



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**ISRAEL OLIVEIRA GOMES**

**ACÚMULO DE BIOMASSA, ACIDEZ ATIVA E FRACIONAMENTO DE CARBONO  
ORGÂNICO EM SOLO CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA NAS  
ENTRELINHAS DO CAJUEIRO ANÃO**

**FORTALEZA**

**2023**

ISRAEL OLIVEIRA GOMES

ACÚMULO DE BIOMASSA, ACIDEZ ATIVA E FRACIONAMENTO DE CARBONO  
ORGÂNICO EM SOLO CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA NAS  
ENTRELINHAS DO CAJUEIRO ANÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Agronomia do Centro  
de Ciências Agrárias da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Julius Blum

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Kenji  
Taniguchi

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- G614a Gomes, Israel Oliveira.  
Acúmulo de biomassa, acidez ativa e fracionamento de carbono orgânico em solo cultivado com plantas de cobertura nas entrelinhas do cajueiro anão / Israel Oliveira Gomes. – 2023.  
36 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Julius Blum.  
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.
1. Cobertura Vegetal. 2. Conservação. 3. Matéria orgânica. 4. Anacardium occidentale. I. Título.  
CDD 630
-

ISRAEL OLIVEIRA GOMES

ACÚMULO DE BIOMASSA, ACIDEZ ATIVA E FRACIONAMENTO DE CARBONO  
ORGÂNICO EM SOLO CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA NAS  
ENTRELINHAS DO CAJUEIRO ANÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de  
Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias  
da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 11/07/2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Julius Blum (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Rafaela Batista Magalhães

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Josué Rodrigues Barroso

Universidade Federal do Ceará (UFC)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me fortaleceu ao longo de toda minha jornada acadêmica.

A todos os meus familiares que me deram todo o apoio e colaboração durante esse longo período, em especial a minha mãe, Maria Jucilene de Moura Oliveira, e a meu pai, Fábio Junior da Silva Gomes, por serem o meu porto seguro nessa vida e nunca deixaram faltar nada. A meus padrinhos Luvilson Júnior e Flaviana da Silva Gomes, que me ajudaram em tudo que precisei e quando precisei. Às minhas avós que foram muito importantes na formação do meu caráter. E em especial ao meu falecido Avó, Francisco da Silva Gomes, no qual sempre me incentivou a estudar e tinha como sonho me ver formado, sem ele eu nunca teria alcançado esse objetivo.

Aos meus amigos Francisco Vinicius, Pedro Luan, Allyson Levy, Victor e Alessandra, os quais considero minha família.

Ao meu orientador, professor Dr. Julius Blum, o qual tenho grande respeito e admiração, além de ser muito grato pela paciência e pelas horas gastas na transferência de seus conhecimentos. Aos meus orientadores da Embrapa, Dr. Carlos Taniguchi e Dr. Luiz Serrano, por todo o suporte e disponibilidade durante a execução das pesquisas. A Lilian e a Vanderléia, por toda ajuda durante o meu período no laboratório de Solos da Embrapa e ao Josué que me ajudou durante o processo de escrita desse trabalho.

Ao Fortaleza Esporte Clube e a Juan Pablo Vojvoda que me trouxeram alegrias e forças durante períodos acadêmicos complicados. Aos meus colegas e amigos do curso de Agronomia que deixaram essa caminhada acadêmica muito mais leve e cheia de sorrisos, em especial para Iana de Paula, Edgar Alves, Kezia Rolim, Daví Guilherme, Gabriel Brasil, Bruna Almeida, Marcos Adriano, Wembley Albertânio, Darlan Loiola, Felipe Maxwell, Leonardo Cantudo, Isadora Portelinha, Emilly Estefany, Márcio Douglas, Ramony, Paulo Marcelo, Tainá Cunha, Emanuel Magalhães, Luiz Carlos.

A todos os professores do curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará.

## RESUMO

O uso de cobertura vegetal é uma prática conservacionista do solo e da água, com potencial de aumentar os teores de matéria orgânica do solo, promover a ciclagem de nutrientes no solo, diminuir a incidência de raios solares e aumentar a atividade biológica da microfauna. A cultura do cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) é de grande importância econômica para a região Nordeste do Brasil, no entanto, poucos estudos foram realizados para verificar quais plantas de cobertura são mais apropriadas para a região semiárida. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de espécies de plantas de cobertura no acúmulo de matéria orgânica no solo e na acidez ativa de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cajueiro anão. O experimento foi conduzido no período de 2019 a 2021/2022, na Área Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Pacajus. Foram realizadas três coletas de solo e três coletas de resíduos vegetais remanescentes ao final de cada ciclo. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições. Foram avaliadas quatro espécies de plantas de cobertura, mais o tratamento controle: T1: controle (vegetação espontânea); T2: 1º ciclo - *Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin e 2º ciclo em diante *Brachiaria humidicola*; T3: *Panicum maximum* cv. Massai; T4: *Brachiaria ruziziensis* e T5: *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. As gramíneas foram semeadas a lanço, enquanto a leguminosa foi plantada em covas. As coletas de biomassa remanescente foram realizadas no final do ano (novembro/dezembro), e as coletas de solo foram feitas no início do ano (fevereiro a abril). Foram realizadas análises de pH em água, determinação da matéria orgânica do solo e fracionamento de carbono orgânico. O Capim Xaraés e o Capim Ruziziensis se destacaram na quantidade de biomassa remanescente. Foi observado que até mesmo a manutenção da vegetação nativa no tratamento Controle resultou em aumento nos teores de matéria orgânica do solo em relação aos anos anteriores. Em relação ao fracionamento de carbono, todos os tratamentos contribuíram para o aumento de carbono orgânico associado a minerais, que é a fração com maior adesão ao solo. Conclui-se que o Capim Ruziziensis e o Capim Xaraés são as plantas mais indicadas para a manutenção da biomassa remanescente no solo, assim como para o aumento do carbono orgânico. O Capim Xaraés, em particular, demonstrou ser o tratamento mais consistente em acumular biomassa na superfície dentre todos os avaliados.

Palavras-chave: cobertura vegetal.; conservação; gramíneas; matéria orgânica; *Anacardium occidentale*

## ABSTRACT

The use of cover crops is a soil and water conservation practice with the potential to increase soil organic matter content, promote nutrient cycling in the soil, reduce solar radiation incidence, and enhance the biological activity of microfauna. The cultivation of dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) has high economic importance in the Northeast region of Brazil. However, few studies have been conducted to determine which cover crops are most suitable for the semiarid region. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of cover crops species on soil organic matter and active acidity in a red-yellow Argisol cultivated with dwarf cashew. The experiment was carried out from 2019 to 2022 at the Experimental Area of Embrapa Agroindústria Tropical in Pacajus. Three soil samples and three samples of remaining plant residues were collected at the end of each cycle. The experimental design used was randomized blocks, with 5 treatments and 4 replicates. Four cover crop species were evaluated, in addition to the control treatment: T1: control (spontaneous vegetation); T2: 1st cycle - *Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin and from the 2nd cycle onwards - *Brachiaria humidicola*; T3: *Panicum maximum* cv. Massai; T4: *Brachiaria ruziziensis*; and T5: *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. The grasses were broadcast seeded, while the legume was planted in holes. The remaining biomass collections were conducted at the end of the year (November/December), and soil samples were taken at the beginning of the year (February to April). pH analysis in water, determination of soil organic matter, and organic carbon fractionation were performed. Capim Xaraés and Capim Ruziziensis stood out in terms of the amount of remaining biomass. It was observed that even maintaining native vegetation in the Control treatment resulted in increased soil organic matter content compared to previous years. Regarding carbon fractionation, all treatments contributed to an increase in organically associated mineral carbon, which is the fraction with the greatest adherence to the soil. In conclusion, Capim Ruziziensis and Capim Xaraés are the most suitable plants for maintaining residual biomass in the soil, as well as for increasing organic carbon content. Capim Xaraés proved to be the most consistent treatment in terms of accumulating biomass on the soil surface among all the evaluated species.

Keywords: Cover crops; Conservation; Grasses; Organic Matter; *Anacardium occidentale*.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização química do Argissolo Vermelho-Amarelo da área experimental.....	21
Tabela 2	Análise de variância para pH e matéria orgânica do solo de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com plantas de cobertura nas entrelinhas de cajueiro-anão.....	24
Tabela 3	Valores de pH em água, em função dos tratamentos e anos de cultivo.....	25
Tabela 4	Valores de pH em água, em função das profundidades de amostragem e anos de cultivo.....	25
Tabela 5	Teores de matéria orgânica do solo (M.O.), em função das profundidades de amostragem e anos de cultivo.....	27
Tabela 6	Biomassa remanescente na superfície do solo, nas entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.....	28
Tabela 7	Biomassa remanescente na superfície do solo, nas entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.....	29
Tabela 8	Carbono particulado (CO <sub>p</sub> ) e associado a minerais (CO <sub>am</sub> ) das entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.....	31

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1	Aspectos Gerais do Cajueiro.....	12
2.2	Importância das plantas de cobertura.....	13
2.3	A dinâmica da matéria orgânica do solo.....	16
2.4	Influência do manejo de plantas de cobertura no solo.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.1	Localização e descrição do experimento.....	20
3.2	Delineamento experimental.....	21
3.3	Condução do experimento.....	21
3.4	Análises laboratoriais.....	22
3.5	Análise estatística.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5	CONCLUSÃO .....	33
6	REFERÊNCIAS .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2022, a área ocupada para produção de castanha do caju foi de 424,6 mil hectares e com uma produção de cerca de 147 mil toneladas. Para 2023, a estimativa de área ocupada para produção de castanha do caju no Brasil é de cerca de 426 mil hectares com uma produção de cerca de 121,9 mil toneladas (IBGE, 2023). O cajueiro-anão (*Anacardium occidentale L.*) é um produto de grande importância econômica no nordeste brasileiro, tanto na exportação de produtos advindos da cajucultura, quanto na geração de empregos garantidos do agronegócio de Caju no Semiárido nordestino. Empregos esses que são gerados na entressafra das grandes culturas da região, evitando por muitas vezes o êxodo rural (SERRANO; PESSOA, 2016).

Os solos da região litorânea do Ceará, onde encontram-se a maior parte dos cultivos de caju do estado, em geral são solos arenosos e possuem baixo teor de matéria orgânica, consequentemente, resultando em baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Esse fato, somado à irregularidade de distribuição de chuvas e ao alto custo de fertilizantes minerais, tornam a produção de caju desafiadora na região. Além disso, algumas práticas de manejo em cultivo do cajueiro não são adequadas às condições edafoclimáticas da região, como por exemplo, o coroamento, que consiste na retirada do material vegetal depositado sob a copa do cajueiro, e a gradagem realizada nas entrelinhas da cultura, ambas as práticas expõem a superfície do solo, aumentando a vulnerabilidade aos processos erosivos.

Práticas agrícolas com objetivo de aumentar a cobertura vegetal em pomares proporcionam aumento da produção de matéria orgânica, diminuindo a compactação e a erosão dos solos e consequentemente aumentando a capacidade produtiva dos pomares (PAULA LIMA; ZAKIA, 1998). A inclusão de plantas de cobertura aliadas ao menor revolvimento do solo, aumentam a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de nitrogênio e, com o passar dos anos, a biomassa remanescente dessas culturas contribuem para o acúmulo de matéria orgânica no solo, melhorando as características químicas, físicas e biológicas do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997; FIDALSKI *et al.*, 2006).

As plantas leguminosas tendem a ser as mais utilizadas com objetivo de adubação verde, devido a fixação biológica de nitrogênio. Porém, por conta da sua decomposição mais lenta em comparação as leguminosas, as gramíneas são as mais utilizadas para produção de biomassa e

cobertura do solo, No entanto, os estudos que avaliam quais as espécies de planta de cobertura mais apropriadas para a região Nordeste do Brasil são escassas.

Objetivou-se avaliar o efeito de espécies de plantas de cobertura no acúmulo de matéria orgânica no solo, acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e acidez ativa de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cajueiro anão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos Gerais do Cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) é uma frutífera nativa da região nordeste, pertencente à família *Anacardiaceae*. Essa planta possui uma notável capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade, altas temperaturas e condições de escassez de água. Essas características fazem do cajueiro uma cultura facilmente adaptável às condições do nordeste, o que a torna uma importante fonte de renda para os agricultores do estado. Além disso, sua capacidade de produzir durante o período seco, quando as culturas anuais estão em entressafra, torna-o importante para a geração de empregos tanto no campo como nas indústrias (SERRANO; PESSOA, 2016).

As condições climáticas ideais para o cultivo do cajueiro têm a temperatura variando entre 22 °C e 32 °C, precipitação pluviométrica anual de 800 mm a 1.500 mm (período seco de 4 a 5 meses) e altitude variando entre 0 m e 300 m. Com relação aos solos, apesar de ser uma planta resistente, o cajueiro não prospera em solos rasos e com alto teor de argila (>60% de argila). É preferível cultivá-lo em solos com textura arenosa ou franco arenosa (com menos de 15% de argila), em áreas de relevo plano ou levemente ondulado, que não estejam sujeitas a alagamentos, sem camadas impermeáveis e com uma profundidade superior a 1,5 metros (SERRANO; PESSOA, 2016).

O controle de plantas daninhas, deve ser realizado nos primeiros meses após o plantio (SERRANO; PESSOA, 2016). Essa prática é indispensável para garantir um rápido crescimento do sistema radicular e o desenvolvimento adequado das mudas recém-plantadas. No entanto, apesar de ter potencial para causar impacto negativo, plantas espontâneas podem ter utilidade em outras circunstâncias. Se forem adequadamente gerenciadas, podem trazer benefícios ao pomar, como a diminuição da incidência direta dos raios solares no solo, redução dos efeitos da erosão, aumentar a matéria orgânica e promover a ciclagem de nutrientes (SERRANO, 2016). Crisóstomo *et al.* (2003) recomenda realizar a roçagem das entrelinhas da cultura a fim de diminuir a competição por água, nutrientes, luz e gás carbônico. Essa prática tem o objetivo de reduzir significativamente os efeitos prejudiciais da erosão causada tanto pela água quanto pelo vento. Belay, Lemma e Tekalign (2015) observaram efeitos positivos da prática do coroamento como prática de controle de ervas daninhas, melhorando a absorção de nutrientes, crescimento e rendimento do cajueiro em comparação com outras práticas de manejo de ervas daninhas.

Ribeiro *et al.* (2007) afirmaram que a utilização de grade de discos e o coroamento no manejo do cajueiro trazem impactos negativos com relação ao incremento de matéria orgânica e a qualidade do solo, tendo em vista que não revolver a superfície do mesmo e não fragmentar a biomassa presente nas entrelinhas, são estratégias favoráveis para o cultivo e produtividade do cajueiro-anão. As maiores adições de matéria orgânica acontecem quando não é retirado os resíduos orgânicos que estão sob a copa, além de promover melhor qualidade do solo e maiores níveis de produtividade de castanhas.

## **2.2 Importância das plantas de cobertura**

A cobertura morta no solo tem função de proteção e conservação; i) dissipa a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre o solo, diminuindo a desagregação e selamento superficial; ii) diminui a velocidade da enxurrada; iii) aumenta a infiltração e diminui a perda de água por evaporação; e iv) reduz a incidência de ervas daninhas. Roncato *et al.* (2003) observaram que em solos que usavam leguminosas como plantas de cobertura perderam apenas 1% de umidade, enquanto os solos descobertos chegaram a perder 31,9% na umidade. Sequinato *et al.* (2014) verificaram que as plantas de cobertura em integração com a semeadura direta, são eficazes na recuperação da qualidade física de um argissolo degradado e compactado, além de aumentar os teores de matéria orgânica do solo, promover a diminuição dos valores de densidade e aumentar a quantidade de macroporos e a porosidade total do solo. A cobertura também potencializa os agentes biológicos do solo, aumenta o teor de matéria orgânica do solo e a CTC.

O uso de cobertura morta como prática de conservação do solo visa a proteção do solo, e indiretamente afeta a produtividade, tendo em vista que os resíduos vegetais serão decompostos pela microbiota fornecendo nutrientes e carbono orgânico para o solo, ao mesmo tempo que conferem proteção contra a erosão (RONCATO *et al.*, 2003). Segundo Sá, Leite e Rocha Filho (2020), a utilização de cobertura vegetal busca diminuir a perda e desprendimento das partículas do solo pela água e pelo vento. Além disso, as plantas de cobertura têm um papel ecológico muito importante para a ciclagem de nutrientes do solo, seja por plantas utilizadas para essa função ou advindas de vegetação espontânea, visto isso, não há benefícios em remover totalmente elas de áreas lucrativas (XAVIER *et al.*, 2013).

A utilização de plantas leguminosas para cobertura, normalmente é associada à fixação biológica de nitrogênio (SÁ, LEITE E ROCHA FILHO 2020). NOGUEIRA *et al.* (2011) observaram eficiência no acúmulo de nitrogênio em seis espécies leguminosas estudadas,

podendo ser utilizadas como adubação verde. Para Monegat (1991), a adubação verde é uma opção favorável em comparação aos fertilizantes nitrogenados, em função da preservação e restauração dos nutrientes e da matéria orgânica no solo. Além da fixação biológica de nitrogênio, plantas de cobertura podem aumentar a eficiência da ciclagem de nutrientes, retirando nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e depositando na forma de resíduos orgânicos na superfície do solo.

Devido a sua composição a biomassa advinda de gramíneas permanece por mais tempo na superfície do solo sem se decompor em relação à resíduos de leguminosas. Em relação a ciclagem de nutrientes, Boer *et al.* (2007) verificaram que a utilização da cobertura do solo com o capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*) proporcionou aumento nos teores de N e Mg, enquanto a palhada de milho (*Pennisetum glaucum*) aumentou o teor de K. O cultivo consorciado de plantas de cobertura apresenta uma maior capacidade de produção de biomassa de resíduos orgânicos, e ao mesmo tempo com variabilidade qualitativa, proporcionando ao mesmo tempo cobertura por longos períodos e mineralização de nutrientes (SILVA *et al.*, 2007). Demir *et al.* (2019) também obtiveram resultados positivos na qualidade do solo na camada de 0-20 cm após o uso de *V. villosa* (Vícia Vilosa) e *V. pannonica* (Vícia Panonica), observando um aumento no teor de matéria orgânica, mas também na qualidade nutricional do material. A utilização de cobertura vegetal, também possibilitou o aumento da porosidade total, condutividade hidráulica saturada, teores de N e K totais e diminuição da densidade do solo, do pH e do teor de Na.

A escolha da espécie da planta de cobertura a ser utilizada depende do objetivo, sistema de cultivo e condições edafoclimáticas. Em pomares, o cultivo de cobertura vegetal beneficia o aumento de inimigos naturais (FADINI *et al.*, 2001), melhoria na infiltração da água e aumento no número de agregados do solo (CARDOSO *et al.*, 2012) e aumento da atividade microbiana do solo (CARNEIRO *et al.*, 2008). Petry *et al.* (2012) observaram que o uso de aveia-preta combinada com ervilhaca no inverno e feijão-miúdo no verão para cobertura verde do solo resulta em um aumento na produtividade, bem como nos níveis de suco e sólidos solúveis das tangerineiras ‘Montenegrina’, sem prejudicar as demais qualidades dos frutos. Fidalski *et al.* (2006) verificaram que o cultivo de laranja intercalada com a gramínea perene *Paspalum notatum* proporcionou melhores relações hídricas e metabólicas às laranjeiras.

A utilização de plantas de cobertura como adubação verde na cultura do cajueiro é uma boa opção para promover o acúmulo de K, Ca e Mg (MAIA *et al.*, 2004). Rodrigues *et al.* (2007) utilizaram diferentes espécies de plantas para comparar a liberação desses nutrientes

para o solo e verificaram que o K e o Ca foram os nutrientes reguladores mais limitantes para a mineralização e liberação de nutrientes desses resíduos vegetais no solo. Já Pacheco *et al.* (2011) realizaram um experimento utilizando *Brachiaria ruziziensis*; *Penicillium glaucum* e *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanas cajan* e perceberam que os nutrientes mais acumulados pelas plantas de cobertura foram o N e o K, enquanto os que tiveram a maior taxa de liberação foram o K e o P. Os autores também perceberam que os tratamentos que tiveram a *B. ruziziensis* como cobertura foi a mais eficiente no acúmulo de matéria seca e na liberação de nutrientes na entressafra. Rodrigues *et al.* (2007) perceberam que as diferentes plantas utilizadas para cobertura vegetal apresentaram taxas distintas de liberação de nutrientes, porém o feijão de porco foi a que mais se destacou no quesito de qualidade química do resíduo vegetal.

No Nordeste do Brasil a utilização de plantas de cobertura é pouco utilizada em áreas comerciais (XAVIER *et al.*, 2013). É recomendado o cultivo de leguminosas para favorecer matéria orgânica e nitrogênio para o solo, melhorar a estrutura do solo, e reduzir a erosão e incidências de plantas daninhas (VELOSO *et al.*, 2018). As leguminosas são as mais recomendadas pois suas raízes são favoráveis e mais eficientes para a fixação de nitrogênio no solo.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2007), na cultura do caju, usualmente são utilizadas práticas de manejo que causam redução da matéria orgânica do solo, devido ao excesso de revolvimento e retirada do material orgânico produzido. Desse modo, a adoção de práticas com plantas de cobertura trará grandes benefícios (XAVIER *et al.*, 2013).

Para Feitas *et al.* (2019), a utilização da cobertura vegetal, seja por vegetação espontânea, leguminosas, gramíneas ou oleaginosas, em culturas perenes irrigadas na região do semiárido é interessante para que se mantenha equilíbrio entre as taxas de adição de carbono e a decomposição e para a ciclagem de nutrientes nesses agroecossistemas.

É interessante que se conheça a relação C:N, que se trata da proporção de carbono em relação ao nitrogênio (N) presente em uma substância ou material. Santana *et al.* (2015) observaram que a relação C:N do Capim Ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), em média foi de aproximadamente 28:1, porém Sánchez-Monedero *et al.* (2001) observaram uma variação de 18:1 a 38:1 de acordo com o estágio de crescimento e da proporção de material verde e seco. Teixeira *et al.* (2014) avaliaram gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura para o sistema de plantio direto no nordeste do estado do Pará e perceberam que os resultados indicaram que as gramíneas, representadas pelo capim braquiária, foram as espécies com maior

produção de massa seca e cobertura do solo, enquanto as leguminosas, como a crotalária e o feijão-de-porco, apresentaram maiores teores de nitrogênio e decomposição mais rápida dos resíduos.

### **2.3 Dinâmica da matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica do solo se trata de resíduos orgânicos constituídos por cadeia bioquímica longas sequencias de carbono, sendo derivados de animais ou vegetais mortos. A MOS é compreende tanto os organismos vivos quanto seus restos presentes no solo, em diferentes estágios de decomposição (SILVA E MENDOÇA, 2007). No entanto, a MOS é frequentemente considerada a fração não-vivente, que na maioria das vezes representa mais de 96% do carbono orgânico do solo. Essa fração não-vivente é dividida em matéria macrorgânica (particulada) e húmus, sendo que a matéria macrorgânica é composta principalmente por resíduos de matéria vegetal em vários estágios de modificação, por ter menor tempo de residência, seu conteúdo é dependente da quantidade e periodicidade de entrada de resíduos orgânicos. Por outro lado, a fração humificada possui maior tempo de residência, e normalmente está associada à fração mineral do solo (SILVA E MENDOÇA, 2007).

Os restos vegetais mortos se acumulam na superfície do solo, formando a serrapilheira, o tipo de vegetação e o ambiente em que esse material está localizado, que definirá a quantidade, qualidade e a heterogeneidade daquele material (THONNISEN et al., 2000; MOREIRA E SIQUEIRA, 2003). Os materiais orgânicos depositados no solo passam por diversas modificações, em que os principais agentes de transformação são a micro e mesofauna. Parte do material é perdido na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração dos organismos e parte permanece no solo, constituindo compartimentos mais degradados da MOS.

O processo de transformação tem início a partir da deposição de resíduos orgânicos, na maior parte das vezes de origem vegetal. As duas principais formas que o carbono orgânico é liberado no solo são: (i) das raízes, depositado durante o crescimento das plantas; (ii) deposição de resíduos mortos (raízes, galhos, folhas, etc).

Após a deposição dos resíduos, a macro e mesofauna diminuem o tamanho dos resíduos ao triturá-los, em seguida, os microrganismos aproveitam disso para decompor e/ou mineralizar aquele material no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2000; MESSIAS; SILVA, 2008). Nessa fase, a velocidade de decomposição de resíduos orgânicos e a mineralização de nutrientes depende da composição bioquímica desse material (FREITAS *et al.* 2012). Inicialmente os organismos

irão consumir as moléculas mais simples, permanecendo no solo compostos recalcitrantes, como lignina e alguns fenóis solúveis. A decomposição das moléculas mais recalcitrantes ocorrerá mais lentamente por outro grupo de organismos, principalmente fungos. O processo de humificação ocorrerá a partir da transformação das moléculas orgânicas por processos bio-físico-químicos, em que as frações das moléculas originais poderão sofrer condensação em moléculas mais complexas ou associar-se a outros componentes do solo, constituindo as substâncias húmicas. Neste processo, parte é perdida durante o processo de respiração na forma de CO<sub>2</sub> e uma pequena parte é transformada em substâncias húmicas (STEVENSON *et al.*, 1994).

O ambiente também influencia a dinâmica da matéria orgânica. A falta de oxigênio limita a atividade microbiana, diminuindo a velocidade da decomposição. O clima também é um fator limitante (MOREIRA; SIQUEIRA, 2000). As alterações do material orgânico são controladas pelo clima (ZECH *et al.*, 1997).

A temperatura e o clima desempenham um papel crucial na decomposição da matéria orgânica pois o mesmo vai influenciar na atividade microbiana no solo (CLEVELAND E LIPTZIN 2007). Os autores estudaram a relação C:N:P da biomassa e a decomposição microbiana da MOS submetida a diferentes climas e descobriram que a proporção C:N:P da biomassa variou significativamente dentre os climas estudados, sendo os de clima mais quente tendo a relação mais variável e diversas vezes fora do padrão teórico. Isso sugere que a temperatura influencia a composição da comunidade de organismos decompositores, em regiões com temperaturas mais altas, certas espécies de decompositores podem ser mais abundantes e eficientes na decomposição de matéria orgânica, enquanto outras podem predominar em climas mais frios, assim como afeta a ciclagem de nutrientes e o armazenamento de carbono no solo. Já Cornelissen *et al.* (2007) estudaram a relação da temperatura e da taxa de decomposição de serrapilheira em biomas mais frios e tiveram um resultado inesperado, pois perceberam que a medida em que a temperatura ia aumentando nesses ambientes a taxa de decomposição diminuía, o que era o resultado contrário do que eles esperavam, os autores chamaram isso de “Global negative vegetation feedback”, o que sugere que o aquecimento climático pode resultar essa desaceleração da decomposição.

A atividade microbiana que realiza o processo de decomposição da matéria orgânica está diretamente ligada à produção e consumo de gases traços globais, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), sendo que ambientes mais quentes podem

favorecer a atividade de microrganismos produtores de metano, resultando em maior emissão desse gás para a atmosfera (SCHIMEL E GULLEDGE, 1998). Para os autores, a temperatura e o clima estão relacionados diretamente com a atividade e a estrutura microbiana e essa interação é a resposta para entender a mudança nos ciclos de carbono e nutrientes em resposta as alterações climáticas.

As gramíneas possuem raízes densas e fibrosas contribuem para a formação de agregados no solo, o que aumenta sua capacidade de reter matéria orgânica na camada superficial. Além disso, as gramíneas geralmente apresentam uma alta produção de biomassa acima do solo, resultando em uma quantidade significativa de resíduos vegetais ricos em carbono sendo depositada na superfície do solo (FRANZLUEBBERS, 2002).

#### **2.4 Influência do manejo de plantas de cobertura no solo**

Um das vantagens de se utilizar plantas de cobertura é o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo. As práticas de manejo do solo, como o uso de plantas de cobertura aumentam a atividade biológica do solo, além de também auxiliar no aumento de biomassa microbiana e na disponibilidade de carbono (NAIR; NGOVAJIO, 2012). Segundo estudos feitos por Elfstrand, Hedlund e Martensson (2007), a utilização de adubação verde resulta no aumento da atividade biológica e a disponibilidade de carbono no solo.

A decomposição dos resíduos adicionados ao solo é acelerada quando há uma incorporação (THÖNNISSEN et al., 2000). Assim, o sistema de plantio direto é um importante aliado para promover a cobertura vegetal e aumento da MOS. De acordo com Derpsch *et al.* (2010), há várias vantagens associadas à Agricultura de Conservação/Plantio Direto. Essas vantagens abrangem a redução da erosão do solo, economia de combustível, melhoria da qualidade da água, aumento da atividade biológica, melhoria da fertilidade do solo, estabilidade e incremento na produção, incorporação de novas áreas ao cultivo e redução dos custos de produção. Esses benefícios contribuem para a sustentabilidade econômica, ambiental e social da agricultura em longo prazo.

O uso plantas de cobertura é incomum na região semiárida do Brasil, uma das razões para o baixo nível de utilização são que as altas temperaturas e a baixa disponibilidade de água vai acelerar o processo de decomposição do resíduo orgânico, deixando a técnica menos eficiente (FREITAS *et al.* 2012), tendo em vista a liberação de nutrientes de forma

dessincronizada o plantio deverá acontecer no momento certo para a cultura, principalmente quando se trata de frutíferas. (FREITAS *et al.* 2019).

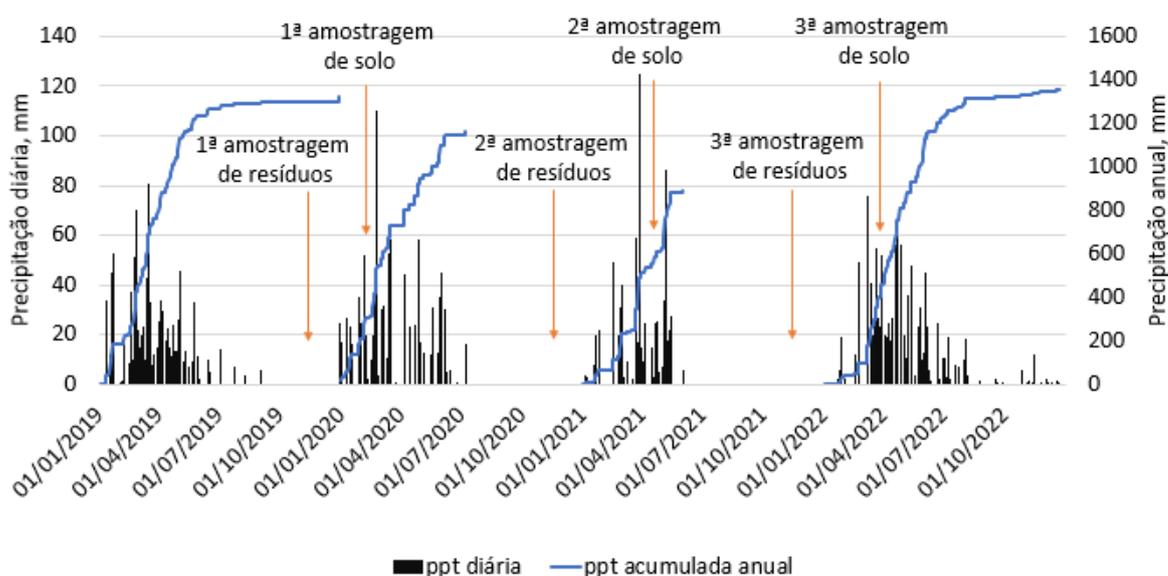
Várias culturas podem ser usadas tanto em cultivo solteiro como consorciado para cobertura de solo. Dentre as espécies recomendadas para o semiárido, podem ser citadas: Feijão-guandú (*Cajanus cajan* L. Huth), Crotalária (*Crotalaria juncea*, *C. ochroleuca* G. Don e *Crotalaria spectabilis* Röth), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* L.DC.), lab-lab (*Dolichos lablab* L.), feijão-da-flórida (*Mucuna pruriens*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço-branco (*Lupinus albus* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* L.), Calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* L.), entre diversas outras (MAITRA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2018).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e descrição do experimento:

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, localizado no município de Pacajus/CE e pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso, com chuvas predominantes no outono. Os valores médios anuais de precipitações pluviométricas, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento são, respectivamente, 930,8 mm; 26,6 °C; 67% e 1,3 m s<sup>-1</sup> (AGUIAR et al., 2002).

**Figura 1.** Datas das coletas de solo e resíduos da superfície do solo e precipitação pluviométrica diária e acumulada dos anos de 2019 até 2022 retirados da estação meteorológica do Município de Pacajus. Fonte: FUNCEME.



O solo da área experimental foi classificado por Lima *et al.* (2002) como um Argissolo Vermelho-Amarelo, com baixo teor de matéria orgânica, profundo, horizonte B textural (Bt) não hidromórfico, com cores amarelas e estruturas bem definidas.

Antes da instalação do experimento, amostra de solo da camada de 0 a 20 cm foi coletada e encaminhadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical para a caracterização química, conforme procedimentos descritos em Silva *et al.* (1998) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização química do Argissolo Vermelho-Amarelo da área experimental.

<b>Prof</b>	<b>P</b>	<b>MO</b>	<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>H+Al</b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>
cm	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		..... mmolc dm <sup>-3</sup> .....				
0-20	3,8	4,3	4,9	2,3	13	9	13,7	0

<b>Prof</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
cm	.... mmolc dm <sup>-3</sup> ....		..... % .....		..... mg dm <sup>-3</sup> .....			
0-20	25	39	65	0	1,2	0,4	9	18,4

### 3.2 Delineamento experimental:

O experimento foi instalado em delineamento experimental de blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Foram avaliados os seguintes tratamentos nas entrelinhas do cajueiro-anão: T1: controle (vegetação espontânea); T2: 1º ciclo - *Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin 2º ciclo em diante *Brachiaria humidicola*; T3: *Panicum maximum* cv. Massai; T4: *Brachiaria ruziziensis* e T5: *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés.

### 3.3 Condução do experimento

As covas de plantio foram marcadas no espaçamento de 8 m nas entre linhas e de 6 m entre as plantas de cajueiro-anão, sendo elas abertas por um perfurador de solo acoplado a um trator. As covas apresentavam formato circular, com aproximadamente 45 cm de diâmetro e 55 cm de profundidade.

Foi realizado uma adubação de plantio com base na recomendação de Crisóstomo et al. (2003), em que cada cova recebeu 300 g de superfosfato simples, 50 g de calcário dolomítico e 50 g de FTE BR12 como fonte de micronutrientes. O solo foi homogeneizado com os adubos e em seguida foi devolvido à cova de plantio.

O plantio das plantas de cobertura foi realizado em duas datas: 08/02/2018 e 15/02/2019, nas entrelinhas das covas de plantio, a semeadura das gramíneas foi feita a lanço e o guandu foi semeado em linhas com espaçamento de 1 m entre elas. No tratamento controle foi mantida a vegetação espontânea. Após a primeira análise em 2020, o feijão guandu (*Cajanas cajan*) foi

substituído pela *Brachiaria humidicola*, por conta da sua baixa adaptação ao solo local do experimento. O plantio foi realizado no dia 14/02/2020. Cada unidade experimental foi composta por uma parcela de 36 m de comprimento e 24 m de largura, totalizando 864 m<sup>2</sup>.

Após o plantio das forrageiras, as plantas foram manejadas com auxílio de roçadeira e rebaixadas a cerca de 20 cm de altura sempre que atingiam cerca de 50 cm de altura. Após cada corte, as plantas foram mantidas na superfície do solo.

Nove meses após o plantio das forrageiras, toda biomassa remanescente na superfície do solo foi coletada com auxílio de esquadro de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>). A biomassa foi passada em peneira com abertura de malha de 2 mm para separação do solo e, em seguida, acondicionada em saco de papel e seca em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C para determinação da massa de matéria seca de material vegetal remanescente. As coletas aconteceram nos dias 22/11/2019, 04/12/2020 e 26/11/2021.

Doze meses após o plantio das forrageiras, amostras de solos foram coletadas nas camadas de profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20cm de profundidade com o auxílio de uma sonda amostradora. Em cada parcela foram coletadas pelo menos 10 amostras simples para a formação de uma amostra composta, as datas das coletas foram: 05/02/2020, 30/04/2021 e 18/03/2022. Posteriormente, as amostras foram secas, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para análise química do solo, conforme procedimentos descritos em Silva et al. (1998). Esses processos foram submetidos em todos os três anos analisados nesse trabalho.

#### **3.4. Análises laboratoriais:**

Foram realizadas as seguintes determinações no solo: pH em água, em uma amostra de 10 dm<sup>3</sup> de solo e com leitura em pHmetro, como descrito em Silva et al. (2009); matéria orgânica descrita em Silva et al. (2009) e fracionamento de carbono como descrito em Cambardella et al. (1992).

#### **3.5. Análises Estatísticas**

Os dados de biomassa remanescente na superfície do solo e de análise química do solo foram submetidos a análise de variância pelo teste de F e as médias comparadas por meio de

teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software estatístico Agroestat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificadas interações significativas ( $p < 0,05$ ) entre as plantas de cobertura e os anos de avaliação e entre a profundidade e os anos de avaliação para a variável pH em água e interação entre a profundidade e os anos de avaliação para a Matéria Orgânica (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para pH e matéria orgânica do solo de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com plantas de cobertura nas entrelinhas de cajueiro-anão.

		pH em água	MOS
			----- g kg <sup>-1</sup> -----
Planta de cobertura (PC)	Controle	5,87 b <sup>1</sup>	7,66 a
	Guandu/Humidícola	5,81 b	7,57 a
	Capim Massai	5,96 b	7,32 a
	Capim Ruziziensis	5,88 b	8,04 a
	Capim Xaraés	6,10 a	7,21 a
Profundidade (P)	0 a 5 cm	6,37 a	10,27 a
	5 a 10 cm	5,88 b	7,33 b
	10 a 20 cm	5,53 c	5,08 c
Ano de cultivo (A)	2019/2020	5,88 a	6,97 b
	2020/2021	5,99 a	7,81 a
	2021/2022	5,91 a	7,90 a
		Teste F <sup>2</sup>	
T		5,56**	1,82 <sup>ns</sup>
P		126,98**	195,41**
A		2,53 <sup>ns</sup>	7,54**
T x P		0,40 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>
T x A		2,33*	0,70 <sup>ns</sup>
P x A		6,10**	2,69*
T x P x A		0,47 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>
C.V. (%)		4,84	19,08

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup> ns, \*\* e \*: Não significativo; significativo a 1 e 5% de probabilidade.

No ano de 2019/2020 os tratamentos Guandu e o Capim Ruziziensis apresentaram menores valores de pH em água em relação ao Controle, Capim Massai e o Capim Xaraés (Tabela 3). Em 2020/2021, os tratamentos Controle e Guandu/Humidícola apresentaram menores valores de pH e no terceiro ano, nenhum tratamento diferiu estatisticamente. Foi observado aumento do pH do solo submetido ao plantio de Capim Ruziziensis em 2020/2021, em relação a 2019/2020, que se manteve em 2021/2022. Já o Capim Xaraés apresentou redução de pH em 2021/2022, em relação aos dois anos anteriores. O tratamento Controle, Guandu/Humidícola e Massai, não sofreram alteração de pH ao longo do tempo. Segundo Favarato et al. (2015), o aumento do pH do solo com o uso de gramíneas como plantas de cobertura está associado ao aumento da matéria orgânica e consequentemente aumento da CTC e poder tampão do solo, diminuindo a atividade de íons  $H^+$  em solução. No entanto, Moreti *et al.* (2007), não verificou alteração do pH em argissolo vermelho após cultivo de Milheto ou Crotalária como plantas de cobertura.

Tabela 3. Valores de pH em água, em função dos tratamentos e anos de cultivo.

Tratamento	Anos		
	2019/2020	2020/2021	2021/2022
Controle	5,92 Aa <sup>1</sup>	5,80 Ba	5,90 Aa
Guandu/Humidícola	5,69 Ba	5,87 Ba	5,88 Aa
Capim Massai	5,96 Aa	6,02 Aa	5,91 Aa
Capim Ruziziensis	5,66 Bb	6,08 Aa	5,91 Aa
Capim Xaraés	6,17 Aa	6,20 Aa	5,95 Ab

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nos anos de 2019/2020 e 2020/2021 houve diferença no pH em todas as camadas do solo, tendo a camada superficial (0-5cm) o pH mais elevado e a camada mais profunda analisada (10-20 cm) o pH mais baixo (Tabela 4). Já no ano de 2021/2022, as camadas de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm apresentaram valores semelhantes de pH. A camada superficial apresentou diminuição do pH em água no último ano, em relação aos dois anteriores que haviam sido

constantes, já o inverso aconteceu na camada mais profunda, que embora nos primeiros dois anos também tivesse se mantido constante, houve um aumento do valor de pH no ano de 2021/2022.

Tabela 4. Valores de pH em água, em função das profundidades de amostragem e anos de cultivo.

Tratamentos	Anos		
	2019/2020	2020/2021	2021/2022
0 a 5 cm	6,40 Aa <sup>1</sup>	6,52 Aa	6,18 Ab
5 a 10 cm	5,84 Ba	5,97 Ba	5,83 Ba
10 a 20 cm	5,40 Cb	5,49 Cb	5,71 Ba

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Com relação à matéria orgânica do solo, foi observado uma redução do seu teor ao longo da profundidade do solo, nos três anos de avaliação (Tabela 5). Nas profundidades 0 a 5 cm e 10 a 20 cm, foi observado um aumento no teor de matéria orgânica em 2020/2021 e 2021/2022 em relação ao primeiro ano de cultivo. A camada de 5 a 10 cm manteve o teor de matéria orgânica constante durante os três anos de cultivo. A maior concentração de matéria orgânica nas camadas superficiais é normal em solos não revolvidos frequentemente, pois é na camada superficial que são depositados e acumulados a maior parte dos resíduos orgânicos (XAVIER, 2013).

Tabela 5. Teores de matéria orgânica do solo (MOS) em função das profundidades de amostragem e anos de cultivo.

Profundidades	Anos		
	2019/2020	2020/2021	2021/2022
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0 a 5 cm	9,44 Ab <sup>1</sup>	10,71 Aa	10,68 Aa
5 a 10 cm	7,19 Ba	6,92 Ba	7,89 Ba
10 a 20 cm	4,29 Cb	5,81 Ca	5,15 Ca

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Com o passar do tempo, é perceptível o aumento da quantidade de matéria orgânica nas três profundidades. O que significa que o material deixado na superfície do solo tende a ser decomposto por microrganismo e chegar as camadas mais profundas. No trabalho desenvolvido por Xavier (2013), foi observado que o tratamento que não houve uso de máquinas para o manejo e no qual os resíduos vegetais foram deixados no solo, houve o melhor resultado para ciclagem de nutrientes e aumentando os teores de carbono orgânico no solo, além de melhorar a qualidade do humus. Nesse mesmo tratamento, foi aplicado herbicida, mas o autor comenta que essa ciclagem não necessariamente aconteceu por conta da aplicação. Comparando com o presente trabalho, isso é relevante, pois em nenhum tratamento foi utilizado máquinas que ocasionasse a perturbação do solo, o que pode consequentemente favorecer a ciclagem de carbono orgânico e nutrientes no solo da área. Ribeiro (2007) também encontrou resultados semelhantes, em que não foram observadas alterações significativas nas propriedades químicas do solo, porém foi visto que a utilização de cobertura vegetal e cobertura morta mostrava uma tendência no incremento de matéria orgânica em relação ao tempo. Os autores relacionaram isso ao aumento de biomassa vegetal com relação a idade da planta, já que a partir disso, os resíduos orgânicos (folhas e ramos) teriam um maior aporte.

Para a biomassa remanescente na superfície do solo, houve interação entre os tipos de cobertura e o tempo (Tabela 6). No ano de 2019/2020, a maior quantidade de biomassa na superfície foi observada para o Capim Ruziziensis, seguido do Capim Xaraés. Já a Testemunha, Guandu e Massai apresentaram as menores quantidades de biomassa no ano de 2019/2020. Em

2020/2021, Massai e Xaraés apresentaram a maior deposição, seguidos de Ruziziensis e do Controle. O tratamento Guandu/Humidícola não apresentou biomassa remanescente pois a coleta foi feita no período de substituição das espécies, em que não houve crescimento vegetal e deposição de biomassa. Em 2021/2022, não foi verificada diferença entre os tratamentos. O Capim Xaraés foi o único que manteve os valores de biomassa remanescente constantes durante os três anos. O Capim Massai teve um aumento de biomassa no ano de 2020/2021 em relação a 2019/2020, e se manteve no terceiro ano, já no tratamento controle houve aumento em 2021/2022, em relação aos anos anteriores. O Capim Ruziziensis, apresentou maior valor em 2019/2020, porém teve uma baixa em 2020/2021 que se manteve em 2021/2022.

Tabela 6. Biomassa remanescente na superfície do solo, nas entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.

		Biomassa remanescente
		----- t ha <sup>-1</sup> -----
Tratamentos (T)	Controle	6,12 c <sup>1</sup>
	Guandu/Humidícola	5,48 c
	Capim Massai	9,36 b
	Capim Ruziziensis	11,04 a
	Capim Xaraés	11,82 a
Anos (A)	2019/2020	9,40 a
	2020/2021	6,42 b
	2021/2022	10,48 a
		-----
		Teste F <sup>2</sup>
T		26,99**
A		24,30**
T x A		13,88**
C.V. (%)		21,73

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> \*\*: Significativo a 1% de probabilidade.

A manutenção da biomassa nas entrelinhas, sem necessidade de revolvimento ou fragmentação, consiste em uma estratégia favorável para a melhora da qualidade do solo e a produtividade dos cajueiros (RIBEIRO, 2007). Freitas et al. (2019) observaram que tanto as gramíneas e leguminosas cultivadas como plantas de cobertura, quanto na vegetação espontânea da área, a produção de fitomassa na área ocasionaram bom acúmulo de nutrientes, tendo a seguinte ordem  $C > K > N > Ca > Mg > P$ . A produção de biomassa aumentou com o tempo, com isso pode-se esperar uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes nas entrelinhas do cajueiro com o passar dos anos a partir da continuidade das práticas de cobertura vegetal, inclusive com vegetação espontânea da área. Neste mesmo estudo, Freitas et al. (2019) observaram que a única espécie que mostrou resultado contrário, com diminuição do acúmulo de nutrientes com o tempo foi o capim Ruziziensis,

Tabela 7. Biomassa remanescente na superfície do solo, nas entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.

Tratamentos	Anos		
	2019/2020	2020/2021	2021/2022
	----- t ha <sup>-1</sup> -----		
Controle	5,44 Cb	3,57 Cb	9,36 Aa
Guandu/Humidícola	5,40 Cb	0,00 Dc	11,05 Aa
Capim Massai	6,37 Cb	9,83 Aa	11,88 Aa
Capim Ruziziensis	16,56 Aa	7,31 Bb	9,25 Ab
Capim Xaraés	13,21 Ba	11,41 Aa	10,84 Aa

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As sementes de guandu (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin) tiveram problemas de germinação e as plantas mostraram crescimento inicial lento. O capim-massai (*Panicum maximum* cv. Massai) também apresentou crescimento inicial lento e, devido à sua característica de formar touceiras, demorou para fechar as entrelinhas do cajueiro-anão. Por

outro lado, os capins ruziziensis e xaraés estabeleceram-se rapidamente e fecharam as entrelinhas de forma eficiente. Como resultado desses diferentes desenvolvimentos e dos cortes realizados para reduzir a altura das plantas, a quantidade de biomassa remanescente na superfície do solo foi influenciada pela espécie cultivada nas entrelinhas no primeiro ano e não foram observadas diferenças na acumulação de biomassa na superfície do solo entre o guandu, o capim-massai e a vegetação espontânea.

Teixeira *et al.* (2014) observaram que as gramíneas tendem a demorar mais para se decompor. Os autores perceberam que a braquiária mostrou o mais alto nível de cobertura do solo, chegando a alcançar 100% no momento da colheita e 97% após 84 dias. Por outro lado, a crotalária obteve o menor nível de cobertura, atingindo apenas 15% ao final do período experimental, enquanto o feijão-de-porco apresentou um índice de decomposição mais elevado, resultando em uma redução na cobertura de 81% para 52% ao longo do período avaliado. Isso se deu por conta que as leguminosas apresentaram mais nitrogênio em sua composição que acelera o processo de decomposição microbiana. Como resultado, a cobertura proporcionada pelas leguminosas diminui ao longo do tempo. Então para o presente trabalho que tem como um dos objetivos a produção de biomassa para proteção do solo, pode se confirmar que a utilização das gramíneas é a opção mais viável, ainda mais levando em consideração que o feijão-guandu não conseguiu se manter estável no solo da área.

O fracionamento do carbono orgânico total do solo (COT), tendo em vista o curto período de tempo, foi realizado apenas na camada 0 a 5 cm de profundidade pois é a camada mais superficial e que deve apresentar primeiro alterações em sua fração de carbono do que as subsuperficiais. Não houve interação entre tipo de cobertura e tempo e não houve efeito do tipo de cobertura nas diferentes frações de carbono do solo. Apenas a variável anos de cultivo apresentou diferença estatística a 1% de probabilidade para Carbono associado a minerais (COam), em que ocorreu aumento de ambas as frações apenas no ano de 2021/2022 (Tabela 8). O Carbono Particulado não sofreu alteração ao longo do tempo.

Tabela 8. Carbono particulado (CO<sub>p</sub>) e associado a minerais (CO<sub>am</sub>) das entrelinhas do cajueiro-anão, em função dos tratamentos e anos de cultivo.

		CO <sub>p</sub>	CO <sub>am</sub>
		----- g kg <sup>1</sup> -----	
Tratamentos (T)	Controle	2,63 a	4,85 a
	Guandu/Humidícola	2,84 a	4,12 a
	Capim Massai	3,04 a	3,54 a
	Capim Ruziziensis	3,29 a	4,14 a
	Capim Xaraés	2,84 a	3,41 a
Anos (A)	2019/2020	2,88 a	2,60 b
	2020/2021	2,91 a	3,90 b
	2021/2022	2,99 a	5,54 a
		Teste F <sup>2</sup>	
T		0,83 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
A		0,07 <sup>ns</sup>	9,13 <sup>**</sup>
T x A		0,43 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
C.V. (%)		32,47	54,53

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup>: Não significativo e significativo a 1% de probabilidade.

Houve aumento do carbono associado a minerais e ausência de resposta para o carbono particulado. O esperado é que a curto prazo o carbono particulado sofresse alteração para só então, em estágios mais avançados da decomposição haver associação do carbono à minerais.

De qualquer modo esse resultado demonstra o potencial de sequestro de carbono das plantas de coberturas, inclusive de espécies espontâneas, pois o carbono associado a minerais consiste em formas mais estáveis de carbono no solo. A maior eficiência da manutenção da cobertura no solo no sequestro de carbono também foi observada por Xavier (2013) em estudo que comparou o efeito do coroamento das plantas. É provável que a melhoria da qualidade do solo associada a presença de mais matéria orgânica tenha sido responsável pela maior produtividade dos cajueiros sem coroamento observada por Morais (2020). No caso do presente trabalho, ainda não foi avaliado a produção do cajueiro anão, mas baseados nos estudos e trabalhos citados, e os resultados do fracionamento já adquiridos, a expectativa é que a manutenção desse material vegetal sob a copa influencia positivamente na produtividade da cultura. É perceptível com base nos resultados que independente da cultura utilizada é importante manter uma cobertura vegetal sob o solo, pois influenciará positivamente no aumento do carbono associado a minerais, que é a fração de carbono que mais dificilmente será perdido por erosão ou lixiviação.

## CONCLUSÃO

1. O capim Xaraés seria o mais recomendado para o acúmulo de biomassa. As plantas de cobertura que tiveram os melhores resultados para a manutenção de biomassa remanescente na superfície do solo ao longo dos três anos foram o Capim Xaraés e o Capim Ruziziensis, porém, os resultados do Capim Xaraes foram mais constantes com o passar dos anos, diferente do Ruziziensis que teve uma queda no segundo ano de cultivo.
2. O Feijão-Guandu não se desenvolveu nas condições locais.
3. A braquiária humidicola, por ter sido plantada em substituição ao guandu, foi avaliada em apenas um ano, tempo insuficiente para obtenção de resultados conclusivos.
4. A preservação da biomassa remanescente se mostrou positiva para o aumento do carbono associado a minerais. Isso aconteceu em todos os tratamentos, inclusive no tratamento controle com vegetação espontânea.
5. Apesar de não haver revolvimento do solo, e a deposição da maior parte dos resíduos ocorrer sobre a superfície do solo, houve uma tendência do aumento da matéria orgânica nas camadas subsuperficiais.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. J. N.; LIMA, J. B.; BARRETO JÚNIOR, J. H. C.; CARNEIRO, F. de A.; LIMA, M. W. **Dados climatológicos: estação de Pacajus**. Fortaleza/CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 26p. (Embrapa Agroindústria Tropical - Documento, n. 60).
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agrônômica & AgroEstat** – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaaios Agrônômicos. FUNEP: Jaboticabal, 2015.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.
- BELAY, A.; LEMMA, D.; TEKALIGN, T. Effect of Different Weed Management Practices on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Cashew (*Anacardium occidentale* L.). **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2015.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. **Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1269-1276, 2007.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56. p.777-783, 1992.
- CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.632–638, 2012. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-462, 2008.
- CLEVELAND, C. C.; LIPTZIN, D. C: N: P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass. **Biogeochemistry**, v. 85, n. 3, p. 235-252, 2007.
- CORNELISSEN, J. H. C.; VAN BODEGOM, P. M.; AERTS, R.; CALLAGHAN, T. V.; VAN LOGTESTIJN, R. S.; ALATALO, J. Global negative vegetation feedback to climate warming responses of leaf litter decomposition rates in cold biomes. **Ecology Letters**, v. 10, n. 7, p. 619-627, 2007.
- CRISOSTOMO, L. A. et al. **Cultivo do cajueiro anão precoce: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e irrigação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 8 p. (Embrapa Agroindústria Tropical, Circular Técnica 08).

DEMIR, Z. et al. Effects of different cover crops on soil quality parameters and yield in an apricot orchard. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 21, p. 399-408, 2019.

DERPSCH, R., FRIEDRICH, T., KASSAM, A., & HONGWEN, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, p. 1-25.

ELFSTRAND, S.; HEDLUND, K.; MARTENSSON, A. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 610-621, 2007.

FADINI, L.A.M.; REGINA, M.A.; FRÁGUAS, J.C.; LOUZADA, J.N.C. Efeito da cobertura vegetal sobre a abundância e diversidade de inimigos naturais de pragas em vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.573-576, 2001.

FAVARATO, L. F. et al. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19-28, 2015.

FIDALSKI, J. et al. Produção de laranja com plantas de cobertura permanente na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 927-935, 2006.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.

FREITAS, M. do S. C. de, SOUTO, J. S., GONÇALVES, M., ALMEIDA, L. E. da S., SALVIANO, A. M., & GIONGO, V. Decomposition and Nutrient Release of Cover Crops in Mango Cultivation in Brazilian Semi-Arid Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

FREITAS, M do S. C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **Revista Semiárido De Visu**, 2012, p. 150-161.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação Agropecuária, abril, 2023.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **Classificação e aptidão agrícola dos solos do campo experimental de Pacajus, Ceará, para agricultura**. Fortaleza/CE: Embrapa Agroindústria Tropical. 2002. 20p. (Embrapa Agroindústria Tropical - Documento, n.53).

LIMA, L. B. de. Efeito das plantas de cobertura em sistema de plantio direto. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1410-1425, 2014.

MAIA, S. M. F. et al. Plantas espontâneas na cobertura do solo e acúmulo de nutrientes em áreas cultivadas com cajueiro. **Revista Ceres**, v. 51, p. 83-97, 2004.

MAITRA, S. et al. Green manures in agriculture: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 1319-1327, 2018.

MESSIAS, A. S.; SILVA, C. A. A. Microorganismos degradadores de resíduos sólidos. In: FIGUEIREDO, M. V. B. et al. (Eds.). **Microorganismos e biodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, 2008. p. 423-440.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura de solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do Autor, 1991.

MORAIS, G. M. et al. **Phytomass input and nutrient cycling under different management systems in dwarf cashew cultivation**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. UFLA, 2003.

MORETI, D., ALVES, M. C., VALÉRIO FILHO, W. V., & de PASSOS E CARVALHO, M. Atributos Químicos de um Latossolo Vermelho Sob Diferentes Sistemas de Preparo, Adubações e Plantas de Cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, 167-175, 2007.

NAIR, A.; NGOUAJIO, M. Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 45-55, 2012.

NOGUEIRA, N. T. *et. al.*; **Adubos Verdes como plantas de cobertura para o sistema de plantio direto em Porto Velho-RO**. Cadernos de Agroecologia, ISSN 2236-7934, vol. 6, no. 2, dez. 2011.

PACHECO, L. P. et al. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1787-1799, 2011.

PAULA LIMA, W.; ZAKIA, M.J.B. **Indicadores hidrológicos em áreas florestadas**. Série Técnica IPEF, v. 12, n. 31, p. 53-64, 1998.

PETRY, H. B. et al. Adubação com compostos orgânicos e cobertura verde do solo em pomar de tangerineiras sob cultivo orgânico. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 18, n. 2, p. 156-166, 2012.

RIBEIRO, K. A. et al. **Soil quality in soil management systems in dwarf cashew crops**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 341-351, 2007.

RODRIGUES, A. C. G. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na Região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1421-1428, 2007.

RONCATO, M. L. et al. **Efeito de plantas de cobertura de inverno na redução de perdas de solo e água**. Anais: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, 2003.

SÁ, L. N de; LEITE, J. P. A.; ROCHA FILHO, G. B. da. **A importância da cobertura vegetal no processo de erosão e degradação do solo no ensino da Geografia**. IJET-PDVL, Recife, v. 3, n. 3, p. 173-188, set./dez. 2020.

- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Decomposition of plant residues of varying lignin content in a soil incubated under laboratory conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 33, n. 4, p. 297-303, 2001.
- SANTANA, R. S. et al. Composição química e degradabilidade in vitro de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 1, p. 46-57, 2015.
- SCHIMEL, J. P.; GULLEDGE, J. Microbial community structure and global trace gases. **Global Change Biology**, v. 4, n. 7, p. 745-758, 1998.
- SEQUINATTO, L. L. et al. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, 2014.
- SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. Aspectos botânicos do cajueiro. In: SERRANO, L. A. L. (Org.). **Sistema de Produção do Caju**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2016. p. 10-23.
- SINSABAUGH, R. L. et al. Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter composition, N deposition, and mass loss. **Biogeochemistry**, v. 60, n. 1, p. 1-24, 2002.
- SILVA, A.A.; SILVA, P.R.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. & RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, p. 928-935, 2007.
- SILVA, F. C. da; EIRA, P. A. da; BARRETO, W. de O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: métodos usados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1998. 40 p. (Documentos, 3).
- SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. O. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Rev. E ampl. Brasília: [s.n.], 2009. P. 107-189.
- SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria orgânica do solo. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, Minas Gerais: Editora, 2007. p. 275-357.
- TEIXEIRA, R. A. et al. Gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura em sistema de plantio direto no nordeste do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, n. 4, p. 411-418, 2014.
- THÖNNISSEN, C. et al. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 253-260, 2000.
- VELOSO, M. G. et al. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 268, p. 15-23, 2018.

XAVIER, F. A. S. et al. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 165, p. 173-183, 2013.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1/4, p. 117-161, 1997.