destinada a avaliar a adaptação de leguminosas (anuais e perenes) e gramíneas, frente às condições edafo-climáticas da região Meio-Norte. Nessa área, não foi utilizada adubação química e calagem nos últimos 6 anos.

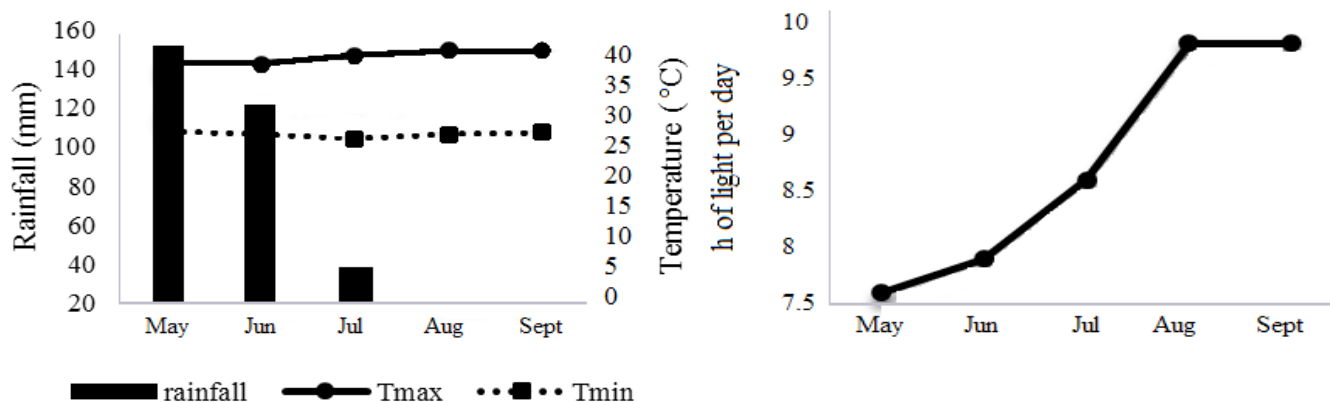


Figure 1 – Average rainfall, temperature and sunlight levels in Parnaíba (PI), 2016.

Figura 1 - Médias de precipitação pluvial, temperatura e insolação em Parnaíba (PI), 2016.

A completely randomized design was used, with 19 treatments and 4 repetitions. The annual species used in the treatments were: T1 – Dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan* IAPAR 43); T2 – Sorghum 1 (*Sorghum bicolor* L.); T3 – *Crotalaria mucronata* (*Crotalaria mucronata*); T4 – *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea*); T5 – Jack bean (*Canavalia ensiformis* L.); T6 – Black velvet bean (*Mucuna pruriens*); T7 – *Crotalaria breviflora* (*Crotalaria breviflora*); T8 – Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.); T9 – Cowpea BRS Guariba (*Vigna unguiculata*); T10 – Grey velvet bean (*Mucuna pruriens*); T11 – Sorghum 2 (*Sorghum bicolor* L.); T12 – *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis*); T13 – Pigeon pea (*Cajanus cajan*) cv. Fava larga; T14 – *Crotalaria ochroleuca* (*Crotalaria ochroleuca*); T15 – White tephrosia (*Tephrosia candida*); T16 – Siratro (*Macroptilium atropurpureum*); T17 – Sunflower cv. Catissol (*Helianthus annuus* L.); T18 – Dwarf velvet bean (*Mucuna deeringiana*); T19 – Sunflower cv. IAC Uruguai (*Helianthus annuus* L.).

The species used as green manure were grown in 2.0 x 2.0 m plots consisting of 5 rows spaced 0.50 m apart, which were manually weeded twice. Sprinkler irrigation was performed every 2 days for an average of 1 h. At 60 days after planting (DAP), all plants were cut to a height of 0.05 m using pruning shears. The plant material was collected in paper bags and dried in a forced-air oven at 65 °C for 48 h, until constant weight.

The plant residue decomposition rate was determined using 0.2 x 0.2 m (0.04 m²) 2 mm-mesh litter bags handmade from polyethylene shade cloth, which allow colonization by microorganisms and some invertebrates. Each litter bag was filled with approximately 20 g of dried plant material (5,000 kg ha⁻¹).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 19 tratamentos e 4 repetições. As espécies anuais utilizadas nos tratamentos foram: T1 – Guandu-anão (*Cajanus cajan* IAPAR 43); T2 – Sorgo 1 (*Sorghum bicolor* L.); T3 – Crotalaria mucronata (*Crotalaria mucronata*); T4 – Crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*); T5 – Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.); T6 – Mucuna-preta (*Mucuna pruriens*); T7 – Crotalaria breviflora (*Crotalaria breviflora*); T8 – Milheto (*Pennisetum glaucum* L.); T9 – Feijão-caupi BRS Guariba (*Vigna unguiculata*); T10 – Mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); T11 – Sorgo 2 (*Sorghum bicolor* L.); T12 – Crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis*); T13 – Guandu (*Cajanus cajan*) Fava larga; T14 – Crotalaria ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*); T15 – Tefrósia (*Tephrosia candida*); T16 – Siratro (*Macroptilium atropurpureum*); T17 – Girassol Catissol (*Helianthus annuus* L.); T18 – Mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*); T19 – Girassol IAC Uruguai (*Helianthus annuus* L.).

As espécies utilizadas como adubo verde foram cultivadas em parcelas de 2,0 x 2,0 m, contendo 5 fileiras de plantas com espaçamento de 0,50 m. Foram realizadas duas capinas manuais. A irrigação foi realizada por aspersão, com turno de rega de 2 dias e duração média de 1 h. Aos 60 dias após o semeio, todas as espécies foram cortadas a 0,05 m do solo com o uso de tesoura de poda. O material botânico foi colocado em sacos de papel para serem secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C, por 48 h, até atingir peso constante.

Para determinar a velocidade de decomposição dos resíduos foram utilizadas sacolas de tela de náilon (*litter bags*), que permitem a colonização por microrganismos e alguns invertebrados, com dimensões de 0,2 x 0,2 m (0,04 m²) e malha de 2 mm, confeccionadas manualmente com tela de polietileno do tipo sombrite. Cada sacola de decomposição recebeu uma quantidade de aproximadamente 20 g do material vegetal seco em estufa (5.000 kg ha⁻¹).

The bags were then distributed across the surface of the plots and removed for assessment after 30, 60, 90 and 120 days. The study was conducted during the dry season in the region (May to September, average of 62.1 mm), with an average temperature of 36.1 °C. The remaining material in each bag was dried in a forced-air oven at 65 °C and the biomass quantified.

The decomposition constant (k) was calculated by adjusting the simple exponential equations used by Rezende *et al.* (1999): $X = X_0 e^{-kt}$, where X is the amount of dry biomass remaining (g m⁻²) after time t, in days; X₀ the dry biomass at the onset of decomposition (g m⁻²); and k the decomposition constant. The decomposition constant, or k value, can be calculated by rearranging this equation: $k = \ln (X / X_0) / t$.

Half-life is an important indicator in assessing the dynamics of plant residue decomposition and represents the time needed for 50% of the initial dry matter to decompose, or for half of the nutrients in the residue to be released. According to Rezende *et al.* (1999), half-life can be determined using the equation: $T_{1/2} = \ln (2) / k$, where T_{1/2} is the half-life of the dry matter or nutrient, ln (2) a constant value and k the decomposition constant.

The F-test was applied at 5% significance for analysis of variance of the decomposition rates, using Sigma Plot software and the second-order exponential model. R software was used in cluster analysis (2019).

As sacolas do tipo *little bags* foram distribuídas sobre a superfície do solo nas parcelas de origem no campo, sendo retiradas para avaliação aos 30, 60, 90 e 120 dias da instalação no campo. O estudo ficou concentrado numa época de baixa precipitação pluvial na região (maio a setembro), com média de 62,1 mm, e média de temperatura de 36,1 °C durante o período. O material remanescente em cada sacola foi seco em estufa de ventilação forçada a 65 °C, e quantificada a massa remanescente.

Para a determinação da constante de decomposição (k), foram ajustadas equações exponenciais simples, utilizadas por Rezende *et al.* (1999): $X = X_0 e^{-kt}$, em que X é a quantidade de biomassa seca remanescente (g m⁻²), após um período de tempo t, em dias; X₀ é a biomassa seca no início da decomposição (g m⁻²); e k é a constante de decomposição. Reorganizando os termos dessa equação, é possível calcular a constante de decomposição, ou valor $k = \ln (X / X_0) / t$.

Considera-se que o tempo de meia-vida é um indicador importante na avaliação da dinâmica de decomposição de resíduos vegetais, expressando o período de tempo necessário para que o material decaia através da decomposição a 50% de sua massa seca inicial, ou para que metade dos nutrientes contidos nesses resíduos seja liberada. De acordo com Rezende *et al.* (1999), é possível calcular o tempo de meia-vida pela equação: $T_{1/2} = \ln (2) / k$, em que T_{1/2} é o tempo de meia-vida de matéria seca ou nutriente; ln (2) é um valor constante; e k é a constante de decomposição descrita anteriormente.

Na análise de variância das taxas de decomposição, aplicou-se o teste F, com 5% de significância, recorrendo-se ao Software Sigma Plot, e utilizando o modelo exponencial de segunda ordem. Na análise de Agrupamento, aplicou-se R (2019).

RESULTS AND DISCUSSION

The decomposition constants (k) and respective coefficients of determination for the exponential equation are presented in Table 1.

Figure 2 shows that the average decomposition constants (k) for the green manure residue used in this study ranged from 1.1 mg g⁻¹ for pigeon pea to 7.1 mg g⁻¹ for cowpea and sunflower cv. Catissol.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As constantes de decomposição (k) e os respectivos coeficientes de determinação para a equação exponencial são apresentados na Tabela 1.

Na Figura 2, pode-se observar que, para as constantes de decomposição (k) dos resíduos de adubos verdes utilizados no estudo, as médias variaram de 1,1 mg g⁻¹ para o guandu a 7,1 mg g⁻¹ para o feijão-caupi e girassol Catissol.

Variations were observed between species of the same genus, such as crotalarías, pigeon pea, sunflower and velvet bean. The means obtained for the crotalarías studied were 2.0 mg g⁻¹, 2.6 mg g⁻¹, 3.9 mg g⁻¹, 4.9 mg g⁻¹ and 5.4 mg g⁻¹ for *C. juncea*, *C. mucronata*, *C. spectabilis*, *C. breviflora* and *C. ochroleuca*, respectively. The same was observed for pigeon pea species, with average values of 1.1 mg g⁻¹ for pigeon pea and 2.8 mg g⁻¹ for the 'Fava Larga' cultivar, and the two sunflower species (7.1 mg g⁻¹ for cv. Catissol and 6.2 mg g⁻¹ for cv. IAC Uruguai). The means recorded for velvet bean species were 4.9 mg g⁻¹, 3.9 mg g⁻¹ and 3.7 mg g⁻¹ for the black, grey and dwarf velvet bean, respectively.

Observam-se também variações entre as espécies do mesmo gênero, como para as crotalárias, os guandus, os girassóis e as mucunas. Entre as crotalárias estudadas, foram obtidas médias que variaram de 2,0 mg g⁻¹ para a *C. juncea*; 2,6 mg g⁻¹ para a *C. mucronata*; 3,9 mg g⁻¹ para a *C. spectabilis*; 4,9 mg g⁻¹ para a *C. breviflora*; e de 5,4 mg g⁻¹ para a *C. ochroleuca*. O mesmo pode ser verificado para o guandu, sendo de 1,1 mg g⁻¹ para o guandu-anão e de 2,8 mg g⁻¹ para o guandu Fava Larga. Também pode ser constatado o mesmo para as duas espécies de girassol, sendo de 7,1 mg g⁻¹ para o Catissol e de 6,2 mg g⁻¹ para o IAC Uruguai. Para as mucunas, verificou-se 4,9 mg g⁻¹ para a mucuna-preta; 3,9 mg g⁻¹ para a mucuna-cinza e 3,7 mg g⁻¹ para a mucuna-anã.

Table 1 – Decomposition constants (*k*), half-life values (*T*_{1/2}) and coefficients of determination (*R*²) as a function of adjustments to the first-order exponential equation ($X=X_0 e^{-kt}$) for different green manure species. Parnaíba (PI), 2016

Tabela 1 - Valores da constante de decomposição (*k*), tempo de meia-vida (*T*_{1/2}) e coeficiente de determinação (*R*²) em função dos ajustes realizados para a equação exponencial de primeira ordem ($X=X_0 e^{-kt}$) para diferentes espécies de adubos verdes. Parnaíba (PI), 2016

Treatment	<i>k</i> (m g ⁻¹)	<i>T</i> _{1/2} (day)	<i>R</i> ²
T1 – Dwarf pigeon pea	1.1	630.1	0.87*
T2 – Sorghum 1	2.1	330.1	0.99**
T3 – Crotalaria mucronata	2.6	266.6	0.96**
T4 – Crotalaria juncea	2.0	346.6	0.95**
T5 – Jack bean	6.7	103.5	0.96**
T6 – Black velvet bean	4.9	141.5	0.98**
T7 – Crotalaria breviflora	4.9	141.5	0.99**
T8 – Pearl millet	2.8	247.6	0.99**
T9 – Cowpea BRS Guariba	7.1	97.6	0.89*
T10 – Grey velvet bean	3.9	177.7	0.99**
T11 – Sorghum 2	2.9	239.0	0.92*
T12 – Crotalaria spectabilis	3.9	177.7	0.97**
T13 – Pigeon pea cv. Fava Larga	2.8	247.6	0.89*
T14 – Crotalaria ochroleuca	5.4	128.4	0.94**
T15 – White tephrosia	3.6	192.5	0.98**
T16 – Siratro	2.2	315.1	0.95**
T17 – Sunflower cv. Catissol	7.1	97.6	0.95**
T18 – Dwarf velvet bean	3.7	187.3	0.94**
T19 – Sunflower cv. IAC Uruguai	6.2	111.8	0.91*

* e ** Significant at 5 and 1%.

* e ** Significativo a 5 e 1%.

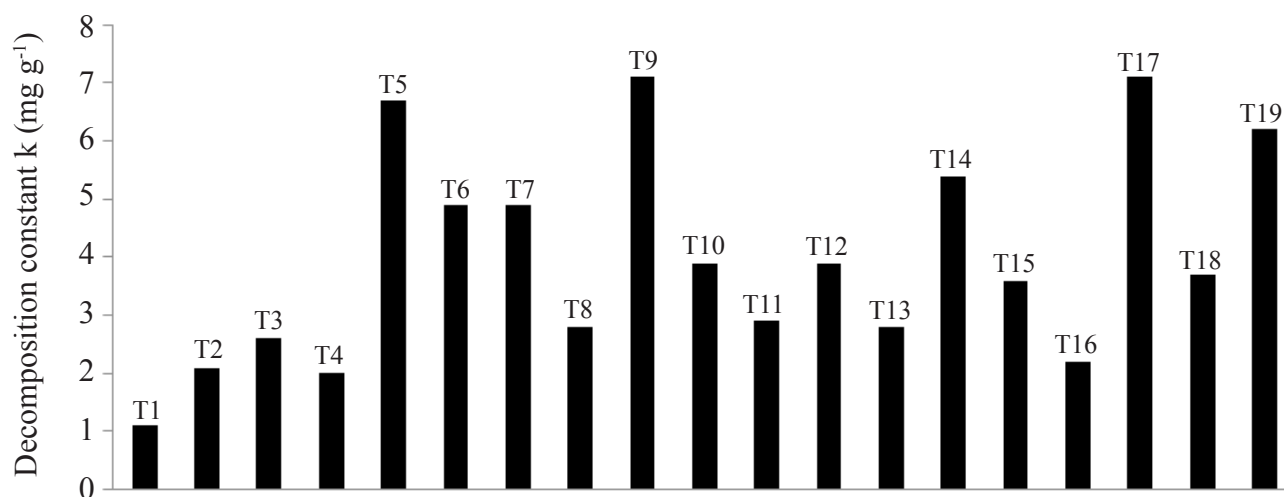


Figure 2 – Decomposition constant (k) of green manure residue at the 120-day assessment, in Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – *crotalaria mucronata*; T4 – *crotalaria juncea*; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – *crotalaria breviflora*; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – *Crotalaria spectabilis*; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – *Crotalaria ochroleuca*; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

Figura 2 – Constante de decomposição (k) de resíduos de adubos verdes após 120 dias de avaliação em Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – *crotalaria mucronata*; T4 – *crotalaria juncea*; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – *crotalaria breviflora*; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – *Crotalaria spectabilis*; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – *Crotalaria ochroleuca*; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

These differences can be explained by the association between the decomposition rate of the plant material and its characteristics, particularly N content, the C/N ratio and lignin concentration (SANTONJA *et al.*, 2015), which, in conjunction with temperature and moisture (SILVA *et al.*, 2009), contribute to microbial activity and trigger biomass decomposition (SANTOS *et al.*, 2009).

Comparison of the decomposition constants for pigeon pea under different conditions identified mean values from 7.0 to 2.2 mg g⁻¹ in Seropédica, Rio de Janeiro (RJ) state at different irrigation depths (SOUZA *et al.*, 2010); 9.5 mg g⁻¹ in Santarém, Pará (PA) state (SOUSA *et al.*, 2018); and 5.1 mg g⁻¹ in Parnaíba (PI) (MEHL *et al.*, 2010). These values are higher than those obtained here (1.1 mg g⁻¹).

In a study by Mehl *et al.* (2010) to define the decomposition constant of green manure grown between rows of organic acerola in Parnaíba, Piauí (PI), a decomposition constant of 6.8 mg g⁻¹ was recorded for *crotalaria juncea*, higher than the means reported here and in the literature (VIANA and SILVA; FINAMORE, 2015; TORRES *et al.*, 2014).

Mehl *et al.* (2010) obtained means of 4.5 mg g⁻¹ for jack bean, 11.6 mg g⁻¹ for cowpea and 10.4 mg g⁻¹ for black velvet bean, the last two being higher than those recorded here under similar conditions, namely 6.7; 7.1 and 4.9 mg g⁻¹, respectively (Figure 2).

Essa diferença, detectada entre espécies do mesmo gênero, pode ser explicada em razão da velocidade de decomposição de resíduos de origem vegetal estar associada às características do material de origem, principalmente conteúdo de N, relação C/N e teor de lignina (SANTONJA *et al.*, 2015), que, associado ao clima, sobretudo temperatura e umidade (SILVA *et al.*, 2009) atuam na atividade microbiana e, dessa forma, cadenciam o processo de decomposição da biomassa das plantas (SANTOS *et al.*, 2009).

Comparando-se a constante de decomposição para o guandu em diferentes condições, são encontradas médias que variam de 7,0 e 2,2 mg g⁻¹ em Seropédica-RJ sob diferentes lâminas de irrigação (SOUZA *et al.*, 2010); 9,5 mg g⁻¹ em Santarém-PA (SOUSA *et al.*, 2018); e 5,1 mg g⁻¹ em Parnaíba-PI (MEHL *et al.*, 2010). Esses valores foram superiores ao obtido (1,1 mg g⁻¹) neste trabalho.

No estudo realizado por Mehl *et al.* (2010), para definição de padrão de decomposição de adubos verdes nas entrelinhas de acerola orgânica em Parnaíba-PI, foi obtida constante de decomposição de 6,8 mg g⁻¹ para a *crotalaria juncea*, superior às médias obtidas neste estudo e na literatura (VIANA e SILVA; FINAMORE, 2015; TORRES *et al.*, 2014).

Mehl *et al.* (2010) obtiveram médias de 4,5 mg g⁻¹ para feijão-de-porco, 11,6 mg g⁻¹ para o feijão-caupi e 10,4 mg g⁻¹ para mucuna-preta. Com exceção do feijão-de-porco, as outras duas espécies tiveram médias superiores às observadas neste estudo, em condições análogas, sendo de 6,7; 7,1 e de 4,9 mg g⁻¹, respectivamente (Figura 2).

Several factors affect the decomposition of plant matter added to the soil, but the speed at which it decomposes depends on its chemical composition and the environmental conditions, particularly temperature and moisture, resulting in highly variable decomposition rates (SILVA *et al.*, 2014). Except for jack bean, the legumes cited in the literature exhibited higher average decomposition rates than those recorded here. In general, the litter bags containing the plant matter were deposited at the end of the rainy season and only superficially moistened by the sprinkler irrigation system, which may have increased the results, unlike the conditions imposed in the present study, where the plant matter was assessed at 120 days, meaning it was exposed to different rainfall and sunlight conditions (Figure 1).

Mean values recorded for pearl millet were between 9.9 and 6.6 mg g⁻¹ in Seropédica (RJ) (TEIXEIRA *et al.*, 2012); 5.7 mg g⁻¹ in Urutaí, Goiás state (GO) (MARANGONI *et al.*, 2017), both in an irrigated environment, and 5.0 mg g⁻¹ in Parnaíba (PI) (MEHL *et al.*, 2010), where the litter bags were only superficially moistened by irrigation sprinklers. In the present study, under similar conditions to those used by Mehl *et al.* (2010), an average decomposition rate of 2.8 mg g⁻¹ was recorded. Similar decomposition behavior was observed for sorghum 1 and 2, with mean values of 2.1 and 2.9 mg g⁻¹, respectively.

According to Santos *et al.* (2009), microbial activity is influenced by the quality of the organic matter, soil moisture content and ambient temperature. The same authors reported that adding manure under drought stress affected microbial activity, whereas maximum activity was recorded after the first rains of the wet season under a natural soil water regime.

In this investigation, the study period coincided with a time of initially high rainfall levels, followed by the expected dry season for the region when lower rainfall is typically recorded (Figure 1). This may have influenced the decomposition pattern, despite the fact that other environmental factors such as temperature, aeration and soil organic matter content act on decomposing microorganisms, which are largely responsible for decomposition (SANTOS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2014). Half-life ($T_{1/2}$) in the species studied varied from 98 to 630 days for decomposition of 50% of biomass (Figure 3).

Vários são os fatores que afetam a decomposição de materiais vegetais adicionados ao solo, porém a velocidade com que esse material é decomposto depende de sua composição química e das condições ambientais, principalmente temperatura e umidade, o que acarreta uma grande variabilidade nas taxas de decomposição (SILVA *et al.*, 2014). Observa-se que, com exceção do feijão-de-porco, as leguminosas citadas na literatura obtiveram médias de decomposição superiores às obtidas neste trabalho. De modo geral, as sacolas do tipo *litter bags* desses materiais foram depositadas no final do período chuvoso e apenas superficialmente umedecidas via sistema de irrigação por aspersão, o que elevou esses resultados, possivelmente. Diferentemente das condições impostas no presente estudo em que o material vegetal foi avaliado em 120 dias, passando por diferentes condições de precipitação e insolação (Figura 1).

Para o milheto foram encontradas médias entre 9,9 e 6,6 mg g⁻¹, obtida em Seropédica-RJ (TEIXEIRA *et al.*, 2012); 5,7 mg g⁻¹ em Urutaí-Go (MARANGONI *et al.*, 2017), ambos em ambiente irrigado, e 5,0 mg g⁻¹ em Parnaíba-PI (MEHL *et al.*, 2010), em que as sacolas de decomposição foram apenas superficialmente umedecidas via sistema de irrigação por microaspersão. Neste estudo, e em condições análogas a Mehl *et al.* (2010), obteve-se média de 2,8 mg g⁻¹. Os comportamentos de decomposição do sorgo 1 e 2 foram semelhantes, com média de 2,1 e 2,9 mg g⁻¹, respectivamente.

Para Santos *et al.* (2009), a atividade microbiana é influenciada pela qualidade do material orgânico aportado, pela umidade do solo e pela temperatura ambiente. Os mesmos autores observaram que sob estresse hídrico a adição das fontes de esterco teve efeito sobre a atividade microbiana, mas sob regime hídrico natural a campo, a atividade microbiana atingiu seu máximo logo após as primeiras chuvas da estação úmida.

Neste trabalho, a época de execução coincide com um período no qual, inicialmente, são registradas altas precipitações, seguidas do período esperado da estiagem para a região, quando normalmente são registrados os menores índices de precipitação (Figura 1), e esse padrão de decomposição pode estar relacionado/influenciado por este fator, apesar de outros fatores ambientais, como temperatura, aeração e teor de matéria orgânica no solo atuarem sobre os microrganismos decompositores, que são os principais responsáveis pela decomposição (SANTOS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2014). Quanto ao tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), as espécies apresentaram variações de 98 a 630 dias para decomposição de 50% da biomassa (Figura 3).

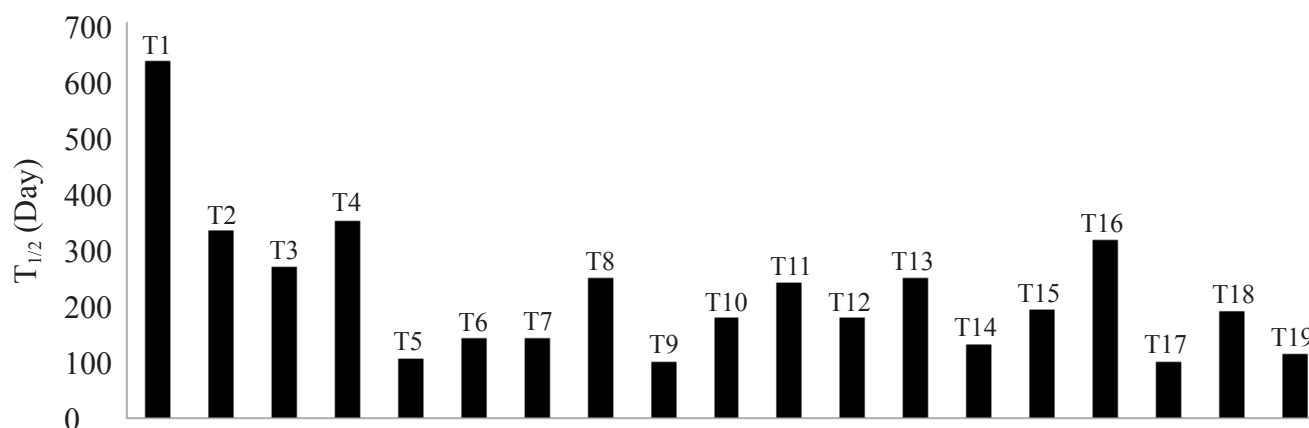


Figure 3 – Half-life ($T_{1/2}$) of green manure residue at the 120-day assessment, in Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – *crotalaria mucronata*; T4 – *crotalaria juncea*; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – *crotalaria breviflora*; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – *Crotalaria spectabilis*; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – *Crotalaria ochroleuca*; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

Figura 3 – Tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de resíduos de adubos verdes após 120 dias de avaliação em Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – *crotalaria mucronata*; T4 – *crotalaria juncea*; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – *crotalaria breviflora*; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – *Crotalaria spectabilis*; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – *Crotalaria ochroleuca*; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

Figure 3 shows two distinct groups, one characterized by rapid decomposition and the other consisting of slow-decomposing species. The highest $T_{1/2}$ values were recorded for green manure from dwarf pigeon pea (630.1 days), *C. juncea* (346.6 days), sorghum 1 (330.1 days) and siratro (315.1 days), corresponding to 21% of the material assessed. In this case, an additional 300 days would be required to obtain a decomposition pattern greater than 50% before the final assessment, that is, 120 days after placing the litter bags in the field. These species belong to the slow-decomposing group. Figure 3 also demonstrates that 21% of the plant residue (jack bean, cowpea, and sunflower cultivars Catissol and IAC Uruguai) exhibited a decomposition pattern higher than 50% before the last assessment. These species, which belong to the rapid-decomposing group, displayed a similar decomposition rate that was faster than the remaining species, with half-life values of 103.5; 97.6; 97.6 and 111.8 days, respectively.

This biomass decomposition pattern in green manure species growing in dystrophic Yellow Latosol in Piauí state is highly significant because the study area is a hub for irrigated organic fruit farming and the soil is predominantly sandy with a low organic matter content; under these conditions, rapid decomposition of added organic matter content is common.

Na Figura 3, é possível observar dois grupos distintos, um caracterizado por rápida decomposição, e outro grupo por decomposição mais lenta. Os maiores $T_{1/2}$ foram obtidos pelos adubos verdes guandu-anão (630,1 dias), *C. juncea* (346,6 dias), sorgo 1 (330,1 dias) e siratro com 315,1 dias, correspondendo a 21% dos materiais avaliados, e que neste caso precisaram de mais de 300 dias para obter um padrão de decomposição superior a 50% antes da última leitura, ou seja, 120 dias da instalação das sacolas no campo. Essas espécies comporiam o grupo das espécies de decomposição mais lenta. Observa-se ainda, na Figura 3, que 21% dos resíduos vegetais (feijão-deporco, feijão-caupi, girassol Catissol e girassol IAC Uruguai) apresentaram um padrão de decomposição superior a 50% antes da última leitura. Essas espécies apresentaram velocidade de decomposição próximas entre si e mais rápida do que as demais, com tempos de meia-vida de 103,5; 97,6; 97,6 e 111,8 dias, respectivamente, e comporiam o grupo das espécies de decomposição rápida.

Esse padrão de decomposição da biomassa produzida por espécies de adubos verdes em Latossolo Amarelo distrófico no Piauí é extremamente importante, pois na região em que foi conduzido este estudo há um polo de fruticultura orgânica irrigada, e os solos são predominantemente arenosos e com baixo teor de matéria orgânica; nestas condições, é comum a rápida decomposição do material orgânico adicionado.

From the perspective of efficiently using green manure to supply nutrients, it is noteworthy that the decomposition rate is in line with the nutrient requirements of cash crops used in succession planting. Rapid decomposition leads to high levels of nutrient release, resulting in nutrient losses, reduced soil cover and negative effects on protection against erosion, whereas slow decomposition means a lower nutrient release rate for successive crops, which may prompt the need for mineral fertilizers to increase nutrient supply, but may also provide greater soil protection by maintaining plant residue for longer. The characteristics and chemical composition of plant tissue are highly relevant when selecting green manure species (AITA *et al.*, 2014). The same authors underscore that the half-life of these residues in the field depends on how they are managed, as well as the soil and climate conditions and intrinsic characteristics of the plant species, particularly the C/N ratio.

In the present study, carried out in the coastal tablelands of Piauí state, the legumes dwarf pigeon pea and *c. juncea* obtained higher $T_{1/2}$ values than the grasses sorghum 1, sorghum 2 and pearl millet, which would be expected to exhibit a larger C/N ratio (Table 2).

Do ponto de vista de eficiência do uso dos adubos verdes no fornecimento de nutrientes, é interessante que a taxa de decomposição ocorra em sincronia com a demanda de nutrientes das culturas comerciais em sucessão. Se a decomposição for rápida, os nutrientes serão liberados a taxas elevadas com perdas de nutrientes, além da diminuição na cobertura do solo, com consequências negativas à proteção contra a erosão. Uma decomposição mais lenta irá resultar em menor liberação de nutrientes às culturas em sucessão, o que poderá resultar na necessidade do uso de fertilizantes minerais para aumentar o suprimento de nutrientes, porém pode conferir maior proteção do solo pela manutenção dos resíduos por mais tempo. Na seleção de espécies de adubos verdes, as características do tecido vegetal e a sua composição química constituem aspectos de grande relevância (AITA *et al.*, 2014). Os mesmos autores reforçam que a permanência desses resíduos no campo está condicionada à forma como são manejados, além das condições edafoclimáticas e das características intrínsecas das espécies vegetais, e entre estas características cita-se a relação C/N.

No presente estudo, realizado nos Tabuleiros Litorâneos do estado do Piauí, pode-se verificar que as leguminosas guandu-anão e *c. juncea* obtiveram $T_{1/2}$ superiores aos resíduos obtidos pelas gramíneas sorgo 1, sorgo 2 e, também, milho, com o qual, normalmente, espera-se maior relação C/N (Tabela 2).

Table 2 - C/N ratios of the green manure species studied

Tabela 2 - Relação C/N das espécies de adubos verdes estudadas

Common Name	Scientific name	C/N
Crotalaria breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	14-18*
Crotalaria juncea	<i>Crotalaria juncea</i>	17-19*
Crotalaria mucronata	<i>Crotalaria mucronata</i>	-
Crotalaria ochroleuca	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	-
Crotalaria spectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	18*
Cowpea BRS Guariba	<i>Vigna unguiculata</i>	-
Dwarf pigeon pea	<i>Cajanus cajan</i>	15-22*
Pigeon pea cv. Fava Larga	<i>Cajanus cajan</i>	15-22*
Jack bean	<i>Canavalia ensiformis</i>	10-16*
Sunflower cv. Catissol	<i>Helianthus annuus</i>	22-33*
Sunflower cv. IAC Uruguai	<i>Helianthus annuus</i>	22-33*
Pearl millet	<i>Pennisetum glaucum</i>	30-43*
Dwarf velvet bean	<i>Mucuna deeringiana</i>	12-20*
Grey velvet bean	<i>Mucuna pruriens</i>	10-22*
Black velvet bean	<i>Mucuna pruriens</i>	12-21*
Siratro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	-
Sorghum 1	<i>Sorghum bicolor</i>	40.20**
Sorghum 2	<i>Sorghum bicolor</i>	40.20**
White tephrosia	<i>Tephrosia candida</i>	-

* Wutke *et al.*, (2014); ** Calvo *et al.*, (2010).

Several studies have identified the C/N ratio as the main parameter in the decomposition process (ACOSTA *et al.*, 2014). Crop residues with a high C/N ratio normally decay more slowly than those with a low ratio (AITA *et al.*, 2014), although the C/N ratio alone is not a good indicator of the organic matter decomposition process, but rather the relative contribution of carbon quality (CARVALHO *et al.*, 2009) and the specific characteristics of the material (chemical composition) (SOUZA *et al.*, 2010).

In this respect, these findings were likely obtained because all the plant material was cut and managed for production of the litter bags on the same day, at 60 days after planting. This stage was established based on the development of the early-maturing species, when legumes are typically undergoing flowering and grasses are at the end of tillering and beginning of booting, thus displaying a low C/N ratio. In general, climate controls decomposition on a regional scale, while chemical composition governs the process at local level (SILVA *et al.*, 2014).

It is important to note that several factors can influence the dynamics of plant matter decomposition, such as climate characteristics. Green manure tends to decompose more slowly during periods of drought. In this respect, the time litter bags spent in the field coincided with the end of the rainy season and beginning of the dry season, with cumulative rainfall of 62.12 mm and high average temperature and sunlight levels (Figure 1). This climate is characteristic of the region, with a long well-defined dry season when the activity of decomposing microorganisms is typically low and crop residues are not exposed to important phenomena such as the effect of rainwater.

Interaction between these factors, particularly moisture and microbiological activity, may have caused the low decomposition rate observed in the remaining dry matter. It can be assumed that in the case of the remaining dry matter of pigeon pea and *C. juncea*, both legume species, the assessment time was not sufficient for them to reach their maximum dry weight decline, given their chemical characteristics and the time needed for soil microorganisms to accelerate decomposition in response to the water supplied by the onset of the rainy season.

A relação C/N tem sido apontada por muitos trabalhos como principal parâmetro no processo de decomposição (ACOSTA *et al.*, 2014). Normalmente, resíduos culturais com elevada relação C/N são decompostos mais lentamente do que aqueles com baixa relação C/N (AITA *et al.*, 2014), apesar da razão C/N individualmente não representar bem o processo de decomposição dos materiais orgânicos, mas sim a contribuição relativa da qualidade do carbono (CARVALHO *et al.*, 2009) e as características específicas do material (composição química) (SOUZA *et al.*, 2010).

Neste sentido, é provável que esses resultados observados resultem do fato de que todos os materiais vegetais foram cortados e manejados para a confecção das sacolas de decomposição no mesmo dia, aos 60 dias de desenvolvimento, sendo que esse estágio foi estabelecido em função do desenvolvimento das espécies mais precoces, período em que normalmente as leguminosas encontram-se no estágio de florescimento pleno, e as gramíneas ainda se encontram no estágio final de perfilhamento e início do emorrachamento, portanto, com relação C/N mais baixa. De modo geral, o clima controla o processo de decomposição em escala regional, enquanto a composição química domina o processo em escala local (SILVA *et al.*, 2014).

É importante destacar que são vários os fatores que podem influenciar na dinâmica de decomposição dos tecidos vegetais, tais como as características climáticas. De maneira geral, a decomposição dos adubos verdes tende a ser mais lenta durante os períodos de estiagem. Nesse sentido, a permanência das *litter bags* no campo coincidiu com o final da estação chuvosa e início da estação seca, cuja média de precipitação acumulada no período foi de 62,12 mm, e com elevadas médias de temperatura e de insolação (Figura 1). Essa é a característica climática da região, com um longo e bem definido período seco, quando normalmente a atividade dos microrganismos decompositores é baixa, e os resíduos culturais não sofrem a ação de fenômenos importantes, como o efeito da água da chuva.

Provavelmente, a interação entre esses fatores, principalmente umidade e atividade microbiológica, pode ter motivado a baixa velocidade de decomposição observada na matéria seca remanescente. É possível supor que no caso da massa seca remanescente do guandu-anão e da *C. juncea*, ambas as espécies da família das leguminosas, o tempo de avaliação não tenha sido suficiente para que essas pudessem expressar seus picos de máximo declínio de massa seca, tendo em vista suas características químicas e o tempo necessário para que os microrganismos do solo pudessem acelerar a decomposição dos resíduos em resposta ao fornecimento de água pelo início da estação chuvosa.

Figure 4 shows the remaining dry matter at 120 days in decreasing order of decomposition: cowpea (56%) > jack bean (54%) > sunflower cv. Catissol (53%) > c. ochroleuca (47%) > sunflower cv. IAC Uruguai (47%) > grey velvet bean (45%) > C. breviflora (44%) > C. spectabilis (40%) > black velvet bean (38%) > dwarf velvet bean (36%) = white tephrosia (36%) > sorghum 2 (32%) > pearl millet (29%) > C. mucronata (27%) > pigeon pea cv. Fava Larga (26%) = siratro (26%) > c. juncea (23%) > sorghum 1 (22%) > dwarf pigeon pea (15%).

Figure 4 shows that cowpea, jack bean, and the sunflower cultivars Catissol and IAC Uruguai lost approximately 50% of the initial dry biomass over the 120-day assessment period. Dwarf pigeon pea, sorghum, C. juncea and siratro lost around 30% of their initial dry biomass over the same period, confirming that these species are more resistant to decomposition.

This relationship was confirmed by hierarchical clustering analysis (Figure 5), whereby treatments T9 – cowpea, T5 – jack bean, T17 – sunflower cv. Catissol and T19 – sunflower cv. IAC Uruguai formed one cluster corresponding to less decomposition-resistant species, and T1 – dwarf pigeon pea, T2 – sorghum 1, T4 – C. juncea and T16 – siratro were grouped together at the other end of the figure as being more decomposition resistant.

The exponential behavior of the decline in remaining biomass using litter bags is confirmed in other studies and corroborates the results obtained here (MEHL *et al.*, 2010; VIANA and SILVA; FINAMORE, 2015).

Na Figura 4, verifica-se a massa seca remanescente aos 120 dias em ordem decrescente de decomposição: feijão-caupi (56%) > feijão-de-porco (54%) > girassol Catissol (53%) > C. ochroleuca (47%) > girassol IAC Uruguai (47%) > mucuna-cinza (45%) > C. breviflora (44%) > C. spectabilis (40%) > mucuna-preta (38%) > mucuna-anã (36%) = tefrósia (36%) > sorgo 2 (32%) > milheto (29%) > C. mucronata (27%) > guandu Fava Larga (26%) = siratro (26%) > C. juncea (23%) > sorgo 1 (22%) > guandu-anão (15%).

Na Figura 4, verifica-se que, em termos de massa remanescente dos resíduos, feijão-caupi, feijão-de-porco, o girassol Catissol e girassol IAC Uruguai perderam aproximadamente 50% da biomassa seca inicial ao longo dos 120 dias de avaliação. Guandu-anão, sorgo1, C. juncea e siratro perderam aproximadamente 30% da biomassa seca inicial no mesmo período, concluindo-se que essas espécies sejam mais resistentes à decomposição.

Na análise de agrupamento por método hierárquico (Figura 5), é possível corroborar essa relação, onde aparentemente os tratamentos T9 – feijão-caupi, T5 – feijão-de-porco, T17 – girassol Catissol e T19 – girassol IAC Uruguai formam agrupamento, correspondendo às espécies menos resistentes à decomposição, e na outra extremidade da figura, os tratamentos T1 – guandu-anão, T2 – sorgo 1, T4 – C. juncea e T16 – siratro foram agrupados no mesmo agrupamento, correspondendo às espécies mais resistentes à decomposição.

O comportamento exponencial da redução da biomassa remanescente utilizando-se as sacolas do tipo litter bags é confirmado em outros estudos e corroboram os resultados obtidos neste trabalho (MEHL *et al.*, 2010; VIANA e SILVA; FINAMORE, 2015).

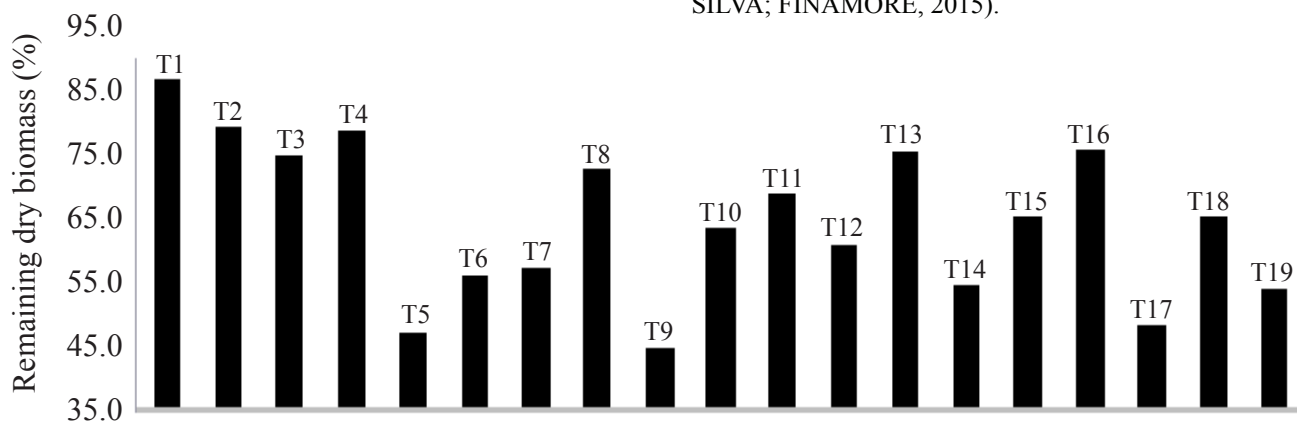


Figure 4 – Remaining dry matter of green manure residue at the 120-day assessment, in Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – crotalaria mucronata; T4 – crotalaria juncea; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – crotalaria breviflora; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – Crotalaria spectabilis; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – Crotalaria ochroleuca; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

Figura 4 - Massa remanescente de resíduos de adubos verdes após 120 dias de avaliação em Parnaíba (PI), 2018.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 – crotalaria mucronata; T4 – crotalaria juncea; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – crotalaria breviflora; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – Crotalaria spectabilis; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – Crotalaria ochroleuca; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

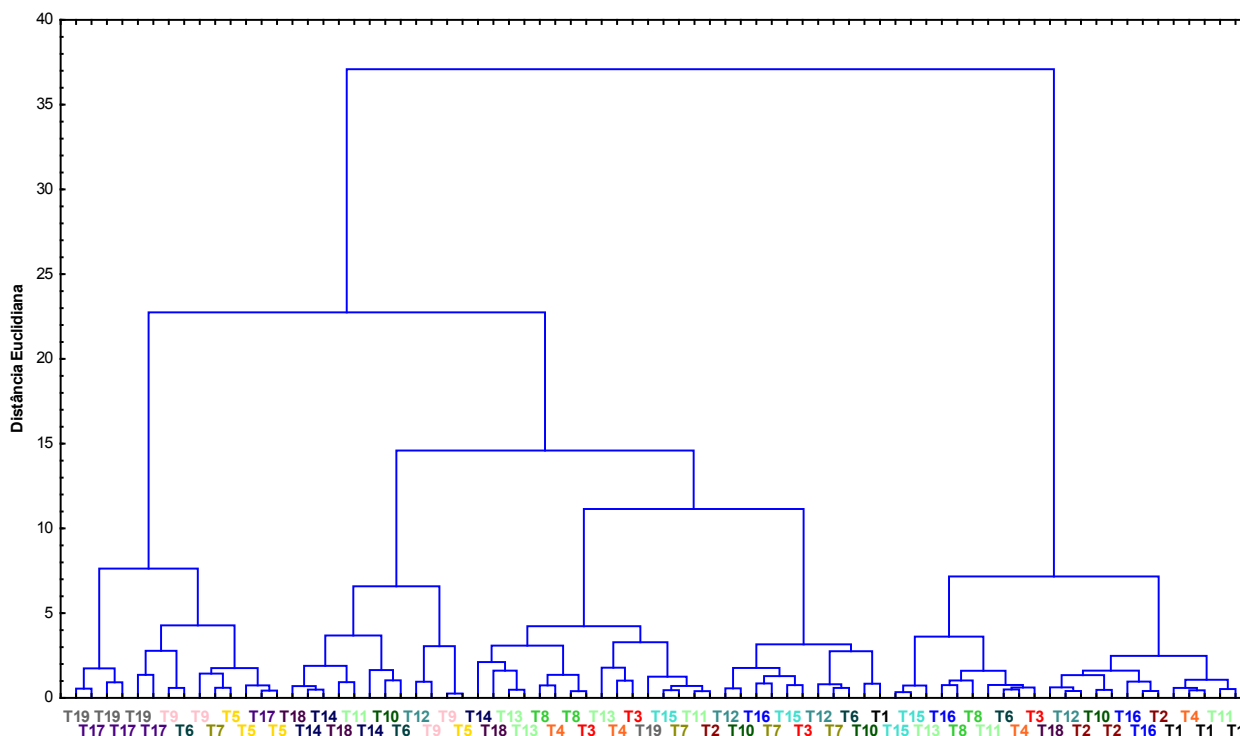


Figure 5 – Dendrogram showing the hierarchy of groups resulting from hierarchical clustering.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 - crotalaria mucronata; T4 - crotalaria juncea; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – crotalaria breviflora; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – Crotalaria spectabilis; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – Crotalaria ochroleuca; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

Figura 5 - Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.

T1 – dwarf pigeon pea; T2 – sorghum 1; T3 - crotalaria mucronata; T4 - crotalaria juncea; T5 – jack bean; T6 – black velvet bean; T7 – crotalaria breviflora; T8 – pearl millet; T9 – cowpea BRS Guariba; T10 – grey velvet bean; T11 – sorghum 2; T12 – Crotalaria spectabilis; T13 – pigeon pea cv. Fava larga; T14 – Crotalaria ochroleuca; T15 – white tephrosia; T16 – siratro; T17 – sunflower cv. Catissol; T18 – dwarf velvet bean; T19 – sunflower cv. IAC Uruguai.

CONCLUSIONS

Cowpea, jack bean and sunflower (cv. Catissol and IAC Uruguai) are rapidly decomposing species with a half-life ranging from 98 to 112 days to decompose 50% of biomass. Pigeon pea, *C. juncea*, sorghum 1 and siratro are slow-decomposing species, with a 315 to 630-day half-life to decompose 50% of biomass;

These species can be recommended for intercropping in the study area because the decomposition speed of their plant residue is compatible with soil protection and nutrient supply and in sync with the nutrient requirements of cash crops.

CONCLUSÕES

O feijão-caupi, o feijão-de-porco, o girassol Catissol e o girassol IAC Uruguai compõem o grupo das espécies de decomposição rápida, com tempo de meia-vida variando de 98 a 112 dias para decompor 50% da biomassa. O guandu-anão, a *C. juncea*, o sorgo 1 e o siratro compõem o grupo das espécies de decomposição lenta, com tempo de meia-vida variando de 315 a 630 dias para decompor 50% da biomassa;

Essas espécies podem ser recomendadas em cultivo consorciado/coquetel na região do estudo, pois podem propiciar velocidade de decomposição dos resíduos compatível com a proteção do solo e fornecimento de nutrientes em sincronia com a demanda das culturas comerciais.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ACOSTA, J. A. de A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S. da; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. Adubação verde na agricultura orgânica. In: Filho, O.F. de L.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. In: **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 6, p. 226-264.
- BASCH, G.; KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; SANTOS, F. L.; GUBIANI, P. I.; CALEGARI, A.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. dos. Sustainable soil water management systems. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil water and agronomic productivity**. Boca Raton: CRC, 2012. p. 229-288. (Advances in soil Science).
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N. **Boletim agrometeorológico de 2016 para o município de Parnaíba, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2018. 34 p.
- CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso da adubação verde. In: **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 1, p. 19-36.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIAO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 144-150, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.08.006>
- DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. da. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta amazonica**, v. 40, n. 3, p. 625-628, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000300024>.
- FLORENTÍN, M. A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. **Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms**. Rome: FAO, 2011. 97 p. (Integrated crop management, 12).
- GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300006>.
- LIMA, J. D.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no vale do ribeira. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 709-717, 2012.
- MARANGONI, R. E.; ARAÚJO, L. da S.; VALENTE, M. de S.; SILVA, L. G. B.; SILVEIRA, P. M. da, CUNHA, P. C. R. da. Produção de fitomassa seca de guandu-anão e milho e a decomposição das palhadas sob cultivo do feijoeiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 119-127, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3972>.
- MEHL, H. U.; SAGRILO, E.; WOLSCHICK, D.; ARZABE, C. **Produção de biomassa e padrão de decomposição de adubos verdes cultivados nas entrelinhas de acerola orgânica**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. Novos caminhos para agricultura conservacionista no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010. 4 p.
- MELO, F. B.; CAVALCANTE, A. C.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. **Levantamento Detalhado dos Solos da Área da Embrapa Meio-Norte/UEP de Parnaíba**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 22 p.
- OLIVEIRA, L. C. de; STANGARLIN, J. R.; LANA, M. do C.; SIMON, D. N.; ZIMMERMANN, A. Influência de adubações e manejo de adubo verde nos atributos biológicos de solo cultivado com alface (*lactuca sativa* L.) em sistema de cultivo orgânico. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 4, p. 557-565, 2012.
- R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K. E.; BODDEY, R. M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 54, p. 99-112, 1999.
- SANTONJA, M.; FERNANDEZ, C.; GAUQUELIN, T.; BALDY, V. Climate change effects on litter decomposition: intensive drought leads to a Strong decrease of litter mixture interactions. **Plant Soil**, v. 393, p. 69-82, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-015-2471-z>.
- SANTOS, R. H. S.; SIQUEIRA, R.; LIMA, C.; ALMEIDA, A.; PEDROSA, A.; OLIVEIRA, C. Decomposição de Duas Espécies de Adubos Verdes em Diferentes Épocas de Corte em Cafezal Orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 1350-1353, 2009.
- SILVA, E. C. da; AMBROSANO, E. J.; SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; CARVALHO, A. M. de. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: Filho, O.F. de L.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. In: **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 7, p. 266-305.
- SILVA, W. M. da; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. de A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2009.
- SOUZA, I. R. L. de; PAULETTO, D.; LOPES, L. S. de S.; RODE, R. Decomposição de espécies utilizadas como adubação verde em sistema agroflorestal experimental, Santarém, Pará. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 50-63, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5202>.
- SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; GUERRA, J. G. M.; ANDRADE, I. P. de S.; ROCHA, H. S. Influência da decomposição de diferentes resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação no comportamento da vegetação espontânea. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 32, n. 2, p. 317-324, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.3732>.
- TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000100007>.
- TORRES, J. L. R.; SILVA, M. G. de S.; CUNHA, M. de A.; VALLE, D. X. P.; PEREIRA, M. G. Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 247-253, 2014.
- WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: Filho, O.F. de L.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. In: **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 3, p. 61-167.
- VIANA e SILVA, D. R. de S.; FINAMORE, W. L. M. Velocidade da decomposição e teores de nutrientes de diferentes adubos verdes. **Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia**, v. 4, n. 7, p. 18-22, 2015.