



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Fabíola Mendes Martins

**Efeitos da estrutura funcional de Sistemas Agroflorestais sobre as relações C/N nos  
tecidos vegetais e serapilheira**

Florianópolis  
2021

Fabíola Mendes Martins

**Efeitos da estrutura funcional de Sistemas Agroflorestais sobre as relações C/N  
nos tecidos vegetais e serapilheira**

Dissertação submetida ao Programa de  
Agroecossistema da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do título de  
mestre em Agroecossistema

Orientador: Prof. Ilyas Siddique, Dr.

Coorientador: Prof. Fernando Joner, Dr.

Profª. Patrícia Menegaz de  
Farias, Dra.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Martins, Fabíola Mendes  
Efeitos da estrutura funcional de Sistemas  
Agroflorestais sobre as relações C/N nos tecidos vegetais  
e serapilheira / Fabíola Mendes Martins ; orientador, Ilyas  
Siddique , coorientador, Fernando Joner , coorientador,  
Patrícia Menegaz de Farias, 2021.  
75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, , Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas,  
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Agrofloresta. 3. Diversidade  
funcional e identidade funcional. 4. Atributos funcionais.  
5. Relação C/N. I. Siddique , Ilyas . II. Joner , Fernando  
. III. Farias, Patrícia Menegaz de IV. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Agroecossistemas. V. Título.

Fabiola Mendes Martins

**Efeitos da estrutura funcional de Sistemas Agroflorestais sobre as relações C/N  
nos tecidos vegetais e serapilheira**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Jucinei José Comin, Dr.  
ENR/PGA/UFSC

Prof. Diego dos Santos, Dr.  
UFFS

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que  
foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Agroecossistema

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Ilyas Siddique, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado à minha família.

## AGRADECIMENTOS

Uma pesquisa não se realiza sozinha. É preciso muitas mãos para concretizá-la. Desde o apoio familiar, ao ato de abrir o portão da fazenda, a recursos financeiros e orientações acadêmicas de conhecimento, todos foram fundamentais para realização desta pesquisa. Assim, início agradecendo:

- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do experimento através da Chamada Universal de pesquisa Nº 409638/2016-1.
- Ao PROGRAMA UNIEDU/FUMDES PÓS-GRADUAÇÃO do governo do Estado de Santa Catarina pela concessão de bolsa de estudos.
- ao Programa de Pós-graduação em Agroecossistema da UFSC, pela oportunidade de estar em uma das melhores universidades do mundo. Em especial, ao Prof. Phd. Ilyas Siddique, Coordenador do Laboratório de Ecologia Aplicada – LEAp, pela orientação da pesquisa e por todo apoio recebido. Minha admiração pela pessoa, pesquisador e cientista que é.
- aos coorientadores, Prof. Dr. Fernando Joner e Profa. Dra. Patrícia Menegaz de Farias.
- aos integrantes e amigos do LEAp pela implantação, manutenção do experimento e trocas de saberes: Diego Santos, Marinice Teleginski, Larissa Augusto, Djalma Roecker Jr, Alvaro Lemos Monteiro, Uriel Cordeiro, Jéssyca Borges, Renata Lucas, João Artur Moisés Gonzaga, Augusto Akira Hecke Kuwakino, Cícero Magnus da Silva, Bruno Castro, Jhoan Sebastian e Giovanni Jurado.
- a mestrandia Larissa Aparecida Augusto pelo compartilhamento dos dados da coleta de campo dos tecidos vegetais e pela parceria na coleta de campo da massa de serapilheira acumulada. Agradeço também, Uriel Cordeiro e Djalma Roecker Jr pela ajuda na coleta dos tecidos vegetais e massa de serapilheira acumulada.
- pela assessoria ao experimento: Nicolas Zaslavsky de Lima e Prof. Dr. Jucinei José Comin.

- a coordenação e toda equipe de técnicos e funcionários da Fazenda Experimental da UFSC pelo apoio logístico, equipamentos e infraestrutura.
- a todos que doaram os germoplasmas e composto para o experimento.
- pelas análises laboratoriais: o Prof. Dr. Gustavo Brunetto, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Professores Dr. Jucinei José Comin e Dr. Cledimar Rogério Lourenzi, responsáveis pelo Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais, do Departamento de Engenharia Rural da UFSC e Msc. Ândria Paula Lima e a doutoranda Sâmia Uchôa Bordalo pelo apoio recebido. Agradeço também ao Laboratório de Entomologia Agrícola da UFSC que cedeu sua infraestrutura laboratorial para darmos continuidade as análises devido à queima de equipamentos do Laboratório de Solos da UFSC.
- ao Laboratório Integrado de Fitotecnia e Laboratório de Sementes da UFSC, em especial ao técnico de laboratório Jean Bressan Albarello, pela estrutura física e equipamentos cedidos para o processamento do material.
- a Profa. Dra. Daniele Cristina da Silva Kazama, do Laboratório de Forragicultura, pela disponibilização dos moinhos para moagem do material.
- aos professores e professoras do Programa de Pós-graduação em Agroecossistema - PGA e também ao Prof. Maurício Sedrez dos Reis, do Programa de pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, cujas disciplinas ministradas vão para além da academia. À Fabiana Dassoler, da Coordenadoria do PGA, pelo profissionalismo, atenção e carinho que dedica aos alunos.
- a UNISUL por aceitar as trocas de meus horários de trabalho para que pudesse conciliá-lo com as disciplinas e com a pesquisa em campo.
- aos amigos e amigas que o mestrado me trouxe e aos de longa data, obrigada pela cumplicidade e apoio nessa missão.
- Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família, por me apoiar incondicionalmente neste desafio, em especial a minha mãe,

Maria Mendes Martins e minha irmã, Alzira Aparecida Mendes Martins, pelo grande apoio, pelo amor fraternal e as sábias palavras de apoio proferidas, principalmente quando a exaustão batia a minha porta por conta das demandas do trabalho profissional concomitante com os estudos curriculares e a pesquisa científica.

- A Deus.

*Sapientia*: nenhum poder, um pouco de saber, um pouco de sabedoria, e o máximo de sabor possível. (BARTHES, 1978)

## RESUMO

Para simplificar e generalizar os efeitos complexos da diversificação sobre o funcionamento dos agroecossistemas e seus serviços para a humanidade, convém analisar o quanto as características morfofisiológicas e bioquímicas (*'atributos funcionais'*) das plantas cultivadas explicam as funções agroecossistêmicas prioritárias. Tanto os valores médios ou dominantes de atributos (*'identidade funcional'*) como a sua variação (*'diversidade funcional'*) entre plantas coexistentes num ecossistema influenciam as funções ecossistêmicas chaves. O objetivo da pesquisa foi analisar o efeito da estrutura funcional (identidade e diversidade funcional) de culturas consorciadas em Sistemas Agroflorestais Sucessionais sobre a massa de serapilheira e as relações de carbono e nitrogênio nos tecidos vegetais e serapilheira de espécies adubadeiras. A pesquisa foi desenvolvida dentro de um experimento mais amplo de Sistema Agroflorestal Agroecológico Sucessional (SAFS), na unidade experimental da UFSC, Fazenda Ressacada, em Florianópolis. O experimento foi instalado em 2016, em consórcios de cultivos com idêntico número de espécies (riqueza), mas que variam em diversidade funcional, a partir da característica funcional de concentração de nitrogênio foliar (LNC), sendo composto por 3 tratamentos: baixo N foliar, médio N foliar e alto N foliar, disposto em faixas arbóreas e adubadeiras. A média/ dominância dos atributos funcionais foram medidas pelo índice CWM e a diversidade funcional medida pelo índice de RAO. Os resultados possibilitaram observar que as identidades funcionais do Conteúdo de Matéria Seca Foliar e do pH explicaram melhor a massa de serapilheira acumulada sobre o solo. As relações C:N das folhas, caules e serapilheira também foram influenciadas pela dominância dos atributos funcionais analisados. Os tratamentos N Foliar influenciaram significativamente a identidade funcional dos atributos Conteúdo Matéria Seca Foliar, Área Foliar Específica, pH e Concentração de Nitrogênio Foliar). Esses resultados podem ser explicados pela teoria de que são as características funcionais das espécies dominantes de uma comunidade que mais afetam os processos ecológicos associados aos serviços ecossistêmicos. A diversidade funcional não apresentou efeitos significativos sobre massa de serapilheira acumulada. Para a relação C:N de folhas, caules e serapilheira, a diversidade funcional apresentou uma correlação positiva, mas de fraca influência sobre o atributo funcional Conteúdo de Matéria Seca Foliar, pH e Área Foliar Específica. O tratamento médio N foliar apresentou alto índice de diversidade funcional, composto por mistura de plantas de baixo e alto teor de nitrogênio foliar, sendo considerado como de alta diversidade funcional. A base teórica da diversidade funcional discorre que seus índices de diversidade funcional estão associados à montagem da comunidade, o que pode ter influenciado os resultados, uma vez que, o conjunto das espécies adubadeiras analisadas eram poucas (duas espécies para cada tratamento), pois o efeito da complementariedade de nicho acontece em conjuntos de espécies funcionalmente diversas. As relações C:N das folhas, caules e serapilheira apresentaram resultados semelhantes em relação aos tratamentos N foliar. As menores relações foram encontradas no tratamento alto N foliar, seguido pelo tratamento médio N foliar e baixo N foliar. Esse resultado pode estar relacionado com a composição do tratamento alto N Foliar, conferindo uma relação C:N mais baixa.

**Palavras-chave:** Identidade funcional. Diversidade funcional. Atributo funcional

## ABSTRACT

In order to simplify and generalize the complex effects of diversification on the functioning of agroecosystems and their services to humanity, it is convenient to analyze how much the morphophysiological and biochemical characteristics ('functional attributes') of cultivated plants explain the priority agroecosystem functions. Both the average or dominant attribute values ('functional identity') and their variation ('functional diversity') among coexisting plants in an ecosystem influence key ecosystem functions. The objective of the research was to analyze the effect of the functional structure (identity and functional diversity) of intercropped crops in Successional Agroforestry Systems on the litter mass and the carbon and nitrogen relationships in plant and litter tissues of fertilizer species. The research was carried out within a broader experiment of the Agro-ecological Successional Agroforestry System (SAFS), at the UFSC experimental unit, Fazenda Ressacada, in Florianópolis. but that vary in functional diversity, from the functional characteristic of leaf nitrogen concentration (LNC), being composed of 3 treatments: low leaf N, medium leaf N and high leaf N, arranged in arboreal and fertilizer strips. The mean/dominance of the functional traits was measured by the CWM index and the functional diversity measured by the RAO index. The results made it possible to observe that the functional identities of leaf dry matter content and pH better explained the litter mass accumulated on the soil. The C:N ratios of leaves, stems and litter were also influenced by the dominance of the analyzed functional trait. The N Foliar treatments significantly influenced the functional identity of the trait Leaf Dry Matter Content, Specific Leaf Area, pH and Leaf Nitrogen Concentration). These results can be explained by the theory that it is the functional trait of the dominant species in a community that most affect the ecological processes associated with ecosystem services. Functional diversity did not show significant effects on accumulated litter mass. For the C:N ratio of leaves, stems and litter, the functional diversity showed a positive correlation, but with a weak influence on the functional trait Leaf Dry Matter Content, pH and Specific Leaf Area. The medium N leaf treatment presented a high index of functional diversity, composed of a mixture of plants with low and high content of leaf nitrogen, being considered as having high functional diversity. The theoretical basis of functional diversity states that its functional diversity indices are associated with community assembly, which may have influenced the results, since the set of fertilizer species analyzed were few (two species for each treatment), as the The niche complementarity effect happens in functionally diverse species sets. The C:N ratios of leaves, stems and litter showed similar results in relation to N leaf treatments. The lowest relationships were found in the high leaf N treatment, followed by the medium leaf N and low leaf N treatment. This result may be related to the composition of the high N Foliar treatment, giving a lower C:N ratio.

**Keywords:** Functional identity. Functional diversity. Functional trait.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Delineamento experimental: distribuição e dimensões dos blocos, parcelas e tratamentos. Em laranja, as parcelas. Dentro das parcelas, tem-se os tratamentos experimentais. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B – Baixo N foliar, M – Médio N foliar, A – Alto N foliar ..... 26
- Figura 2 a) Croqui de implantação do tratamento **Baixo N Foliar** por espécies, linhas, faixas e hábito de crescimento. .... 28
- Figura 3. a) Experimento em desenvolvimento - Tratamento Baixo N Foliar. .... 31
- Figura 4. a) Representação dos pontos de coletas das amostras de tecido vegetal realizado por metro linear aleatorizado em cada parcela experimental (em amarelo). b) coleta da biomassa ..... 33
- Figura 5. a) Representação dos pontos de coletas das amostras de serapilheira (em amarelo) em cada parcela experimental. Pontos aleatorizado de modo a abranger a linha e entrelinha. b) Coleta realizada com quadro de 0,5m. .... 34
- Figura 6 Gráfico apresentando a influência das espécies adubadeiras: Banana (*Musa paradisiaca*), Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*) Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre média do atributo funcional a) Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC); b) Concentração de Nitrogênio Foliar (LNC); c) Área foliar específica (SLA) ;..... 38
- Figura 7 - Gráfico apresentando a influência das espécies adubadeiras: Banana (*Musa paradisiaca*), Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*) Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre média do atributo funcional pH..... 39
- Figura 8 Diagrama de caixa apresentando os efeitos da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e das faixas adubadeiras de 2016 e 2018 sobre a Identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais foliares: a) CWM\_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar); b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC (concentração de nitrogênio foliar); d) CWM\_SLA (área foliar específica)..... 41
- Figura 9 – Diagrama de caixa apresentando os efeitos da diversidade funcional desenhada (Tratamentos N Foliar) e das faixas adubadeiras de 2016 e 2018 sobre a

diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais foliares : a) RAO\_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar); b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC (concentração de nitrogênio foliar); d) DF\_SLA (área foliar específica). ..... 45

Figura 10 Diagrama de médias estimadas apresentando o efeito da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre a massa de serapilheira acumulada. .... 48

Figura 11 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da relação entre identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre a massa de serapilheira acumulada, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC; d) CWM\_SLA..... 49

Figura 12 Diagrama de caixa apresentando o efeito da influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e Faixa Adubadeira de 2016 e 2018 sobre a relação CN : a) serapilheira; b) caule; c) folha..... 52

Figura 13 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN da Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA..... 54

Figura 14 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN do caule, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA ..... 55

Figura 15 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN da folha, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA ..... 56

Figura 16 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA. .... 57

Figura 17 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Caule, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA. .... 58

Figura 18 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Folha, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA. .... 59

Figura 19 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando a influência da relação CN\_Caule e CN\_Folha sobre a relação CN\_Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CN\_Caule; b) CN\_Folha ..... 60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Relação de atributos funcionais e suas respectivas funções ecológicas. ....	35
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de variância a um fator ANOVA. Avaliando a influência das espécies adubadeiras Banana ( <i>Musa paradisiaca</i> ), Feijão-guandu ( <i>Cajanus cajan</i> ), Cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) e Capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum Schumach.</i> ) sobre os atributos funcionais.....	37
Tabela 2 - Análise de variância a um fator – não paramétrica <i>Kruskal-Wallis</i> . Avaliando a influência das espécies adubadeiras Banana ( <i>Musa paradisiaca</i> ), Feijão-guandu ( <i>Cajanus cajan</i> ), Cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) e Capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum Schumach.</i> ) sobre o atributo funcional pH.....	39
Tabela 3 Análise de variância a um critério – não paramétrica <i>Kruskal-Wallis</i> . Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamentos N Foliar) sobre a identidade funcional observada (CWM). ....	40
Tabela 4 Análise de variância a um critério – não paramétrica <i>Kruskal-Wallis</i> . Avaliando a influência das Faixas Adubadeiras sobre a identidade funcional observada (CWM). ....	41
Tabela 5 Análise de variância a um critério – não paramétrica <i>Kruskal-Wallis</i> . Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre a diversidade funcional observada (RAO).....	44
Tabela 6 Análise de variância a um critério – não paramétrica <i>Kruskal-Wallis</i> . Avaliando a influência da Faixa Adubadeira sobre a diversidade funcional observada (RAO). ....	44
Tabela 7 - Análise de variância - ANOVA - Massa_serapilheira_t_ha. Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e as faixas adubadeiras sobre a massa de serapilheira acumulada ao solo. ....	47
Tabela 8 – Matriz de correlação de <i>Spearman's</i> apresentando o efeito da relação entre a massa de serapilheira acumulada ao solo e a diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados. ....	50
Tabela 9 Análise de variância não paramétrica <i>Kruskall Wallis</i> , avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre as relações C:N de serapilheira, caule e folha.....	51
Tabela 10 Análise de variância não paramétrica <i>Kruskall Wallis</i> , avaliando a influência das faixas adubadeiras sobre as relações C:N de serapilheira, caule e folha .....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CN Relação carbono e nitrogênio

CWM Média funcional das comunidades (Índice de identidade funcional)

LNC Concentração de Nitrogênio Foliar

LDMC Conteúdo de matéria seca foliar

SAF Sistema Agroflorestal

SAFS Sistema Agroflorestal Sucessional

SLA Área foliar específica

RAO Entropia Quadrática de RAO (Índice de diversidade funcional)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	HIPÓTESE .....	18
1.2	OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	SISTEMAS AGROFLORESTAIS .....	19
2.2	ESTRUTURA FUNCIONAL: IDENTIDADE E DIVERSIDADE FUNCIONAL .....	20
2.3	PARÂMETRO DE QUALIDADE: RELAÇÃO CARBONO E NITROGÊNIO (C:N) .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	LOCAL DE ESTUDO .....	25
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	25
3.3	COLETA DE DADOS E ANÁLISES LABORATORIAIS .....	32
<b>3.3.1</b>	<b>Coleta da biomassa dos tecidos vegetais .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Coleta da serapilheira.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Análise dos teores de C e N .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Análise dos atributos funcionais.....</b>	<b>35</b>
3.4	ÍNDICES DA ESTRUTURA FUNCIONAL .....	35
<b>3.4.1</b>	<b>Identidade Funcional (CWM) .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Diversidade Funcional (RAO) .....</b>	<b>36</b>
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
5.1	EFEITO DA IDENTIDADE FUNCIONAL OBSERVADA (CWM) .....	61

5.2	EFEITO DA DIVERSIDADE FUNCIONAL OBSERVADA (RAO) .....	63
5.3	EFEITO DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DESENHADA (TRATAMENTOS N Foliar) .....	64
5.4	EFEITO DAS RELAÇÕES C:N FOLHAS E CAULES SOBRE AS RELAÇÕES C:N SERAPILHEIRA .....	65
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE A – COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS DE ACORDO COM AS ESPÉCIES E HÁBITO DE CRESCIMENTO..</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE B – CRONOGRAMA DE MANEJO DAS FAIXAS ADUBADEIRAS</b> .....	<b>75</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso excessivo de adubos para suprimir necessidades de um agroecossistema em desequilíbrio nutricional, causa a lixiviação e contaminação das águas. Esse desequilíbrio impacta diretamente na produção de alimentos, na fertilidade do solo e na qualidade da água, com efeitos na biodiversidade e no funcionamento do ecossistema (POWER, 2010).

Para mitigar o desequilíbrio nutricional, preservar a biodiversidade e apresentar um uso eficiente de nutrientes, a alternativa é manejar os agroecossistemas usando conceitos e teorias da ecologia de ecossistemas naturais. Sistemas agroflorestais têm grande potencial para recuperar e manter múltiplos serviços ecossistêmicos de provisão e de regulação ao mesmo tempo, no mesmo espaço na Mata Atlântica brasileira (SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019) e outras partes do mundo (KUYAH et al., 2019; SHIN et al., 2020). E nesse aspecto, principalmente os Sistemas Agroflorestais Sucessionais (SAFS), com sistemas complexos de diversificação, que combinam a produção agrícola com regeneração, simulando o ambiente florestal, em termos de diversidade, estrutura e dinâmica sucessional, otimizam a integração de alta produtividade agrícola e recuperação de serviços ecossistêmicos (SANTOS et al., 2021a; YOUNG, 2017).

Para simplificar e generalizar os efeitos complexos da diversificação sobre o funcionamento dos agroecossistemas e seus serviços para a humanidade, convém analisar o quanto as características morfofisiológicas e bioquímicas (*'atributos funcionais'*) das plantas cultivadas explicam as funções agroecossistêmicas prioritárias (MARTIN; ISAAC, 2018; WOOD et al., 2015). Por exemplo, atributos químicos e físicos das folhas, caules e raízes das plantas exercem fortes influências sobre a disponibilidade e perda de nutrientes, proteção de solos contra erosão, sequestro de carbono, etc. (FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017). Tanto os valores médios ou dominantes de atributos (*'identidade funcional'*) como a sua variação (*'diversidade funcional'*) entre plantas coexistentes num ecossistema influenciam as funções ecossistêmicas chave (GARNIER; NAVAS, 2012). Os atributos funcionais como o conteúdo de matéria seca foliar (*Leaf Dry Matter Content - LDMC*), a área foliar específica (*Specific Leaf Area - SLA*), a concentração de nitrogênio foliar (*Leaf Nitrogen Concentration - LNC*) e pH foliar são características importantes das folhas vivas relacionadas às suas propriedades estruturais e qualidade do tecido, que afetam a taxa de crescimento da planta e a qualidade da serapilheira (CORNELISSEN et al., 2011; CORTEZ et al., 2007). (CORNELISSEN et al., 2011; CORTEZ et al., 2007). Esses atributos funcionais interferem

tanto no acúmulo de C e N nos tecidos vegetais, quanto na decomposição da serapilheira e liberação desses nutrientes para o solo (MILCU et al., 2014). Por mais importantes que sejam as características químicas das plantas para a compreensão do funcionamento do ecossistema e dos processos biogeoquímicos, poucos estudos abordam como as relações carbono e nitrogênio (C:N) da planta se alteram com a diversidade e composição da planta (SANTOS et al., 2021a; ZHANG et al., 2018). A relação C:N é um dos parâmetros mais reconhecidos e que exercem influência na decomposição e liberação de nutrientes (PALM et al., 2001) e também em outros fatores. Por exemplo, o aumento na disponibilidade de nutrientes na serapilheira é influenciado por baixas relações C:N, enquanto a mitigação da erosão do solo por serapilheira é impulsionada por alta relação C:N (FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017). Ou seja, há atributos funcionais que podem promover a aquisição ou a conservação de recursos, bem como a decomposição rápida ou lenta de nutrientes (DÍAZ et al., 2004).

Sabe-se que um SAF é composto por uma riqueza de espécies, mas também por uma riqueza de grupos funcionais como plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas, com diferentes características funcionais (SIDDIQUE et al., 2019). Sua serapilheira é constituída não somente de resíduos senescentes, mas fortemente por resíduos provenientes das podas, sendo a principal entrada de nutrientes (NAIR et al., 1999). Toda essa diversificação da biomassa gerada pode afetar significativamente as relações de carbono: nutrientes (ABBAS et al., 2013) e a massa de serapilheira. Tem-se estudos sobre a riqueza de espécies e a ciclagem de nutrientes em SAF, mas faltam estudos sobre a complementariedade em si das espécies que o compõem, a partir da estrutura funcional. E é a partir deste contexto, que se questiona: Como a estrutura funcional (identidade e diversidade funcional) de culturas consorciadas em Sistemas Agroflorestais afeta a massa de serapilheira e as relações de carbono e nitrogênio nos tecidos vegetais e na serapilheira?

Para tentar responder a esta pergunta, esta dissertação foi desenvolvida como parte de um experimento, de longa duração, planejado pelos professores e estudantes do Laboratório de Ecologia Aplicada (LEAp) da UFSC. O experimento foi implantado na Fazenda Experimental da Ressacada (Florianópolis) em 2016, usando Sistema Agroflorestal Agroecológico Sucessional (SAFS). Os primeiros resultados já foram apresentados em 2019, por meio de duas dissertações intituladas: Efeitos da identidade e diversidade funcionais sobre o acúmulo de serapilheira e a respiração basal em um agroecossistema no Sul do Brasil, defendida por Jéssyca Barroso Borges e Efeitos da estrutura funcional de consórcios agroflorestais agroecológicos em estágio inicial sobre a cobertura total e atributos funcionais de plantas espontâneas,

defendida por Renata Rodrigues Lucas; em 2020, uma tese intitulada: Complementaridade de nichos e multifuncionalidade de sistemas agroflorestais sucessionais, defendida por Diego dos Santos. Cabe ressaltar que a tese em questão foi premiada com o Prêmio Tese Capes 2021, na área de Ciências Ambientais, além de artigos publicados em revistas internacionais de alto impacto. O experimento atualmente consta com mais 5 dissertações e duas teses em andamento, que serão defendidas entre os anos de 2021 a 2023.

A ideia central do experimento consiste em consórcios de cultivos com idêntico número de espécies (riqueza) que variam em diversidade funcional. Com isso, os pesquisadores do LEAp procuram entender de que forma a diversidade planejada interage com fatores ambientais e com a biodiversidade associada nos agroecossistemas; e como influenciam seu funcionamento e os benefícios para os seres humanos. Para esta pesquisa, a diversidade funcional planejada, definida a partir das características funcionais dispostos na literatura, será denominada como Estrutura Funcional Desenhada. Importante ressaltar que a literatura mostrou que atributos funcionais de plantas têm sido amplamente utilizados, principalmente devido à disponibilidade de informações em bases de dados globais ( PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016; KATTGE et al., 2011). No entanto os atributos funcionais quando medidos em condições reais de campo, possuem diferenças em seus valores, pois estão sujeitos às influências de fatores ambientais (LAVOREL; GARNIER, 2002).

Neste sentido, esta pesquisa também utilizou as medições dos atributos funcionais no próprio experimento, sendo aqui denominado de Estrutura Funcional Observada. O consórcio das espécies no experimento foi distribuído em faixas de espécies arbóreas e adubadeiras. Destas, nos concentramos em observar os resultados gerado pelas faixas adubadeiras pela importância de aumentar a disponibilidade de nutrientes, na fase de acumulação nos Sistema Agroflorestal Sucessional (SAFS) (REBELLO; SAKAMOTO, 2021). Objetivamos então, analisar o efeito da estrutura funcional de culturas consorciadas em Sistemas Agroflorestais Sucessionais sobre a massa de serapilheira e as relações de carbono e nitrogênio nos tecidos vegetais e serapilheira. A hipótese construída é de que SAFS com alta diversidade funcional (planejados com espécies de plantas com atributos funcionais complementares) apresentam maior capacidade de produzir palhada para cobrir o solo e fornecer fontes de nutrientes para as plantas, do que SAFS com atributos funcionais homogêneos.

Os resultados dessa pesquisa contribuirão para montagem de SAF que possibilitem recuperar agroecossistemas em desequilíbrio biogeoquímicos, como os situados na região do litoral catarinense, que possuem terras com riscos de degradação ou limitações permanentes

severas (THOMÉ et al., 1999), cujos solos apresentam restrições relativas à baixa fertilidade natural além de problemas referentes à erosão (EMBRAPA, 2004).

## 1.1 HIPÓTESE

SAFS com alta diversidade funcional (planejados com espécies de plantas com atributos funcionais complementares) apresentam maior capacidade de produzir serapilheira para cobrir o solo e fornecer nutrientes para as plantas, do que SAFS com atributos funcionais homogêneos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Compreender o efeito da estrutura funcional de culturas consorciadas em Sistemas Agroflorestais Sucessionais sobre a massa de serapilheira, assim como sobre as relações de carbono e nitrogênio nos tecidos vegetais e serapilheira.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da estrutura funcional observada e desenhada sobre a massa de serapilheira.;
- Analisar o efeito da estrutura funcional observada e desenhada sobre as relações C:N nos tecidos vegetais (folhas e caules).;
- Analisar o efeito da estrutura funcional observada e desenhada sobre as relações C:N na serapilheira acumulada.
- Analisar a influência das relações C:N dos tecidos vegetais das folhas e caules das culturas consorciadas sobre a relação C:N na serapilheira acumulada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os Sistemas Agroflorestais – SAFs oferecem benefícios econômicos, sociais e ambientais aos agricultores. Eles são alternativas para aumentar a produção agrícola, reduzir a pobreza no campo e ao mesmo tempo oportunizar uma sustentabilidade ecológica por meio de serviços ecossistêmicos ofertados. Os SAFs oferecem estratégias para a conservação da diversidade de plantas e organismos do solo, controle da erosão, melhoria da qualidade do ar e da água e aumento da fertilidade do solo (JOSE, 2009), contribuindo para a restauração de ecossistemas terrestres tropicais degradados (SANTOS et al., 2021b). Pelo fato de ter um conceito amplo, os sistemas agroflorestais permitem que um variado leque de sistemas agrícolas sejam classificados como agroflorestais (JONER, 2017). Assim, o arranjo de espécies, no tempo e no espaço, são fatores que diferenciam as várias categorias de SAFs existentes, bem como seu grau de complexidade aumenta de acordo com a natureza e o número de espécies consorciadas e categorias de estrato e cultivos (MALEZIEUX et al., 2009).

Os sistemas agroflorestais que combinam a produção de madeira e alimentos com o manejo de comunidades em regeneração são conhecidos como sistemas agroflorestais sucessionais, pois buscam simular o ambiente florestal, em termos de diversidade, estrutura e dinâmica sucessional (YOUNG, 2017). Estes SAFs têm grande similaridade com as florestas naturais devido à grande quantidade de deposição de resíduos tanto pela parte aérea, quanto pelas raízes das plantas, bem como à alta diversidade de espécies de plantas e ao ciclo constante de nutrientes (JOSE, 2009).

Sistemas agroflorestais sucessionais são consistem em um caminho para a sustentabilidade em áreas rurais, combinando a biodiversidade com a produção agrícola, mantendo assim os processos que autorregulam as funções do ecossistema (JOSE, 2012), pois cada estágio do sistema produz as condições ambientais necessárias para o próximo estágio (VIEIRA; HOLL; PENEIREIRO, 2009). Uma característica forte desse sistema é plantio de alta diversidade e densidade de espécies, o que resulta em um constante aporte de matéria orgânica depositada no solo por meio da biomassa proveniente do manejo da poda e da capina. Essa ação possibilita acelerar os processos naturais de decomposição e disponibilização de

nutrientes para as plantas (SCHULER, 2017; SIDDIQUE et al., 2019) que poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas inseridas no sistema. Assim, em um SAF, a formação da serapilheira, não ocorre somente com a queda das folhas do componente arbóreo, mas principalmente com os resíduos das podas. As árvores podem afetar o teor de nutrientes do solo, explorando os nutrientes das camadas mais profundas e depositando-os na superfície, como serrapilheira ou por meio da poda. A matéria orgânica depositada no solo por meio do manejo de sistemas agroflorestais sucessionais contribui com um substrato rico em nutrientes para a fauna de invertebrados e microbiota do solo, melhorando a ciclagem de nutrientes e os níveis de fertilidade do solo para sustentar a produção agroflorestal (SANTOS et al., 2021b) e com isso contribui para a restauração de ecossistemas terrestres tropicais degradados (SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019).

## 2.2 ESTRUTURA FUNCIONAL: IDENTIDADE E DIVERSIDADE FUNCIONAL

A estrutura funcional é um conceito da ecologia funcional ou ecologia de atributos, vinculado diretamente à biodiversidade (ROSENFELD; MÜLLER, 2020) e que afeta a prestação de serviços ecossistêmicos (MACE; NORRIS; FITTER, 2012). Os serviços ecossistêmicos relacionados com a biodiversidade usam principalmente a riqueza de espécies como medida de diversidade (CARDINALE et al., 2012), mas as pesquisas científicas têm mostrado que a diversidade filogenética e de atributos funcionais podem ser melhores preditores do funcionamento do ecossistema que a riqueza de espécies (ISBELL et al., 2017), pois têm se mostrado mais sensíveis para detectar respostas das comunidades às mudanças ambientais do que as medidas tradicionais de diversidade (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009; PETCHEY; GASTON, 2006). Entre estas duas dimensões citadas, esta dissertação tem foco na diversidade funcional.

A estrutura funcional das comunidades tem contribuído para explicar os padrões de diversidade (KRAFT; VALENCIA; ACKERLY, 2008), e pode ser compreendida pela identidade funcional e a diversidade funcional (GARNIER; NAVAS, 2012). Para entender esses dois componentes, é preciso primeiro definir o que são os atributos funcionais, também entendidos como características funcionais. Os atributos funcionais são definidos como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica mensurável no nível do

indivíduo, e seus valores obtidos em qualquer lugar e tempo, sendo, variáveis (VIOLLE et al., 2007) e que possam afetar o funcionamento do ecossistema (LAVOREL; GARNIER, 2002). Exemplos de atributos funcionais: área foliar, conteúdo de nitrogênio foliar, tamanho de raiz, tamanho da semente, altura da planta, conteúdo de matéria seca foliar, pH foliar, entre outros (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016). A maioria dos valores dos atributos funcionais são obtidos da literatura e dificilmente são medidos no local (CALAÇA; GRELE, 2016).

A identidade funcional pode ser entendida como o valor da característica funcional dominante na comunidade (GARNIER; NAVAS, 2012). Este componente da estrutura funcional está relacionado com a hipótese da razão de massa (TOBNER et al., 2016) que sugere que a função do ecossistema é controlada pela espécie dominante em uma comunidade (GRIME, 1998). Neste sentido, os atributos funcionais das espécies dominantes são os que mais afetam os processos ecológicos associados aos serviços ecossistêmicos (TOBNER et al., 2016; DÍAZ et al., 2007). Por exemplo, as características químicas de uma determinada espécie dominante influenciam significativamente sua resposta à mistura de serapilheira e portanto, terá maior efeito na decomposição (LIN; ZENG, 2018). A identidade funcional pode ser medida por meio da média dos valores dos atributos, ponderada pela abundância das espécies que fazem parte da comunidade, conhecida como *Community Weighted Mean* (GARNIER et al., 2004).

As respostas das plantas às condições ambientais e ao impacto nos processos do ecossistema são conduzidas por um conjunto mais amplo de características funcionais. No entanto, a variação nas características químicas e morfológicas das folhas são relevantes para controlar por exemplo, a decomposição e o ciclo de nutrientes em várias escalas espaciais (VIOLLE et al., 2007). Isso porque, há atributos funcionais que podem promover a aquisição ou a conservação de recursos bem como a decomposição rápida ou lenta de nutrientes (DÍAZ et al., 2004). Por exemplo, os atributos funcionais como o conteúdo de matéria seca foliar (*Leaf Dry Matter Content - LDMC*), a área foliar específica (*Specific Leaf Area - SLA*), a concentração de nitrogênio foliar (*Leaf Nitrogen Concentration - LNC*) são características importantes das folhas vivas relacionadas às suas propriedades estruturais e qualidade do tecido, que afetam a taxa de crescimento da planta e a qualidade da serapilheira (CORTEZ et al., 2007). Altos valores de LDMC e baixos valores de LNC estão associados a estratégia de uso de recursos conservador, acumulando mais C e N na biomassa viva e menores liberações de C e N na decomposição da serapilheira (MILCU et al., 2014). Porém folhas com maiores concentrações de LNC tendem a se decompor mais rapidamente, pois o N é crítico para micróbios envolvidos na decomposição, o que amplifica a importância do N da folha nas taxas de decomposição. Já

altos valores de SLA estão associados a aquisição devido à alta entrada de C por meio da alta eficiência do uso do N fotossintético (FENG; FU; ZHENG, 2008). O pH foliar está associado a processos de ciclagem de carbono, decomposição da serapilheira, herbivoria, entre outras predições (CORNELISSEN et al., 2011). Sendo assim, dependendo das características morfológicas, fenológicas e fisiológicas, diferentes espécies de plantas com diferentes potencialidades para armazenar e dispor C e N para o solo (CONTI; DÍAZ, 2013). A diversidade funcional aponta que a variação do valor e da amplitude de características funcionais (atributos funcionais) dos organismos influenciarão um determinado ecossistema (TILMAN, 2001), ou seja, espécies com diferentes medidas de características funcionais terão melhor aproveitamento dos recursos quando comparadas com comunidades menos diversas, impactando positivamente, por exemplo, nos ciclos biogeoquímicos. O valor dos atributos funcionais trata-se da presença e da abundância relativa de atributos como por exemplo, valores de área foliar, já a amplitude dos atributos se refere à diferença entre os valores extremos desses atributos, por exemplo, amplitude da área foliar (DÍAZ; CABIDO, 2001). A diversidade funcional está vinculada a hipótese de complementariedade de nicho. A hipótese de complementariedade de nicho sugere que o aumento da riqueza de espécies aumenta a eficiência do uso de recursos devido à diferenciação de nicho, melhorando assim a função do ecossistema (TILMAN; ISBELL; COWLES, 2014). Por exemplo, comunidades com maior diversidade funcional apresentam maior decomposição em comparação com comunidades com baixa diversidade funcional (KUEBBING; MAYNARD; BRADFORD, 2018).

Dois pontos importantes que vale destacar sobre a estrutura funcional: um é em relação aos índices de diversidade funcional. Dentro do campo da ecologia funcional há um amplo debate quanto ao índice mais adequado para medir a diversidade funcional (TILMAN, 2001), pois a influência da riqueza das espécies sobre os índices, o número e o tipo de atributos, as medidas de distância, agrupamento utilizados, a abundância de espécies e as várias facetas da diversidade funcional são fatores que podem exercer influência nos resultados (GARNIER; NAVAS, 2012; SCHLEUTER et al., 2010). Como alternativa a esta discussão, o índice multivariado, baseado na entropia quadrática de Rao (Q) (BOTTA-DUKÁT, 2005; RAO, 1982), que é semelhante a outros índices, tem sido bastante utilizado em estudos de diversidade funcional por incorporar dados de abundância das espécies e as diferenças funcionais entre as mesmas (BOTTA-DUKÁT, 2005). O outro ponto é em relação à estrutura funcional. A identidade funcional e diversidade funcional não são processos excludentes. Ambos podem

atuar juntos explicando a quantidade de variação em diferentes situações (MOUILLOT et al., 2011).

### 2.3 PARÂMETRO DE QUALIDADE: RELAÇÃO CARBONO E NITROGÊNIO (C:N)

Nos Sistemas Agroflorestais sob as mesmas condições edafoclimáticas, a qualidade da biomassa passa a ser a principal variável reguladora do processo de decomposição, pois a entrada de nutrientes nos Sistemas Agroflorestais ocorre principalmente via decomposição da biomassa gerada (NAIR et al., 1999) por meio da serapilheira e das podas. Neste sistema, a biomassa gerada é utilizada como fonte de nutrientes para o solo e, em consequência, para as culturas, sendo importante manter o equilíbrio entre a liberação de nutrientes e absorção pelas plantas. Quando há o equilíbrio, o nutriente liberado para a planta por meio da decomposição poderá ser utilizado para aumentar a produtividade (NAIR, 1993).

A análise qualitativa e quantitativa do material orgânico da serapilheira, sua taxa de decomposição, são importantes para a compreensão da dinâmica e funcionamento dos ecossistemas, por constituírem um processo importante de transferência de nutrientes da fitomassa para o solo (ANDRADE; CABALLERO; FARIA, 1999). Os padrões de liberação de nutrientes de materiais orgânicos são, em parte, determinados por sua composição química ou qualidade (PALM, 1995). Alguns parâmetros são utilizados para caracterizar a qualidade da serapilheira e da biomassa aportada ao solo (MAFONGOYA; GILLER; PALM, 1998). Dentre os diversos índices propostos para inferir sobre a qualidade e que influenciam a decomposição e liberação de nutrientes, a relação C:N é um dos mais reconhecidos e utilizados (PALM et al., 2001). A rápida decomposição da fitomassa e a mineralização de nutrientes estão associadas à alta qualidade e, inversamente, a imobilização ou liberação lenta referem-se à baixa qualidade (PALM, 1995; SWIFT MJ; ANDERSON, 1979). Normalmente, a decomposição de MS de tipos de resíduos vegetais depositados na superfície do solo é explicada, pela relação C/N, bem como pela relação celulose/lignina e lignina/N (GENTILE et al., 2009; MANZONI et al., 2008). Resíduos com relação C/N menor que 30, comparativamente àqueles com relação C/N maior que 30, são mais facilmente colonizados pela população microbiana, porque há mais N disponível para a constituição de seu tecido, o que aumenta a mineralização de componentes do resíduo e, por consequência, se reflete em menor matéria seca remanescente (FERREIRA et al.,

2014) .. Ou seja, as entradas orgânicas com alto N liberarão nutrientes mais rapidamente, sendo consideradas de alta qualidade. Já as entradas orgânicas com pouco N, liberarão nutrientes lentamente ou poderão até mesmo imobilizá-los, sendo consideradas de baixa qualidade (MAFONGOYA; GILLER; PALM, 1998). Essa relação alta ou baixa, implica no equilíbrio entre liberar nutrientes para a cultura e a demanda de nutrientes pela mesma e, portanto, para eficiência do uso de nutrientes (MAFONGOYA; GILLER; PALM, 1998), interferindo também na degradação da cobertura do solo e na atividade microbológica. Por exemplo, o aumento na disponibilidade de nutrientes é influenciado por baixas relações C: N na serapilheira, enquanto a mitigação da erosão do solo por serapilheira é impulsionada por alta relação C: N (FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017) .

### 3 MATERIAIS E METÓDOS

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na Fazenda Ressacada, unidade experimental da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, em Florianópolis, Brasil (27 ° 41'7 "S, 48 ° 32'28" W). A região possui um clima subtropical úmido (Cfa - classificação climática de Köppen). O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico (EMBRAPA, 2006), pouco intemperizado, incipiente, com baixa fertilidade natural e arenoso. Antes da instalação do experimento, o local era intensivamente manejado para a produção de arroz em sistema convencional. Uma área de aproximadamente 0,15 ha foi capinada usando a enxada rotativa e o conjunto de espécies de cultivo foram plantados manualmente nos meses de outubro e novembro de 2016 e 2018.

#### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O Sistema Agroflorestal Sucessional foi implantando em novembro de 2016, passando por uma reestruturação em 2018. O experimento foi dividido em parcelas quadradas de 9 x 9m com 0,5m de bordadura, sob delineamento em blocos casualizados. Foram implantados seis blocos, com três tratamentos, sendo distribuídos aleatoriamente, totalizando 18 parcelas ou unidades experimentais (Figura 1).

Figura 1. Delineamento experimental: distribuição e dimensões dos blocos, parcelas e tratamentos. Em laranja, as parcelas. Dentro das parcelas, tem-se os tratamentos experimentais. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B – Baixo N foliar, M – Médio N foliar, A – Alto N foliar



Fonte: Imagem manipulada do Google Earth, arquivo do Laboratório de Ecologia Aplicada – LEAp (2016)

Os tratamentos foram compostos a partir da característica funcional de concentrações de nitrogênio foliar (LNC) de espécies adubadeiras e arbóreas encontrada na literatura, denominada nesta pesquisa de Estrutura Funcional Desenhada. Os tratamentos foram denominados de: **Baixo N-foliar**, composto por seis espécies com baixa concentração de nitrogênio foliar (LNC <25 mg g<sup>-1</sup>); **Médio N- foliar**: uma combinação de 3 espécies do tratamento Alto e 3 espécies do tratamento Baixo; **Alto N- foliar**: mistura de seis espécies com alta concentração de nitrogênio foliar (LNC >25 mg g<sup>-1</sup>). Cada tratamento recebeu duas espécies adubadeiras que foram implantados em 2016 e 2018 e 4 espécies arbóreas (Apêndice A). Após a implantação foram realizados manejos de adubação, podas, roçadas e desbastes no período dezembro de 2016 a janeiro de 2020. O manejo foi realizado em todo o experimento, porém aqui, apresentamos o manejo realizado nas faixas adubadeiras, objeto de estudo desta pesquisa (Apêndice B).

Assim, o conjunto de plantas cultivadas compreendeu ao todo 12 espécies, distribuídas em dois hábitos de crescimento principais: árvores (contendo 8 espécies) e adubadeira (contendo 4 espécies). Cada parcela foi subdividida em faixas de acordo com o hábito de crescimento das plantas e ano de implantação (2016 e 2018). Ao centro de cada parcela, foi implantado uma faixa com uma linha de hábito de crescimento arbóreo. Para cada lado da faixa arbórea foram implantadas as faixas do hábito de crescimento adubadeira (2016 e 2018), que para a presente pesquisa, as faixas adubadeiras foram denominadas de faixa adubadeira (2016) e faixa adubadeira (2018). As espécies implantadas nas faixas adubadeiras para cada tratamento foram: cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*); para o tratamento Baixo N foliar; feijão-guandu (*Cajanus cajan*) e capim elefante para o Médio N foliar; feijão-guandu e banana (*Musa paradisiaca* L.) para Alto N foliar. Na faixa adubadeira de 2016, as espécies foram distribuídas em 1 linha. Na faixa adubadeira arbustos 2018 as espécies foram distribuídas em 4 linhas (Figura 2 a, b, c). Esta pesquisa analisou as faixas adubadeiras de 2016 e 2018, pois as árvores estavam em fase inicial de crescimento, não sendo possível a realização da poda (Figura 3 a, b, c). Para melhor compreensão do croqui de implantação, faz-se importante ressaltar que no tratamento Baixo N foliar, na faixa adubadeira de 2018, a cana de açúcar não se desenvolveu, assim como no tratamento Alto N foliar, na faixa adubadeira de 2018, a banana consorciada com o feijão guandu também não se desenvolveu e por isso não foram consideradas para análise.







Figura 3. a) Experimento em desenvolvimento - Tratamento Baixo N Foliar.



Fonte: Uriel Cordeiro (2019)

b) Experimento em desenvolvimento - Tratamento Médio N Foliar.



Fonte: Larissa Aparecida Augusto (2019)

c) Experimento em desenvolvimento - Tratamento Alto N Foliar.



Fonte: Vinicius Cauê (2019)

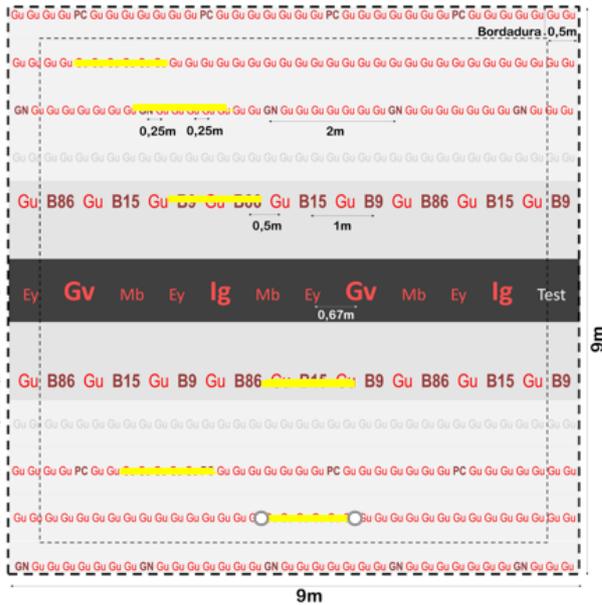
### 3.3 COLETA DE DADOS E ANÁLISES LABORATORIAIS

#### 3.3.1 Coleta da biomassa dos tecidos vegetais

Foram coletadas amostras de biomassa dos tecidos vegetais (caule e folha) das espécies implantadas nas faixas adubadeiras em 2016 e 2018: Cana (*Saccharum officinarum*); Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*); Feijão-guandu (*Cajanus cajan*); Banana (*Musa paradisiaca* L.). A coleta dos tecidos vegetais foi realizada no período de abril a agosto de 2019, em espaçamento de 1 metro linear aleatorizado na linha, por espécie, para cada faixa adubadeira. Posteriormente foram homogeneizadas, resultando em 1 amostra por espécie/ ano de implantação, sendo 60 amostras de folha + 60 amostras de caule, totalizando 120 amostras de tecidos vegetais (Figura 4 a, b).

Figura 4. a) Representação dos pontos de coletas das amostras de tecido vegetal realizado por metro linear aleatorizado em cada parcela experimental (em amarelo). b) coleta da biomassa

a)



b)

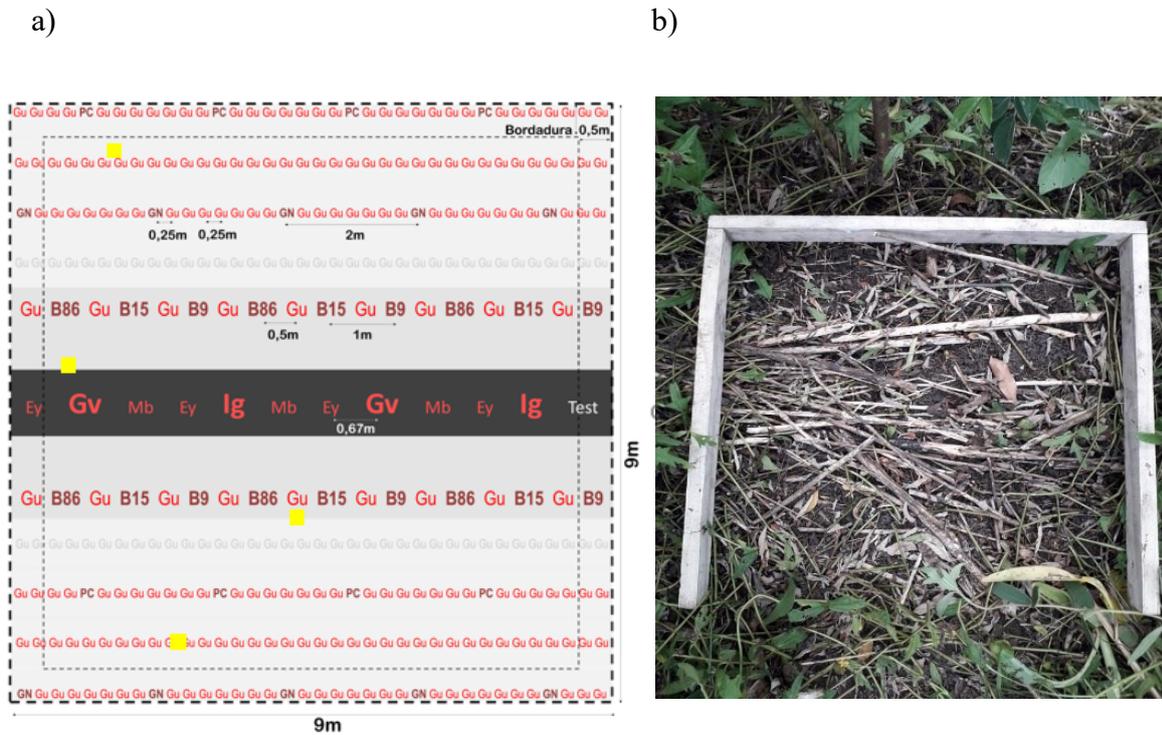


Fonte: a) Ilyas Siddique e Djalma Roecker Jr. (2018), com adaptações da autora (2021). b) Larissa Aparecida Augusto (2019)

### 3.3.2 Coleta da serapilheira

A coleta das amostras de serapilheira foi realizada no período de janeiro a fevereiro de 2020. Foi utilizado um quadro de 0,5m x 0,5 m, em pontos aleatorizados, sendo 1 amostra por faixa, que posteriormente foi homogeneizada, configurando em 1 amostra por ano de implantação da faixa, totalizando 36 amostras (Figura 5 a, b). Para as coletas, desconsiderou-se a borda de 0,5m de cada parcela, a fim de evitar efeitos de interações.

Figura 5. a) Representação dos pontos de coletas das amostras de serapilheira (em amarelo) em cada parcela experimental. Pontos aleatorizado de modo a abranger a linha e entrelinha. b) Coleta realizada com quadro de 0,5m.



Fonte: a) Ilyas Siddique e Djalma Roecker Jr. (2018), com adaptações da autora (2021). b) Djalma Roecker Jr. (2019)

A secagem dos tecidos vegetais foi realizada em estufa com ventilação forçada de ar a 80°C, por 48 horas (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). A serapilheira foi seca em estufa com ventilação (ar forçado), a 60°C, até peso constante (LAVOREL et al., 2010). Dessas amostras, foram retiradas alíquotas para trituração em moinho tipo *Willey* (malha 0,05mm), no período de outubro de 2019 a março de 2020.

### 3.3.3 Análise dos teores de C e N

Os conteúdos de carbono total e nitrogênio total foram determinados em um analisador elementar de combustão seca (FlashEA 1112 Thermo Finnigan) no Laboratório de Pesquisa em Biotransformação de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) do Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, em novembro de 2020.

### 3.3.4 Análise dos atributos funcionais

Os atributos funcionais foram escolhidos de acordo com o objeto de estudo desta pesquisa. Ou seja, característica funcionais importantes que afetam as propriedades estruturais e qualidade do tecido vegetal e da serapilheira (Quadro 3). Os atributos funcionais foram coletados e analisados por pesquisadores do Laboratório de Ecologia Aplicada – LEAp seguindo protocolos padronizados de Perez (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013)..

Quadro 1 Relação de atributos funcionais e suas respectivas funções ecológicas.

Atributo Funcional	Função
Concentração de Nitrogênio Foliar (mg g <sup>-1</sup> ) ( <i>Leaf Nitrogen Concentration - LNC</i> )	Decomposição, taxa fotossintética, , entre outras
Conteúdo de matéria seca (mg g <sup>-1</sup> ) ( <i>Leaf Dry Matter Content - LDMC</i> )	Taxa de crescimento, resistência, longevidade, entre outras.
Área foliar específica (mm <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> ) ( <i>Specific Leaf Area - SLA</i> )	Potencial fotossintético, concentração de nitrogênio, entre outras
pH foliar ( <i>Leaf pH</i> )	Digestibilidade, decomposição, entre outras

Fonte: (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016)

## 3.4 ÍNDICES DA ESTRUTURA FUNCIONAL

### 3.4.1 Identidade Funcional (CWM)

O *CWM* foi calculado com base nos valores para cada atributo em cada parcela. O valor médio das características na comunidade é estimado como

$$CWM = \sum_{i=1}^n p_i \times trait_i,$$

onde *CWM* representa a média ponderada da comunidade,  $p_i$  e  $trait_i$  representam a abundância relativa e o valor de atributo por espécie  $i$ , e  $n$  é o número total de espécies na comunidade (GARNIER et al., 2004). Para realizar o cálculo de *CWM* foi usado o pacote FD do programa R (versão 4.0.2) (“RStudio Team.”, 2020)

### 3.4.2 Diversidade Funcional (RAO)

A diversidade funcional foi calculada pelo índice multivariado Rao  $Q$  ou Entropia Quadrática de Rao que incorpora as abundâncias relativas das espécies e uma medida das diferenças funcionais aos pares entre as espécies (BOTTA-DUKÁT, 2005)

$$FD_Q = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s d_{ij} p_i p_j^{i-1}$$

onde  $d_{ij}$  é a diferença entre o  $i$ -ésimo e o  $j$ -ésimo

O cálculo da diversidade funcional, que apresenta os resultados com variação de 0 a 1, foi realizado utilizando o pacote “SYNCSA” do programa R (“RStudio Team.”, 2020)).

## 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de testes de variâncias e correlações, com intervalo de confiança de 95%. Para testar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de *Shapiro Wilk*. As variáveis respostas que não apresentaram normalidade nos dados, mesmos transformados, foram analisadas por meio da análise de variância não paramétrica - *Kruskal Wallis* e seus grupos foram testados por meio do teste Post Hoc *Dwass Steel Critchlow Fligner*. As correlações foram testadas por meio da correlação de *Spearman*. As variáveis respostas que apresentaram normalidade nos dados foram analisadas por meio de ANOVA de um fator, quando foi o caso, ou por meio de ANOVA fatorial. Sendo neste caso, a homogeneidade testada pelo teste de *Levene's* e as diferenças significativas identificadas por meio do teste Post Hoc *Tukey*. Os cálculos estatísticos foram executados no software JAMOV (‘‘JAMOV’’, 2021)

## 4 RESULTADOS

As quatro espécies adubadeiras dos SAFs experimentais diferiram significativamente entre si nos atributos funcionais foliares chave para os ciclos biogeoquímicos: Conteúdo de Matéria Seca Foliar (LDMC), Concentração de Nitrogênio Foliar (LNC), Área Foliar Específica (SLA) e pH foliar (Tabela 1). No atributo LDMC, a Banana (*Musa paradisiaca*) apresentou a menor média de conteúdo de matéria seca foliar, em comparação com as demais espécies. O Feijão-guandu (*Cajanus cajan*) apresentou as maiores médias para LNC e SLA. (Figura 6 a, b, c). O pH por não atender aos pressupostos da análise de variância, foi aplicada uma análise de variância não paramétrica (Tabela 2). A maior média obtida de pH foi da espécie banana, mas a cana-de-açúcar foi que se diferenciou estatisticamente em relação às demais espécies (Figura 7).

Tabela 1. Análise de variância a um fator ANOVA. Avaliando a influência das espécies adubadeiras Banana (*Musa paradisiaca*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*), Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*) sobre os atributos funcionais.

<b>Variável resposta</b> <b>Atributos funcionais</b>	<b>F</b>	<b>GL1</b>	<b>GL2</b>	<b>P</b>
LDMC (Conteúdo de matéria seca foliar)	47.8	3	8.77	< .001
LNC (Concentração de nitrogênio foliar)	77.2	3	8.37	< .001
SLA (Área foliar específica)	16.3	3	7.57	0.001

Legenda:

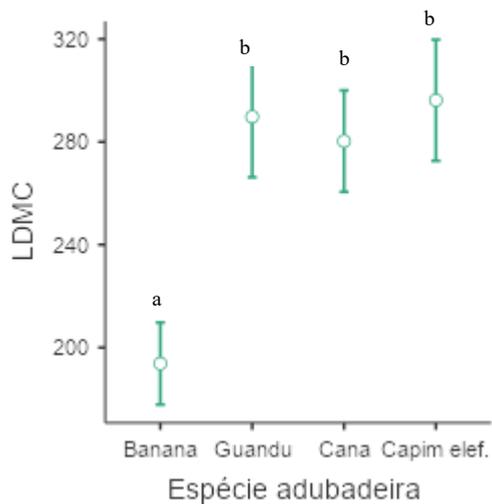
GL1: graus de liberdade entre os grupos

GL2: graus de liberdade dentro dos grupos

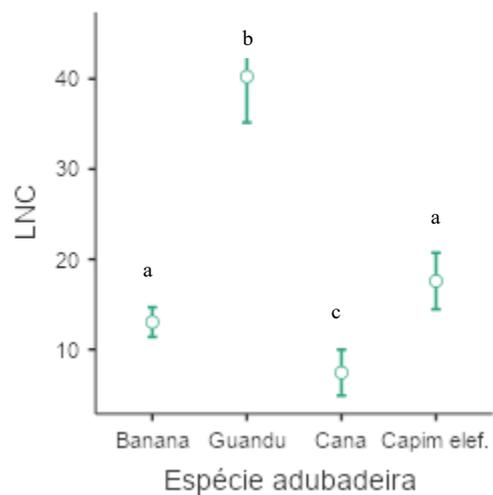
Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Figura 6 Gráfico apresentando a influência das espécies adubadeiras: Banana (*Musa paradisiaca*), Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*) Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre média do atributo funcional a) Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC); b) Concentração de Nitrogênio Foliar (LNC); c) Área foliar específica (SLA) ;.

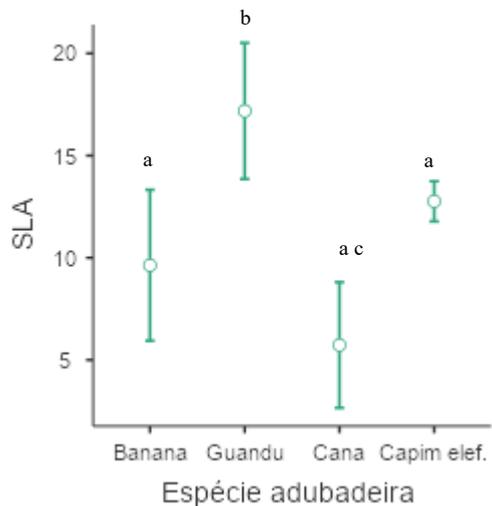
a)



b)



c)



Legenda:

N= 5.

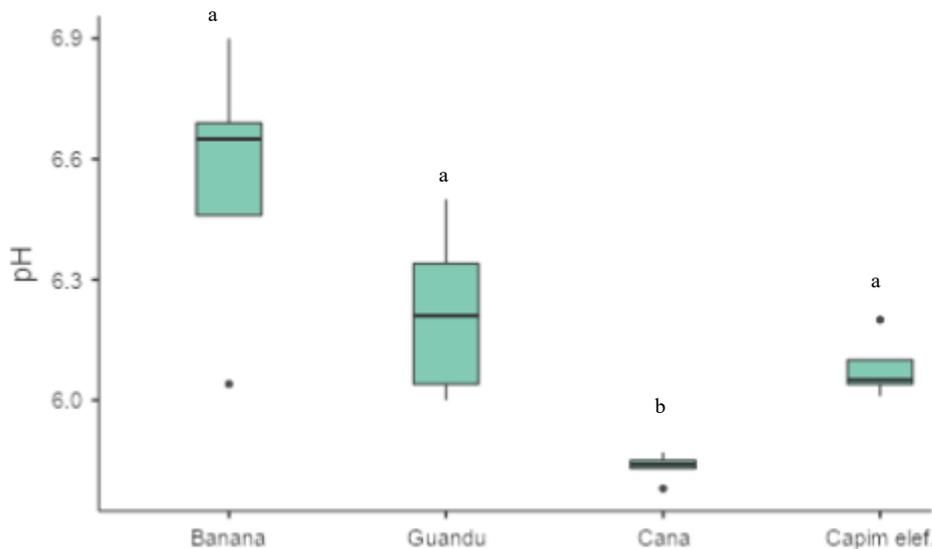
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2 - Análise de variância a um fator – não paramétrica *Kruskal-Wallis*. Avaliando a influência das espécies adubadeiras Banana (*Musa paradisiaca*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*), Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*) sobre o atributo funcional pH.

	$\chi^2$	GL	p
pH	13.5	3	0.004

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 7 - Gráfico apresentando a influência das espécies adubadeiras: Banana (*Musa paradisiaca*), Capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach.*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*) Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre média do atributo funcional pH.



Legenda:

N= 5.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Dwass Steel Critchlow Fligner (DSCF)* a 5%.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Os atributos foliares conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), concentração de nitrogênio foliar (LNC), área foliar específica (SLA) e pH não apresentaram normalidade nos dados tanto para a identidade funcional observada, medida pelo índice deCWM, quanto para a diversidade funcional observada medida pelo índice deRAO, mesmo sendo transformados. Para ambos os casos foram aplicados o teste não paramétrico *Kruskall Wallis*, o que impossibilitou verificar a interação entre os tratamentos e as faixas adubadeiras.

O efeito da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar), apresentaram diferenças estatísticas ( $p < 0,001$ ) (Tabela 3) para todas as médias funcionais analisadas, diferindo da faixa adubadeira, que apresentou somente diferença estatística sobre os atributos funcionais conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) e área foliar específica (SLA) (Tabela 4). Esses efeitos podem ser verificados pela figura 8 (a, b, c, d). Para o atributo conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), o tratamento Baixo N Foliar apresentou a maior mediana com 29,6 seguido pelo tratamento Médio N Foliar com 29,3 e Alto N Foliar com 26,9, já o CWM\_SLA (área foliar específica) o tratamento Alto N Foliar apresentou a maior mediana com 15,5, seguido do tratamento Médio N Foliar com 15,00 e Baixo N-Foliar com 12,8.

Tabela 3 Análise de variância a um critério – não paramétrica *Kruskal-Wallis*. Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamentos N Foliar) sobre a identidade funcional observada (CWM).

<b>Variável resposta</b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>df</b>	<b>P</b>
CWM_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar)	14.8	2	<.001
CWM_pH	31.5	2	<.001
CWM_LNC (concentração de nitrogênio foliar)	26.4	2	<.001
CWM_SLA (área foliar específica)	14.0	2	<.001

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

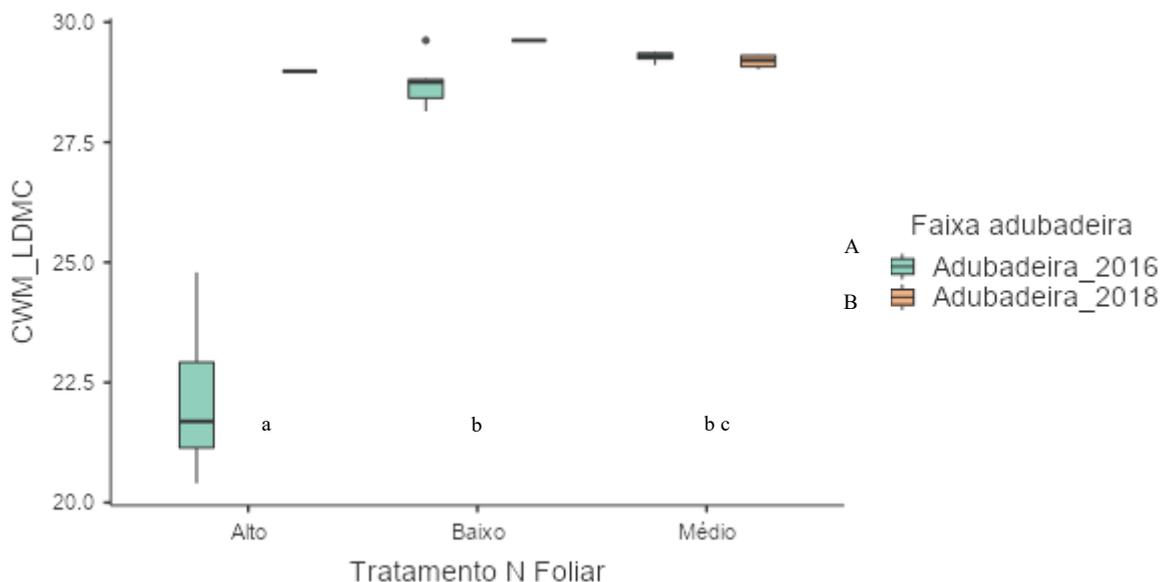
Tabela 4 Análise de variância a um critério – não paramétrica *Kruskal-Wallis*. Avaliando a influência das Faixas Adubadeiras sobre a identidade funcional observada (CWM).

Variável resposta	$\chi^2$	Df	P
CWM_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar)	7.75575	1	0.005
CWM_pH	0.00633	1	0.937
CWM_LNC (concentração de nitrogênio foliar)	3.23373	1	0.072
CWM_SLA (área foliar específica)	11.06216	1	<.001

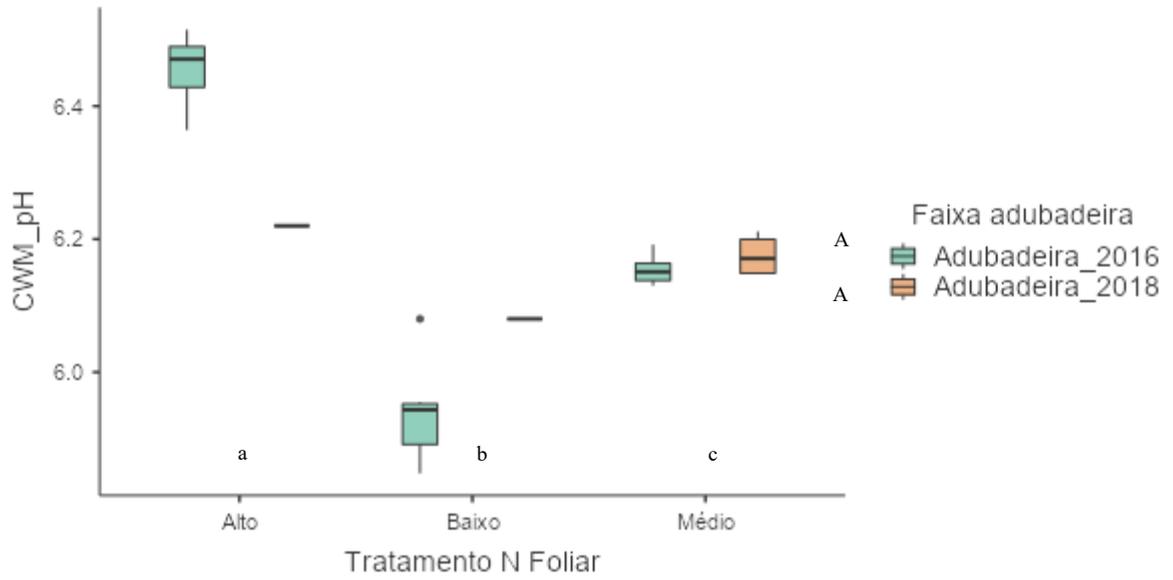
Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Figura 8 Diagrama de caixa apresentando os efeitos da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e das faixas adubadeiras de 2016 e 2018 sobre a Identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais foliares: a) CWM\_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar); b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC (concentração de nitrogênio foliar); d) CWM\_SLA (área foliar específica).

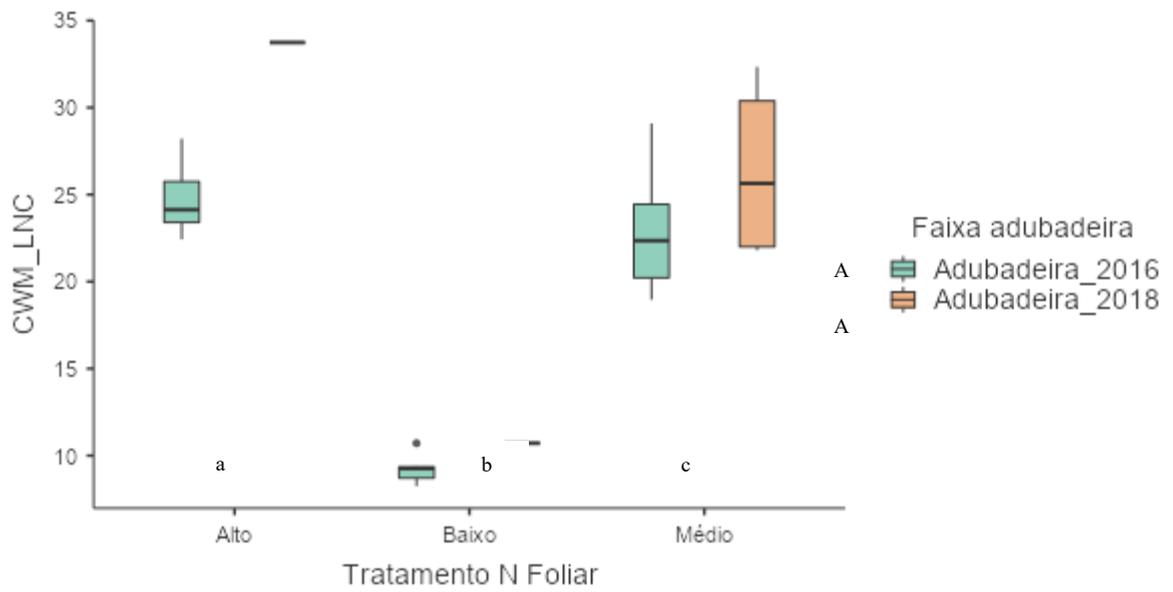
a)



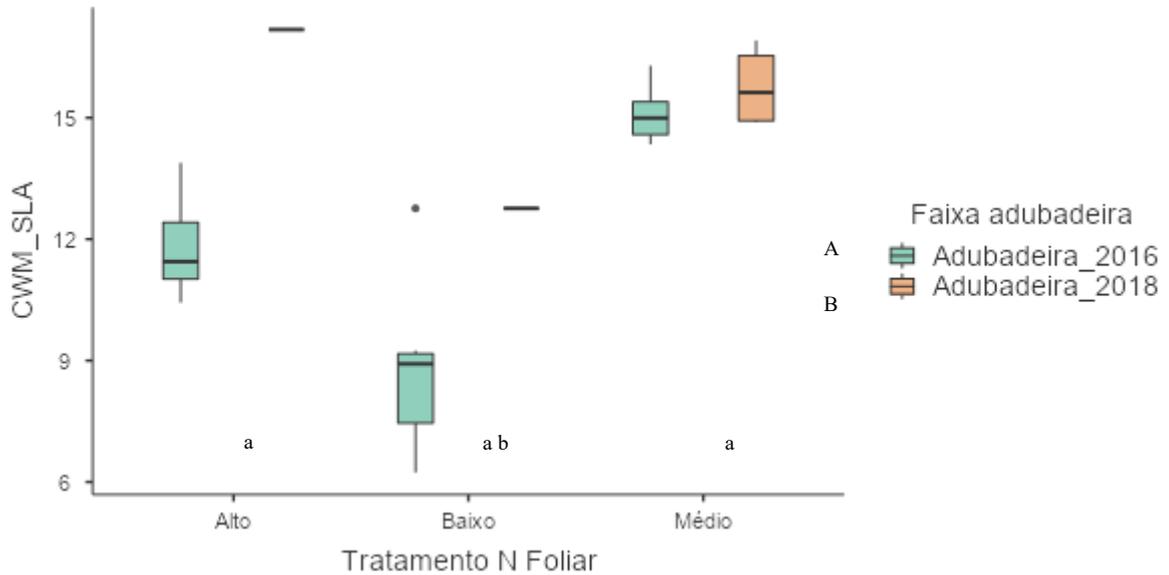
b)



c)



d)



Legenda: Alto = Alto N Foliar, Baixo = Baixo N Foliar e Médio = Médio N Foliar

N= 6

Medianas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de *Dwass Steel Critchlow Fligner (DSCF)* a 5%, sendo que, letras maiúsculas para representar a diferença nas faixas adubadeiras e letras minúscula nos tratamentos.

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Em relação à diversidade funcional observada (RAO), foi possível verificar os efeitos dos tratamentos N foliar somente para o atributo foliar concentração de nitrogênio foliar (LNC) (Tabela 5). O mesmo não ocorreu com as faixas adubadeiras, que apresentaram significância estatística para todos os atributos foliares analisados (Tabela 6). (Figura 9 a, b, c, d)

Tabela 5 Análise de variância a um critério – não paramétrica *Kruskal-Wallis*. Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre a diversidade funcional observada (RAO).

<b>Variável resposta</b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>Df</b>	<b>P</b>
RAO_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar)	2.78	2	0.249
RAO_pH	3.17	2	0.205
RAO_LNC (Concentração de nitrogênio foliar)	19.93	2	<.001
RAO_SLA (Área foliar específica)	3.98	2	0.137

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

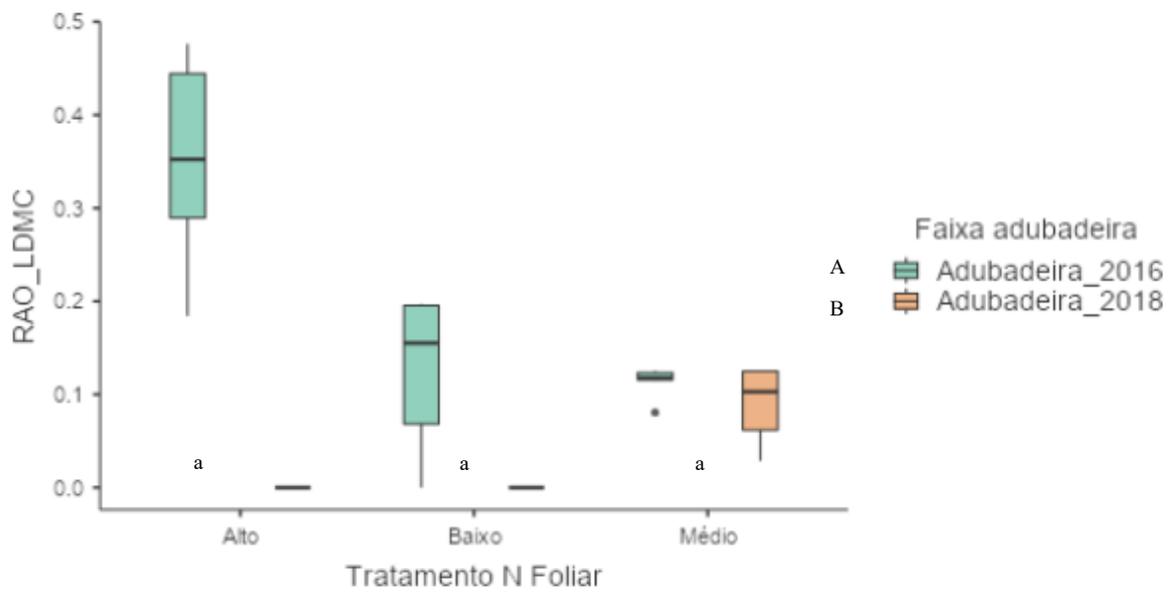
Tabela 6 Análise de variância a um critério – não paramétrica *Kruskal-Wallis*. Avaliando a influência da Faixa Adubadeira sobre a diversidade funcional observada (RAO).

<b>Variável resposta</b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>Df</b>	<b>P</b>
RAO_LDMC (concentração de matéria seca foliar)	17.07	1	<.001
RAO_pH	15.25	1	<.001
RAO_LNC (Concentração de nitrogênio foliar)	7.50	1	0.006
RAO_SLA (Área foliar específica)	14.50	1	<.001

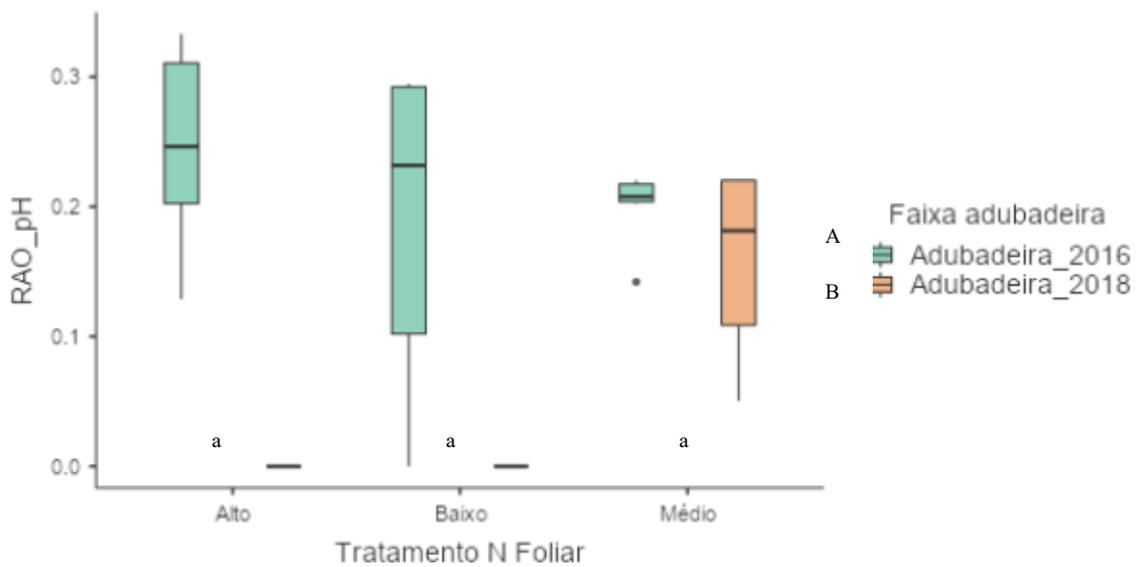
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Figura 9 – Diagrama de caixa apresentando os efeitos da diversidade funcional desenhada (Tratamentos N Foliar) e das faixas adubadeiras de 2016 e 2018 sobre a diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais foliares : a) RAO\_LDMC (conteúdo de matéria seca foliar); b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC (concentração de nitrogênio foliar); d) DF\_SLA (área foliar específica).

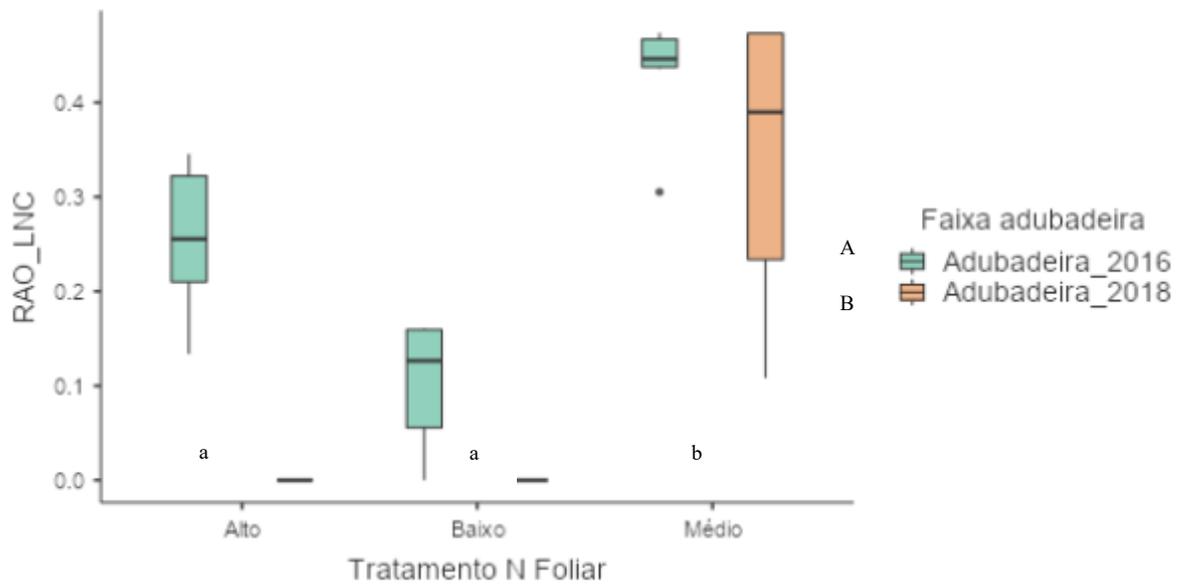
a)



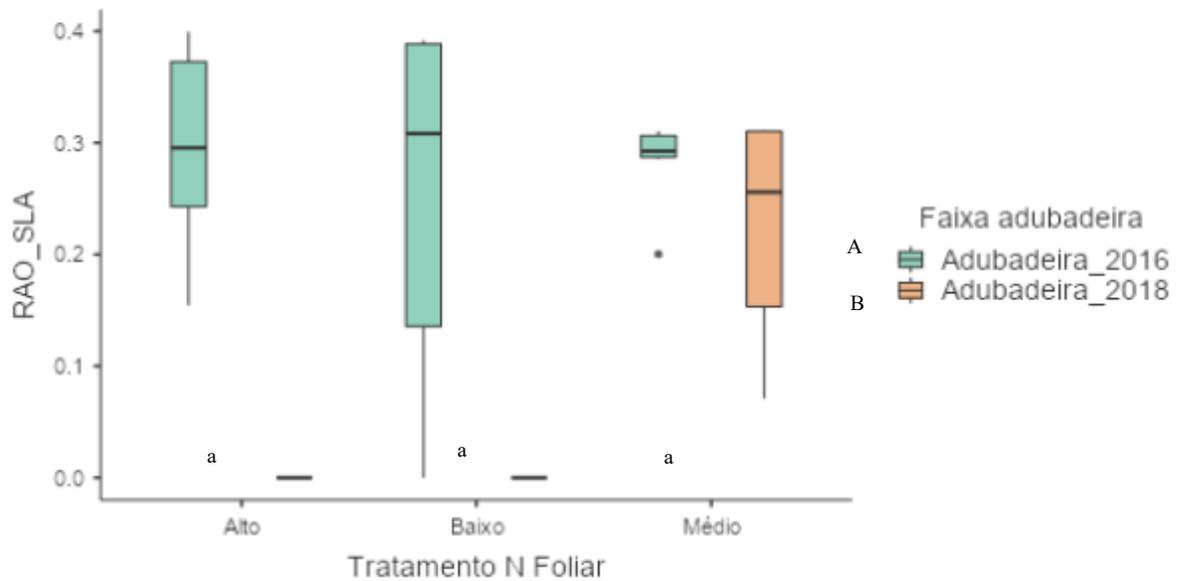
b)



c)



d)



Legenda: Alto = Alto N-Foliar, Baixo = Baixo N-Foliar e Médio = Médio N-Foliar

N= 6

Medianas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de *Dwass Steel Critchlow Fligner (DSCF)* a 5%, sendo que, letras maiúsculas para representar a diferença nas faixas adubadeiras e letras minúscula nos tratamentos.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

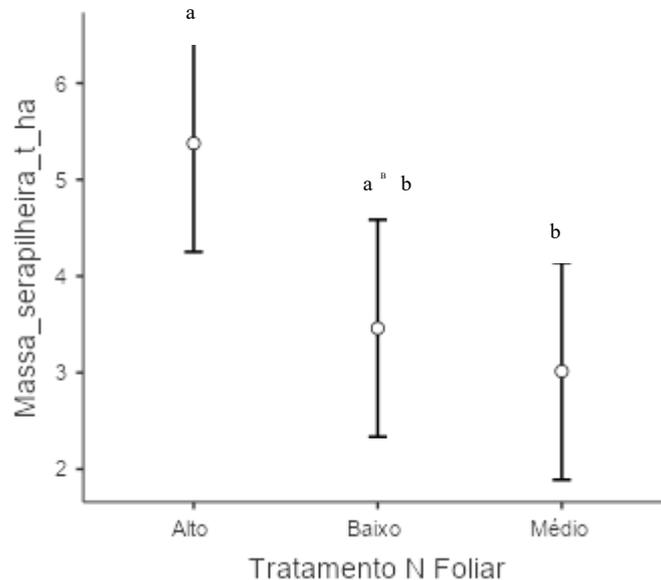
Analisando os dados da massa de serapilheira, verificamos que estes atenderam aos pressupostos da análise de variância, e assim, foi possível aplicar uma ANOVA e observar as interações da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e a faixa de adubadeiras sobre a diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados. Os resultados apresentaram somente significância estatística para o tratamento N Foliar, não havendo assim, interação entre faixa adubadeira e tratamento N Foliar (Tabela 7). O tratamento Alto N Foliar apresentou uma média de 5,38 t ha<sup>-1</sup> de massa de serapilheira, diferindo estatisticamente do tratamento Médio (p= 0,015). O tratamento Baixo N Foliar apresentou uma média de 3,46 t ha e o tratamento Médio N foliar 3,01 não se diferenciando estatisticamente (Figura 102).

Tabela 7 - Análise de variância - ANOVA - Massa\_serapilheira\_t\_ha. Avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e as faixas adubadeiras sobre a massa de serapilheira acumulada ao solo.

<b>Fonte de Variação</b>	<b>Soma de quadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tratamento N Foliar	37.79	2	18.89	5.027	0.013
Faixa adubadeira	2.10	1	2.10	0.559	0.461
Tratamento * Faixa	6.15	2	3.08	0.818	0.451
Residuals	112.76	30	3.76		

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Figura 10 Diagrama de médias estimadas apresentando o efeito da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre a massa de serapilheira acumulada.



Legenda:

Baixo = Baixo N Foliar, Médio = Médio N Foliar, Alto = Alto N Foliar.

N= 6

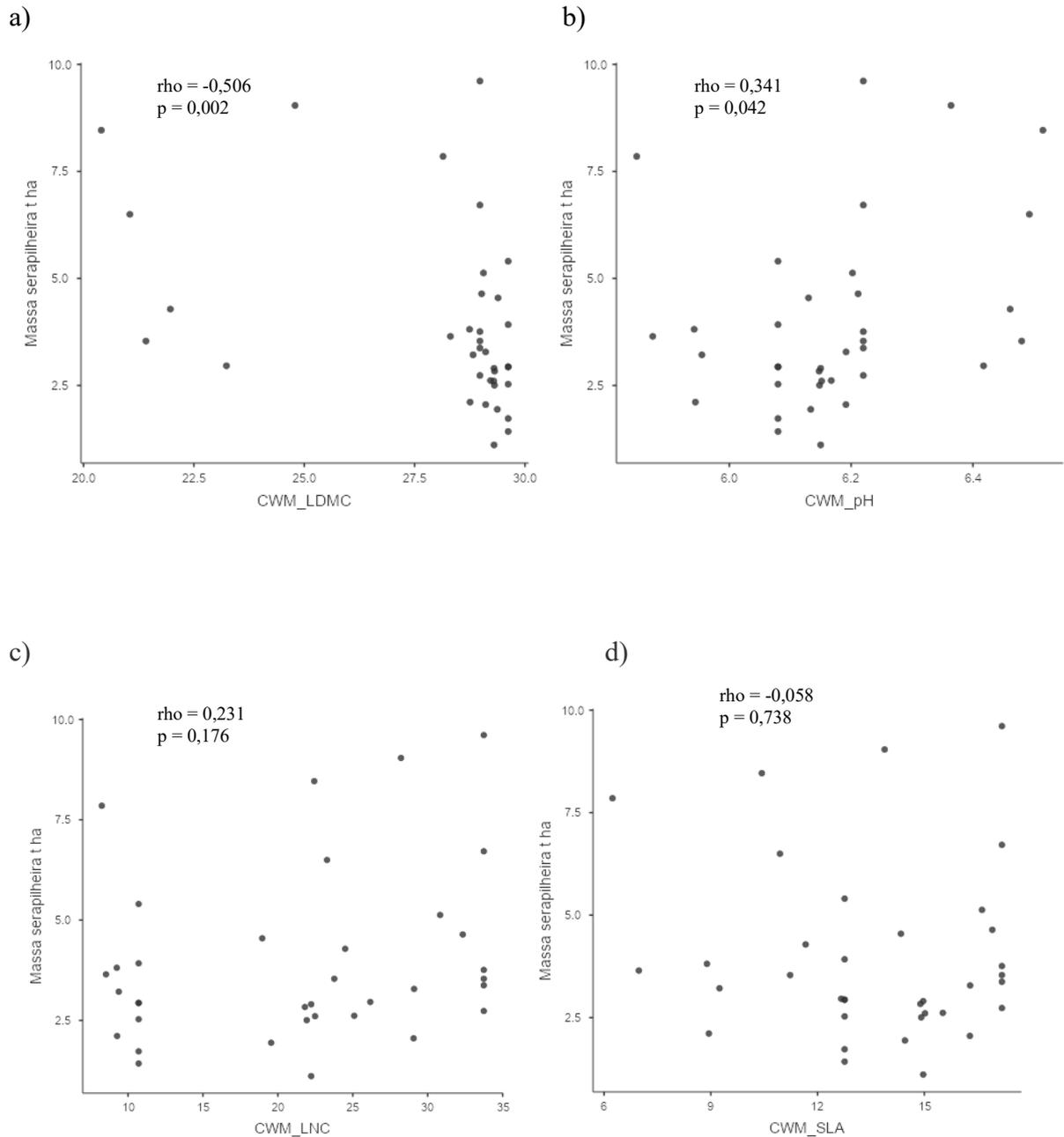
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Elabora pela autora (2021)

Ao analisar o efeito da identidade funcional CWM sobre a massa de serapilheira acumulada, verifica-se que os atributos funcionais conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) ( $p < 0,01$ ) e pH ( $p < 0,05$ ) apresentaram significância estatísticas. O CWM\_LDMC apresentou uma correlação negativa moderada com a massa de serapilheira acumulada (- 0,506) (Figura 11a) e o CWM\_pH teve uma relação positiva, porém fraca (0,341) (Figura 11b). Os demais atributos CWM\_LNC e CWM\_SLA não apresentaram significância estatística (Figura 11 c e d).

Figura 11 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da relação entre identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre a massa de serapilheira acumulada, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC; d) CWM\_SLA

N=36



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Em relação aos efeitos da diversidade funcional observada (RAO) sobre a massa de serapilheira, os atributos funcionais analisados, conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), pH, concentração de nitrogênio foliar (LNC) e área foliar específica (SLA) não apresentaram uma relação com significância estatística (Tabela 8). Provavelmente, esse resultado é devido ao pequeno número de espécies analisadas nas faixas adubadeiras e influenciado também pelas falhas de estabelecimento de cana de açúcar e bananeira nas adubadeiras 2018.

Tabela 8 – Matriz de correlação de *Spearman's rho* apresentando o efeito da relação entre a massa de serapilheira acumulada ao solo e a diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados.

		RAO_LDMC	RAO_pH	RAO_LNC	RAO_SLA
<b>Massa serapilheira</b>	Spearman's rho	0.030	-0.101	-0.249	-0.122
	p-value	0.862	0.557	0.142	0.478
	N	36	36	36	36

Note. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Ao analisar a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamentos N Foliar) e faixas Adubadeiras nas relações C:N das folhas e caules e serapilheiras, as variáveis respostas caule e folha não apresentaram normalidade nos dados, mesmo estas sendo transformadas. A variável resposta serapilheira apresentou normalidade nos dados, mas não atendeu aos demais pressupostos da análise de variância, mesmo transformada. Assim, para as análises estatísticas foram realizadas o teste de *Kruskall Wallis*. Foi possível verificar a influência do tratamento N Foliar na relação C : N da serapilheira, caule e folha (Tabela 9), porém as faixas adubadeiras apresentaram significância estatística somente sobre a relação C:N da folha (Tabela 10). O tratamento Alto N Foliar apresentou diferença estatísticas para os demais tratamentos em todas as relações C:N analisadas (Figura 12 a, b, c).

Tabela 9 Análise de variância não paramétrica *Kruskall Wallis*, avaliando a influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) sobre as relações C:N de serapilheira, caule e folha.

	$\chi^2$	GL	P
C:N_Serapilheira	20.0	2	< .001
C:N_Caule	14.9	2	< .001
C:N_Folha	12.0	2	0.002

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

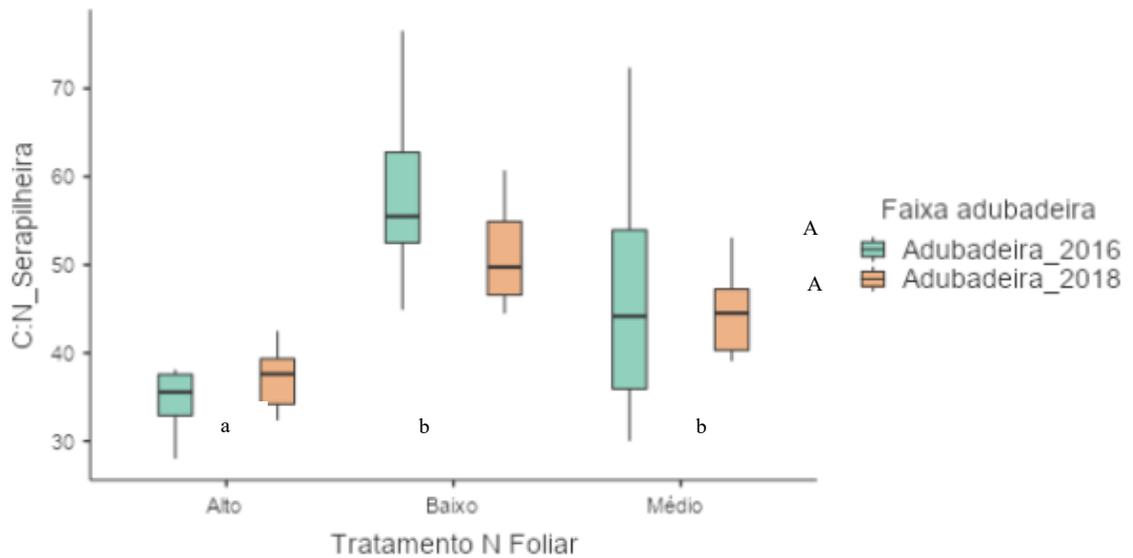
Tabela 10 Análise de variância não paramétrica *Kruskall Wallis*, avaliando a influência das faixas adubadeiras sobre as relações C:N de serapilheira, caule e folha

	$\chi^2$	df	P
C:N_Serapilheira	0.00100	1	0.975
C:N_Caule	0.01905	1	0.890
C:N_Folha	8.51341	1	0.004

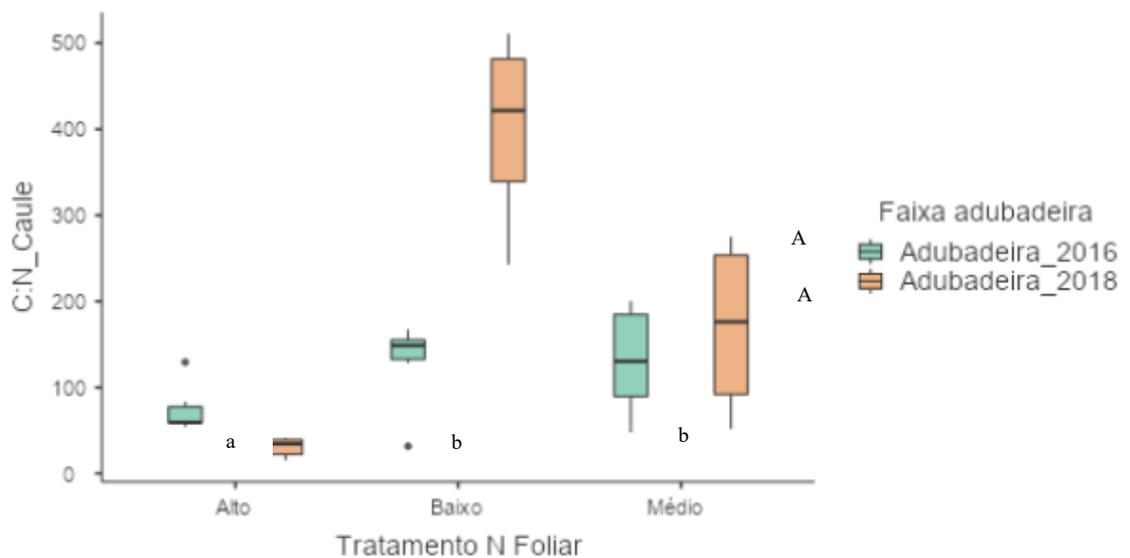
Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Figura 12 Diagrama de caixa apresentando o efeito da influência da diversidade funcional desenhada (Tratamento N Foliar) e Faixa Adubadeira de 2016 e 2018 sobre a relação CN : a) serapilheira; b) caule; c) folha

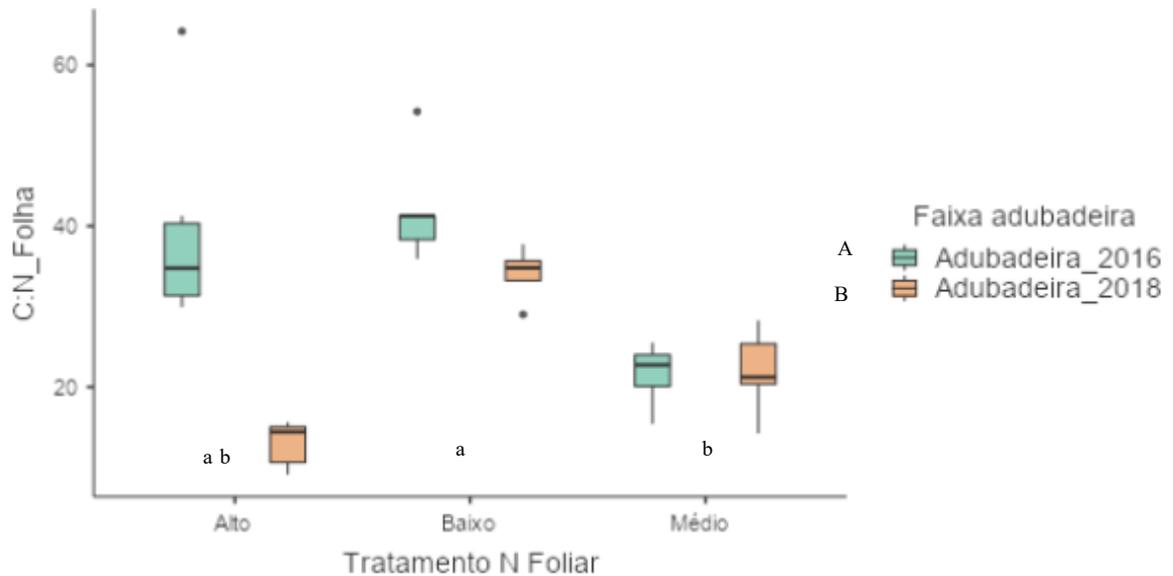
a)



b)



c)



Legenda: Baixo = Baixo N Foliar, Médio= Médio N Foliar, Alto= Alto N Foliar

N= 6

Medianas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de *Dwass Steel Critchlow Fligner* (DSCF) a 5%, sendo que, letras maiúsculas para representar a diferença nas faixas adubadeiras e letras minúscula nos tratamentos.

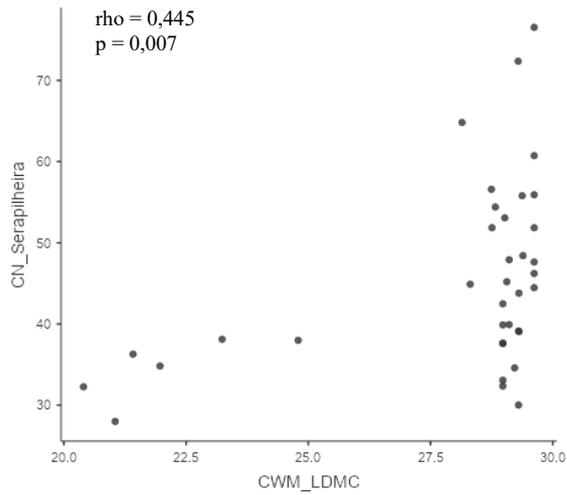
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A identidade funcional observada CWM apresentou em sua maioria, influência nas relações C: N serapilheira, caule e folha. Dentre as médias funcionais analisadas, CWM\_SLA não apresentou significância estatística com as relações CN da serapilheira (Figura 13 a, b, c, d). A relação C: N Caule interagiu com significância estatística com todas as médias funcionais analisadas (Figura 14 a, b, c, d), enquanto que, a relação C : N da folha teve influência significativa das médias funcionais dos atributos LNC e SLA (Figura 15 a, b, c, d).

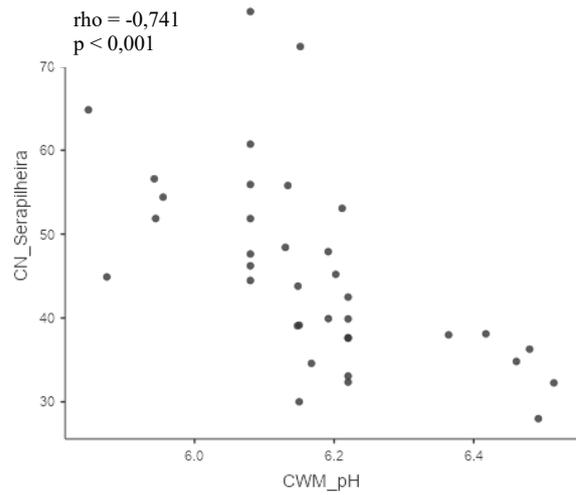
Figura 13 Diagrama de correlação *Spearman*'s, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN da Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA

N= 36

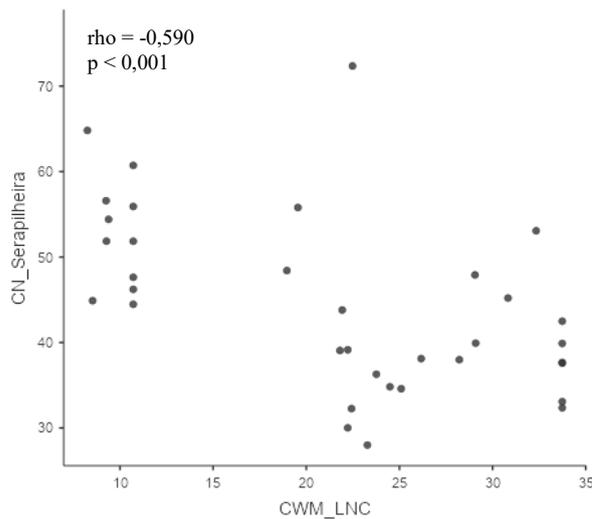
a)



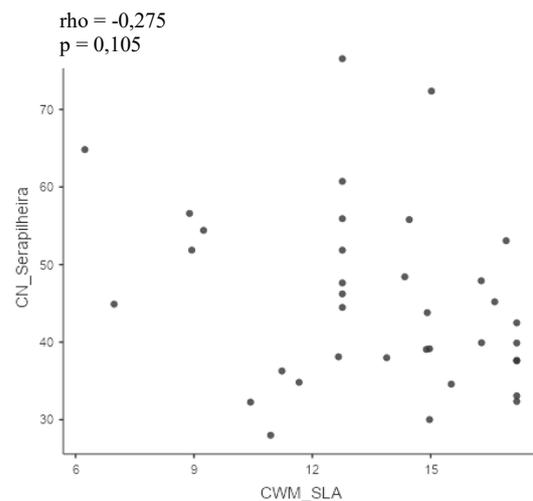
b)



c)



d)

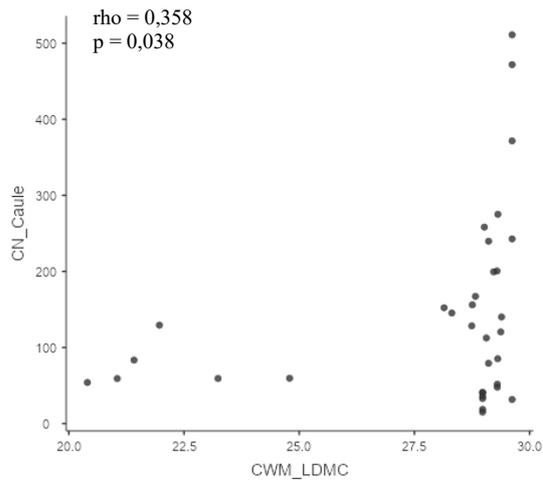


Fonte: Elaborada pela autora (2021).

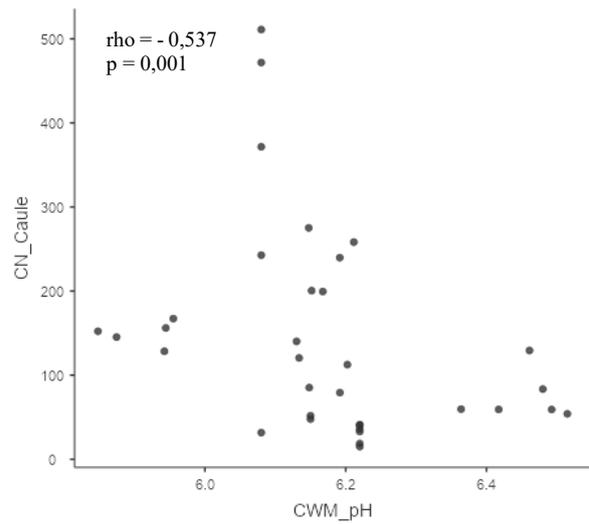
Figura 14 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN do caule, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA

N= 34

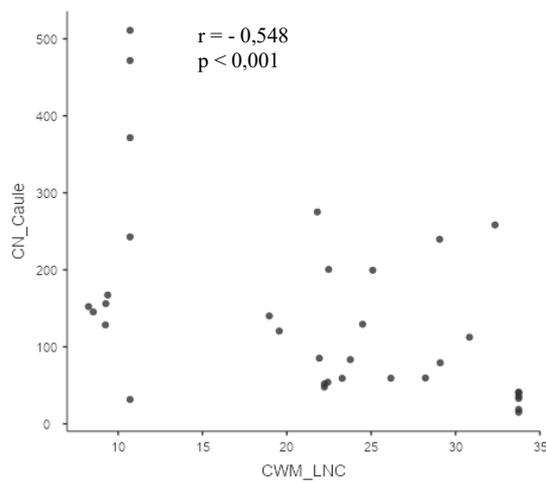
a)



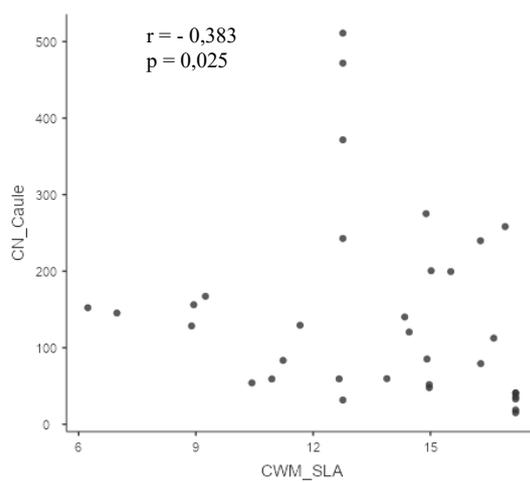
b)



c)



d)

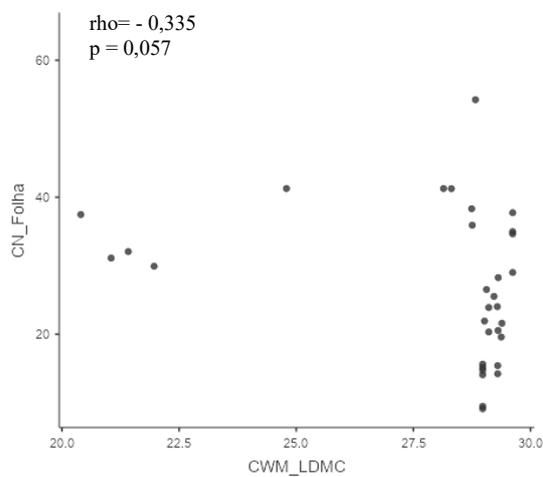


Fonte: Elaborada pela autora (2021)

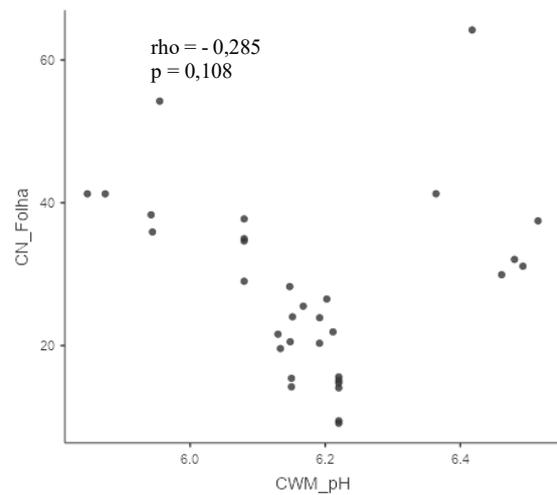
Figura 15 Diagrama de correlação *Spearman's*, apresentando os efeitos da identidade funcional observada CWM dos atributos funcionais analisados sobre as relações CN da folha, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CWM\_LDMC; b) CWM\_pH; c) CWM\_LNC d) CWM\_SLA

N= 33

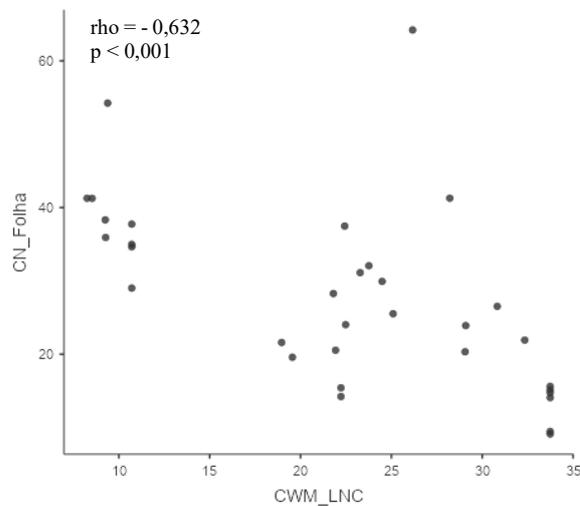
a)



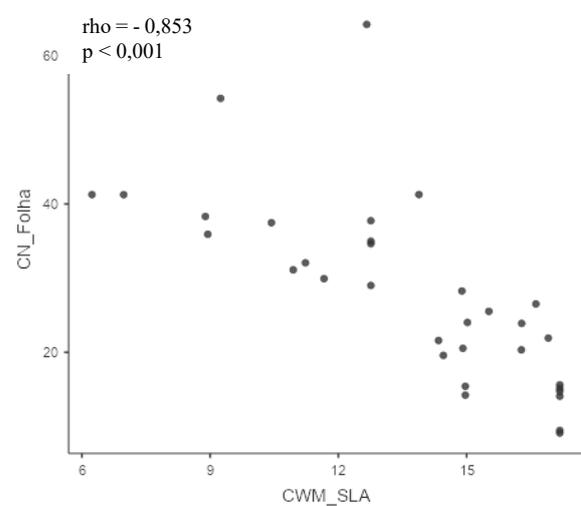
b)



c)



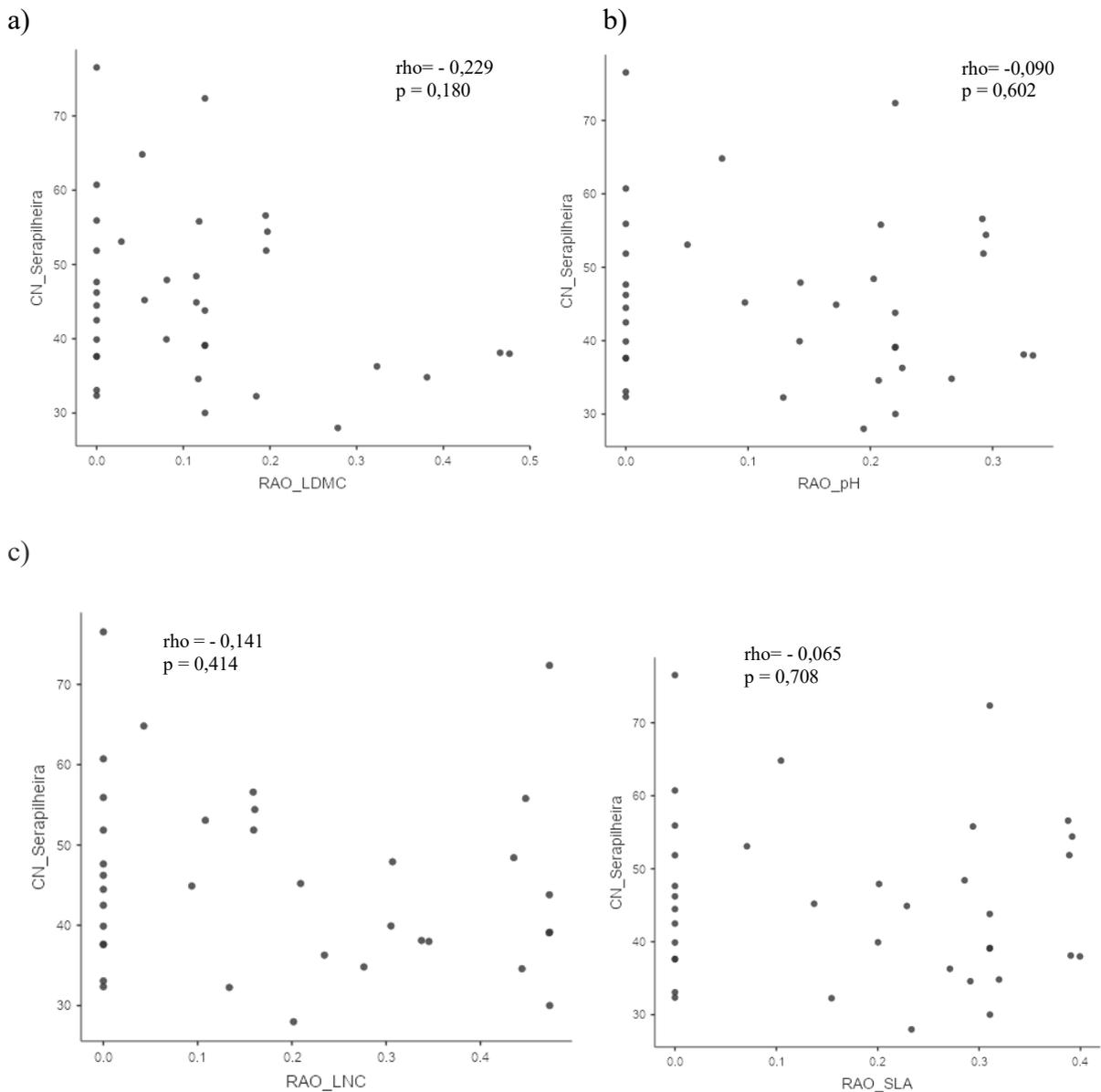
d)



A diversidade funcional observada (RAO) não apresentou significância estatística para as relações C:N\_Serapilheira (Figura 16 a, b, c, d) e CN\_Caule (Figura 17 a, b, c, d). A relação C:N da folha apresentou significância estatística para RAO\_LDMC, pH e SLA (Figura 18 a, b, c, d).

Figura 16 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA.

N= 36

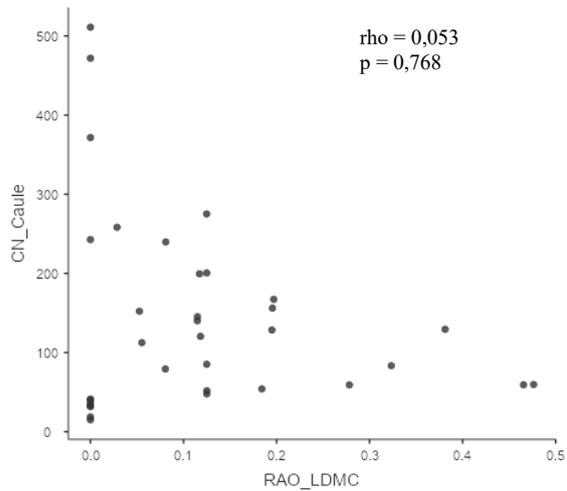


Fonte: Elaborada pela autora (2021).

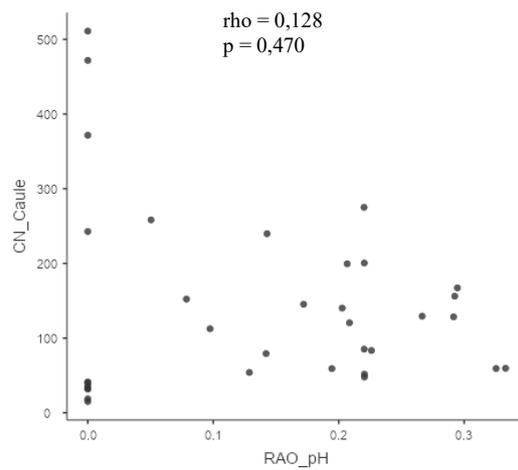
Figura 17 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Caule, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA.

N= 34

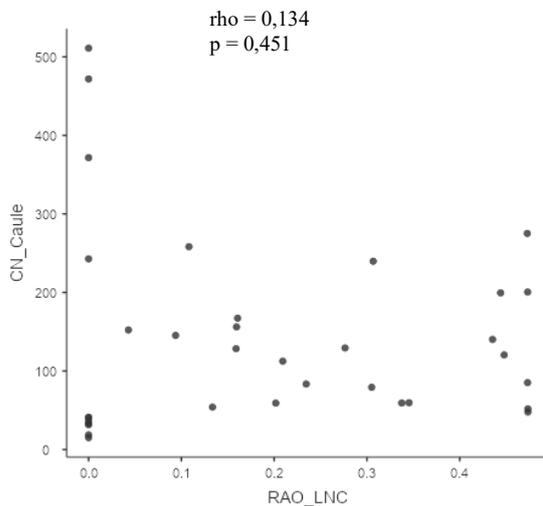
a)



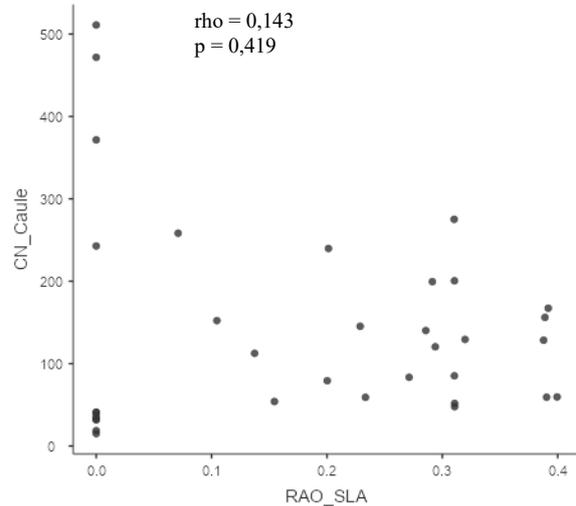
b)



c)



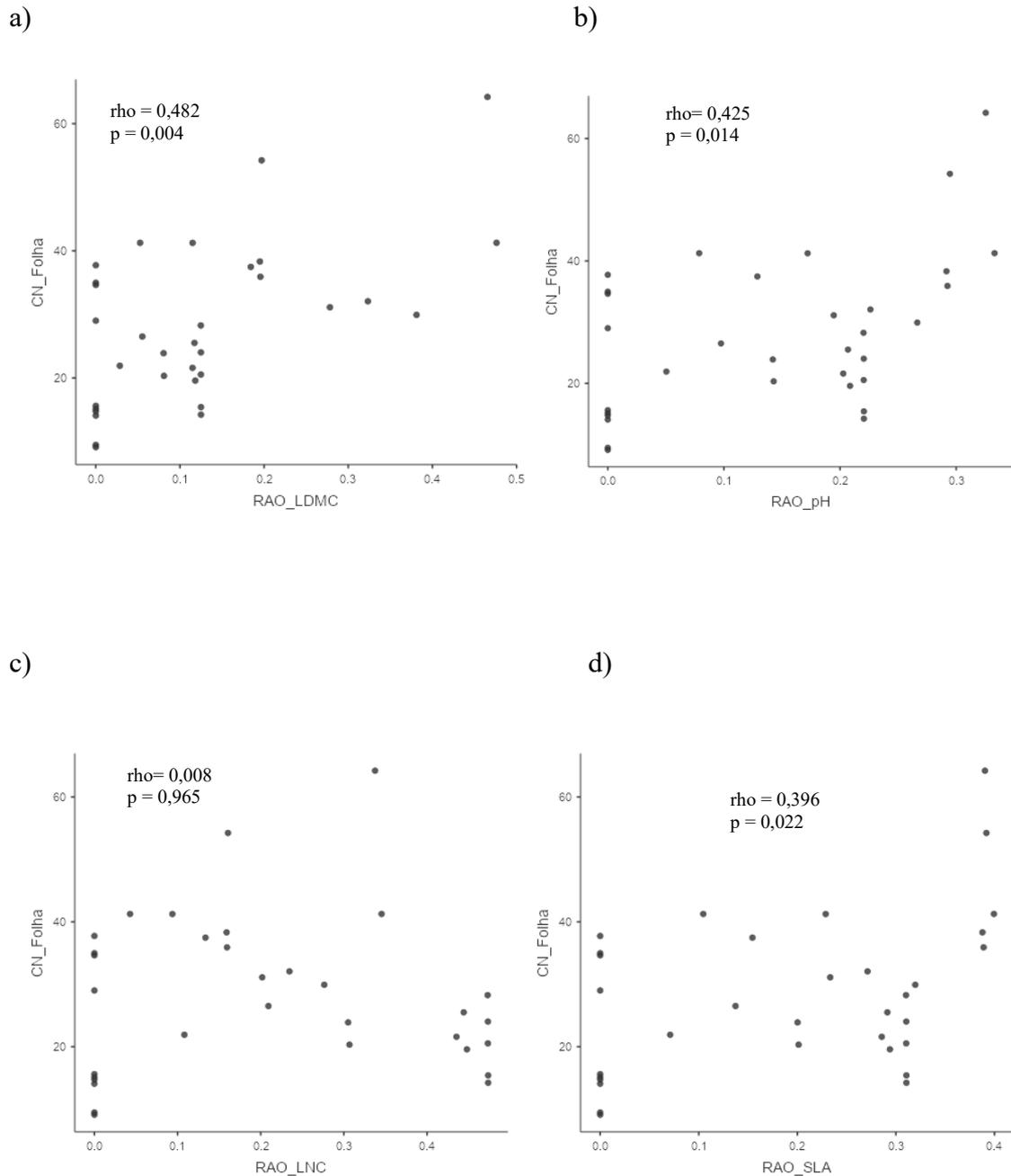
d)



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Figura 18 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando os efeitos da diversidade funcional observada (RAO) dos atributos funcionais analisados sobre a relação CN\_Folha, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) RAO\_LDMC; b) RAO\_pH; c) RAO\_LNC; d) RAO\_SLA.

N= 33



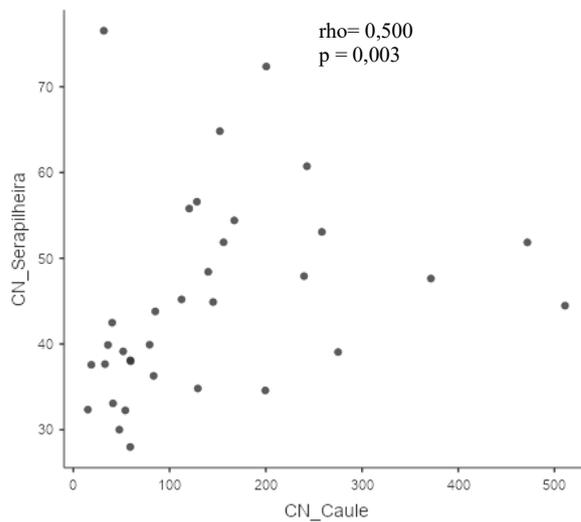
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A relação CN Caule apresentou significância estatística sobre as relações CN da Serapilheira, tendo uma relação moderada positiva. A relação CN da folha não apresentou efeitos significativos sobre a relação CN da serapilheira (Figura 19 a , b).

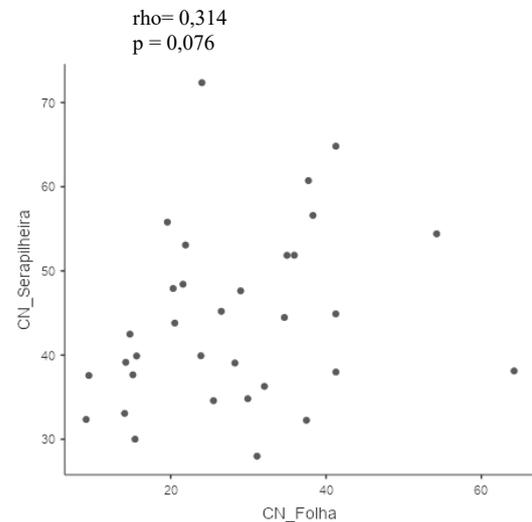
Figura 19 Diagrama de correlação *Spearman's* apresentando a influência da relação CN\_Caule e CN\_Folha sobre a relação CN\_Serapilheira, tendo como unidade de observação as faixas adubadeiras: a) CN\_Caule; b) CN\_Folha

N= 36

a)



b)



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

## 5 DISCUSSÃO

Dentre as espécies que compõem as plantas adubadeiras dos tratamentos dos SAFs experimentais, o feijão guandu (*Cajanus cajan*) diferiu significativamente das demais espécies analisadas nos atributos funcionais concentração de nitrogênio foliar (LNC) e área foliar específica (SLA), apresentando as maiores médias (Figura 6)). Esse resultado é consistente com a literatura pela “estratégia” funcional de leguminosas, especialmente aquelas que formam nódulos em simbiose com rizóbios que fixam nitrogênio do ar (ZHANG et al., 2021). Portanto, este resultado corrobora parte do delineamento experimental onde o feijão guandu foi incluído nos tratamentos Alto e Médio por apresentar teores caracteristicamente altos de N-foliar associados à altas taxas fotossintéticas, lâminas foliares finas e rápida decomposição e liberação de nutrientes da sua biomassa. Espécies com maiores concentrações de N foliar, estão associadas a alto SLA, pois possuem maior capacidade fotossintética, rápida taxa de crescimento (WESTOBY et al., 2002) com altas taxas de aquisição de nutrientes investindo nutrientes em biomassa de alta qualidade e crescimento (DÍAZ et al., 2007).

Por outro lado, a bananeira (*Musa paradisiaca* L.) apresentou baixos teores de N-foliar parecidos com o capim-elefante (Figura 6), contrário do encontrado na literatura (DAMOUR; OZIER-LAFONTAINE; DOREL, 2012). Portanto, os tratamentos experimentais não apresentaram níveis de médias ( $CWM_{Nfoliar}$ ) e diversidades ( $Ra_{ONfoliar}$ ) tão claramente diferenciados quanto intencionados. Porém, os padrões gerais no  $CWM_{Nfoliar}$  e  $Ra_{ONfoliar}$  observados ainda foram consistentes com o delineamento experimental (Figura 7 e 8).

Os atributos funcionais medidos do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (KATTGE et al., 2020) corroboraram com aqueles encontrados na literatura e, portanto, com o delineamento experimental.

### 5.1 EFEITO DA IDENTIDADE FUNCIONAL OBSERVADA (CWM)

A identidade funcional explicou melhor a massa de serapilheira acumulada sobre o solo, apresentando significância estatísticas para o  $CWM\_LDMC$  e pH. O  $CWM\_LDMC$  apresentou uma correlação negativa moderada, em que, quanto maior o valor de  $CWM\_LDMC$ , menor a quantidade de massa de serapilheira acumulada. Esse resultado é consonante com os

resultado obtidos por Borges (2019), em pesquisa realizada no mesmo experimento, mas em fase inicial do SAF. No entanto, difere da literatura que afirma que plantas com alto LDMC possuem uma correlação positiva, pois tendem a se decompor lentamente, devido a resistência física a herbívoros e decompositores (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016). O CWM\_pH apresentou uma correlação positiva com a massa de serapilheira acumulada, porém fraca. Quanto maior o pH, maior a quantidade de massa de serapilheira acumulada. Esse resultado foi inesperado e contrário ao exposto na literatura, onde alto valores de pH estão associados a maior velocidade de decomposição, pois favorecem o metabolismo dos resíduos vegetais pelos microrganismos (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016). As maiores massas de serapilheira observadas nos SAFs dominados por N-foliar ou pH-foliar mais altos são plausíveis somente se estes apresentam taxas muito maiores de produção de resíduos vegetais (podas + senescência natural de folhas e caules), que mais do que compensam pela decomposição mais rápida dos resíduos vegetais (NAIR et al., 1999). Borges (2019) concluiu que identidade funcional do SAF tem maior impacto no acúmulo de serapilheira, onde o teor de N foliar se destacou com efeito positivo sobre o acúmulo de massa de serapilheira.

Este resultado é consistente com a noção de que a produtividade líquida primária deste solo arenoso de baixa fertilidade é limitada por N (FOWLER et al., 2013). Portanto, a introdução e manejo de espécies eficientes na fixação biológica de N são chave não somente na produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, mas também na cobertura e proteção do solo (KUYAH et al., 2019).

As relações C:N das folhas, caules e serapilheira foram influenciadas pela identidade funcional medida pela média ponderada (CWM) dos atributos funcionais analisados. A relação C:N do caule observada foi influenciada pela CWM de todos os atributos funcionais analisados. À medida que as médias de pH-foliar, N-foliar e Área Foliar Específica dominantes nas parcelas agroflorestais aumentaram, a relação C:N do caule diminuiu, provavelmente porque aumentou a disponibilidade de N na comunidade, não somente para as plantas fixadoras de N, mas também aquelas consorciadas nas mesmas parcelas (ZHANG et al., 2021). Correspondentemente, a média da matéria seca foliar predominante nas parcelas agroflorestais (CWM\_LDMC) aumentou a relação C:N do caule, o que provavelmente indica que espécies com alta resistência à herbivoria e longevidade de tecidos acumulam tecidos estruturais com baixas concentrações de nitrogênio. Essa interpretação é consistente com os estudos que reportam alto LDMC e baixo SLA relacionados com amplas relações C:N das plantas (BUSCH et al., 2018).

Em relação à CN da folha, o CWM\_LNC aumentou à medida que a relação CN diminuiu. O CWM\_SLA apresentou uma relação negativa forte com a relação CN da folha. Quanto maior o SLA, menor a relação CN. Esse resultado entra em consonância com o conceito de que as características das folhas são conhecidas por terem uma estratégia de rápida aquisição de nutrientes, rápido crescimento e alta produtividade e, portanto, são considerados bons preditores para o armazenamento de C e N (ZUO et al., 2016) tendo assim baixa relação CN.

Nossos resultados da relação CN da serapilheira mostraram que nos atributos analisados, somente o CWM\_SLA não apresentou correlação significativa. Em relação ao efeito da identidade funcional sobre a relação CN da serapilheira, mostrou resultados significativos para o CWM\_LDMC, pH e LNC. O CWM\_LDMC apresentou uma correlação positiva moderada, então quanto maior o LDMC, maior a relação CN. Já o CWM\_pH e LNC, a medida que os valores dos atributos aumentam, diminui a relação CN. Cortez (CORTEZ et al., 2007) em seus estudos sobre as relações entre propriedades da serapilheira e características da comunidade de plantas vivas, chegou aos resultados de que as comunidades com baixo LNC e com alto LDMC forneceram uma serapilheira pobre em N e que se decompõem mais lentamente. O resultado do CWM\_pH foi ao encontro do que está posto na literatura onde altos teores de pH estão associados a maior velocidade de decomposição, ou seja, uma baixa relação CN. (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016).

Esses resultados são consistentes com outros estudos que apontam que a função e as propriedades do ecossistema são principalmente impulsionadas pela identidade funcional (CWM) (CONTI; DÍAZ, 2013; ZUO et al., 2016), ou seja, as características funcionais das espécies mais abundantes afetam os processos ecológicos associados aos serviços ecossistêmicos (TOBNER et al., 2016; DÍAZ et al., 2007).

Em relação às faixas adubadeiras, estas apresentaram significância estatística para a identidade funcional observada (CWM) dos atributos funcionais LDMC e SLA. Os maiores índices ficaram na faixa arbustiva\_2018.

## 5.2 EFEITO DA DIVERSIDADE FUNCIONAL OBSERVADA (RAO)

Os efeitos da Diversidade Funcional (RAO) dos atributos funcionais conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), pH, concentração de nitrogênio foliar (LNC) e área foliar

específica (SLA) não apresentaram efeitos significativos na massa de serapilheira acumulada sobre o solo. Em pesquisa realizada por Borges (2019), no mesmo experimento, mas em fase inicial, a diversidade funcional também não mostrou impacto na massa de serapilheira acumulada. A diversidade funcional somente apresentou significância estatística sobre a relação C:N da folha. Não apresentando significância estatística para a relação CN caule e serapilheira. Os atributos funcionais LDMC, pH e SLA apresentaram uma relação positiva significativa, porém de fraca influência. Esses resultados podem ser explicados pela base teórica da diversidade funcional, que postula que os índices de diversidade funcional estão associados à montagem da comunidade e à amplitude de recursos para resposta ao efeito de complementariedade (DE BELLO et al., 2010). Essa teoria pode explicar nossos resultados, uma vez que o conjunto das espécies adubadeiras analisadas eram poucas (duas espécies para cada tratamento), não permitindo o efeito da complementariedade de nicho, que acontece em conjuntos de espécies funcionalmente diversas.

As faixas adubadeiras apresentaram significância estatística sobre todos os atributos. A faixa adubadeira de 2016 apresentou o maior índice de diversidade funcional observada para todos os atributos funcionais analisados (LDMC, SLA, pH e LNC) em comparação com a faixa adubadeira de 2018.

### 5.3 EFEITO DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DESENHADA (TRATAMENTOS N FOLIAR)

As maiores massas de serapilheira foram encontradas no tratamento com Alto N - Foliar, seguido pelo Baixo N-Foliar e Médio N-foliar (Figura 9), divergindo da hipótese construída para esta pesquisa, onde teorizamos que a alta diversidade (Tratamento Médio N foliar) apresentaria os maiores valores de massa de serapilheira acumulada. Esse resultado também foi visto por Borges (2019) em pesquisa realizada no mesmo experimento. O Tratamento Alto N Foliar é composto pelas espécies banana e guandu. O teor de concentração de nitrogênio foliar (LNC) encontrado na banana foi inferior ao previsto para o experimento (Figura 6), configurando assim, uma variação de atributos funcionais, uma vez que o guandu apresentou alto teor LNC. As espécies fixadoras de nitrogênio e com alto teor de N Foliar contribuem significativamente na produção de biomassa da vegetação (ZHANG et al., 2021). As parcelas agroflorestais com atributos biogeoquímicos mais homogêneos, desenhadas para apenas compor espécies com alto N-foliar acumularam maior estoque de serapilheira sobre o

solo apesar da sua rápida decomposição inerente. Especulamos que isso seja devido à aparente alta produtividade, disponibilidade para poda e senescência natural da biomassa nas parcelas dominadas por espécies de alto N-foliar. Portanto, interpretamos que em um solo ácido e arenoso de baixa fertilidade química, a carência de N disponível no agroecossistema exige uma estrutura funcional dominada por espécies de rápido crescimento, alta concentração de N-foliar, alta tolerância a cortes frequentes da biomassa aérea para aumentar a serapilheira acumulada, e que inclua espécies fixadoras de N do ar. Este resultado é consistente com a noção de que a produtividade líquida primária deste solo arenoso de baixa fertilidade é limitada por N. Entendemos que essa identidade funcional, mesmo com relativamente baixa diversidade biogeoquímica seja prioritária para a fase inicial da sucessão agroflorestal num solo de baixa fertilidade química inicial. As relações C:N das folhas, caules e serapilheira apresentaram resultados semelhantes em relação aos tratamentos N-foliar. As menores relações foram encontradas no tratamento Alto N-Foliar, seguido pelo tratamento Médio N-Foliar e Baixo N-Foliar. Esse resultado pode estar relacionado pelo fato do tratamento Alto N-Foliar ser composto por plantas com alto teor de N-Foliar, conferindo uma relação C:N mais baixa.

Em relação ao efeito do tratamento sobre a identidade funcional (CWM), apresentou significância estatística para todos os atributos funcionais analisados (LDMC, SLA, pH e LNC). No entanto, com exceção do CWM\_LDMC, que apresentou alto índice para o tratamento Baixo N-Foliar, os maiores índices de CWM foram obtidos no tratamento Alto N-Foliar, divergindo do que era esperado. Esperava-se obter altos índices de CWM no tratamento Médio N-Foliar, caracterizado no desenho experimental como alta diversidade funcional. Esses resultados podem ser explicado pela teoria de que são as características funcionais das espécies dominantes de uma comunidade que mais afetam os processos ecológicos associados aos serviços ecossistêmicos (TOBNER et al., 2016; DÍAZ et al., 2007), ou seja, as características químicas dos tratamentos influenciaram a estrutura funcional observada (CWM).

#### 5.4 EFEITO DAS RELAÇÕES C:N FOLHAS E CAULES SOBRE AS RELAÇÕES C:N SERAPILHEIRA

A relação CN do caule influenciou significativamente a relação CN da serapilheira, promovendo uma relação positiva moderada. Isso pode ter ocorrido, devido aos caules apresentarem as maiores relações CN gerando relações de baixa qualidade, o que aumentaria a relação CN da serapilheira. Pang, 2020 também encontrou em ecossistema naturais uma correlação positiva entre caule e serapilheira. Esse resultado, provavelmente deve-se ao fato de que os caules são os principais responsáveis pelo suporte, contendo então mais carbono, promovendo maiores relações CN (ZHANG, 2017).

Esperávamos também esse resultado, visto que a serapilheira do SAF difere de sistemas naturais pois a entrada de resíduo se dá em sua maioria por meio da poda, alterando a qualidade dos resíduos orgânicos. Em um processo de senescência natural, as plantas reabsorvem os nutrientes das folhas, antes da abscisão. Como resultado, a qualidade serapilheira e folhagem da mesma planta pode ser bem diferente (MAFONGOYA, 1998)

Os efeitos das faixas adubadeiras sobre as relações CN apresentaram significância estatística para a relação CN da folha. Os maiores valores foram observados na faixa Adubadeira\_2016. Esse resultado pode estar atrelado ao fato de que as características das folhas possuem estratégia de rápida aquisição de nutrientes, rápido crescimento e alta produtividade. Além disso, mesmo pela pouca diferença (apenas dois anos entre os plantios), a idade da planta e o tamanho também podem ter influenciado. Árvores em povoamentos jovens crescem rapidamente e têm alta atividade metabólica, com maior demanda por nutrientes, enquanto as árvores mais velhas têm mais material estrutural no qual C se acumulou, levando a maiores relações C:N (JIANG; CHEN; CAO, 2017)

## 6 CONCLUSÃO

- Conforme encontrado na literatura científica, os sistemas agroflorestais que mesclam espécies com baixo e alto N-foliar na mesma parcela, de fato exibiram maior diversidade de atributos funcionais biogeoquímicos nas escalas da linha de plantio e da parcela.
- Nossos resultados sugerem que a identidade funcional, ou seja, a média das características funcionais dominantes das plantas (CWM) são importantes preditores para as relações C:N e massa de serapilheira.
- Os resultados da pesquisa apontaram que o sistema agroflorestal foi mais influenciado pelas características funcionais do CWM (hipótese da razão de massa) do que pela diversidade funcional (complementariedade de nicho).
- A massa de serapilheira acumulada é influenciada pela identidade funcional (CWM) do atributo funcional conteúdo de matéria seca.
- As relações C:N da serapilheira são mais bem explicadas pelos CWM: pH, conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) e concentração de nitrogênio foliar(LNC).
- As relações C:N do caule são mais bem explicadas pelo CWM: pH e concentração de nitrogênio foliar (LNC).
- As relações C:N da folha foram mais explicadas pelo CWM concentração de nitrogênio foliar (LNC) e área foliar específica (SLA).

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. et al. Biodiversity Effects on Plant Stoichiometry. **PLoS ONE**, v. 8, n. 3, 2013.
- ANDRADE, A. G. DE; CABALLERO, S. S. U.; FARIA, S. M. DE. **Ciclagem de nutrientes em Ecossistemas Florestais** Embrapa Solos Rio de Janeiro Embrapa Solos. Documentos; n.13, , 1999.
- BORGES, J. B. **Efeitos da Identidade e Diversidade Funcionais sobre o Acúmulo de Serrapilheira e a Respiração Basal em um Agroecossistema no Sul do Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- BOTTA-DUKÁT, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 5, p. 533, 2005.
- BUSCH, V. et al. Nutrient stoichiometry and land use rather than species richness determine plant functional diversity. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 1, p. 601–616, 2018.
- CALAÇA, A. M.; GRELE, C. E. V. Review on studies conducted with functional diversity. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 4, p. 401–416, 2016.
- CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59–67, 2012.
- CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades Introdução Medidas Tradicionais de Diversidade. v. 9, n. 3, 2009.
- CONTI, G.; DÍAZ, S. Plant functional diversity and carbon storage - an empirical test in semi-arid forest ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 1, p. 18–28, 2013.
- CORNELISSEN, J. H. C. et al. Leaf pH as a plant trait: Species-driven rather than soil-driven variation. **Functional Ecology**, v. 25, n. 3, p. 449–455, 2011.
- CORTEZ, J. et al. Plant traits, litter quality and decomposition in a Mediterranean old-field succession. **Plant and Soil**, v. 296, n. 1–2, p. 19–34, 2007.
- DAMOUR, G.; OZIER-LAFONTAINE, H.; DOREL, M. Simulation of the growth of banana (*Musa spp.*) cultivated on cover-crop with simplified indicators of soil water and nitrogen availability and integrated plant traits. **Field Crops Research**, v. 130, p. 99–108, 2012.
- DE BELLO, F. et al. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 10, p. 2873–2893, 2010.
- DÍAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 3, p. 295, 2004.
- DÍAZ, S. et al. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 52, p. 20684–20689, 2007.
- DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to

ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.

EMBRAPA. Solos de Santa Catarina: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n°46. p. 1–745, 2004.

FAUCON, M. P.; HOUBEN, D.; LAMBERS, H. Plant Functional Traits: Soil and Ecosystem Services. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 5, p. 385–394, 2017.

FENG, Y. L.; FU, G. L.; ZHENG, Y. L. Specific leaf area relates to the differences in leaf construction cost, photosynthesis, nitrogen allocation, and use efficiencies between invasive and noninvasive alien congeners. **Planta**, v. 228, n. 3, p. 383–390, 2008.

FERREIRA, P. A. A. et al. Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1621–1632, 2014.

FOWLER, D. et al. The global nitrogen cycle in the Twentyfirst century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, 2013.

GARNIER, E. et al. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2630–2637, 2004.

GARNIER, E.; NAVAS, M. L. **A trait-based approach to comparative functional plant ecology: Concepts, methods and applications for agroecology. A review.** [s.l: s.n.]. v. 32

GENTILE, R. et al. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 131, n. 3–4, p. 308–314, 2009.

GRIME, J. P. Benefits of plant diversity to ecosystems ] immediate \\_ lter and founder effects. **Journal of Ecology**, v. 86, p. 902–910, 1998.

ISBELL, F. et al. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. **Nature**, v. 546, n. 7656, p. 65–72, 2017.

**JAMOVI**. , 2021. Disponível em: <<https://www.jamovi.org>>

JIANG, P.; CHEN, Y.; CAO, Y. C:N:P stoichiometry and carbon storage in a naturally-regenerated secondary *Quercus variabilis* forest age sequence in the Qinling Mountains, China. **Forests**, v. 8, n. 8, p. 1–17, 2017.

JONER, F. O papel das agroflorestas na conservação da biodiversidade: estratégias e conflitos. In: SIDDIQUE, I. .; DIONÍSIO, A. C. .; SIMÕES-RAMOS, G. A. (Eds.). . **Rede SAFAS: Construindo conhecimentos sobre Agroflorestas em Rede**. Florianópolis: UFSC, 2017. p. 94.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1–10, 2009.

JOSE, S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 1–8, 2012.

KATTGE, J. et al. TRY - a global database of plant traits. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2905–2935, 2011.

KATTGE, J. et al. TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. **Glob Change Biology**, v. 26, p. 119–188, 2020.

KRAFT, N. J. B.; VALENCIA, R.; ACKERLY, D. D. Functional traits and niche-based tree community assembly in an Amazonian forest. **Science**, v. 322, n. 5901, p. 580–582, 2008.

KUEBBING, S. E.; MAYNARD, D. S.; BRADFORD, M. A. Linking functional diversity and ecosystem processes: A framework for using functional diversity metrics to predict the ecosystem impact of functionally unique species. **Journal of Ecology**, v. 106, n. 2, p. 687–698, 2018.

KUYAH, S. et al. Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 5, 2019.

LAVOREL, S. et al. Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services. p. 135–147, 2010.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits : p. 545–556, 2002.

LIN, G.; ZENG, D. H. Functional identity rather than functional diversity or species richness controls litter mixture decomposition in a subtropical forest. **Plant and Soil**, v. 428, n. 1–2, p. 179–193, 2018.

MACE, G. M.; NORRIS, K.; FITTER, A. H. Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 27, n. 1, p. 19–26, 2012.

MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. **Agroforestry Systems**, v. 1, p. 77–97, 1998.

MALEZIEUX, E. et al. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. **s. Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 43–62, 2009.

MANZONI, S. et al. **The stoichiometry of litter nitrogen mineralization.pdf**SCIENCE, , 2008. Disponível em: <[www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)>

MARTIN, A. R.; ISAAC, M. E. Functional traits in agroecology: Advancing description and prediction in agroecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 1, p. 5–11, 2018.

MILCU, A. et al. Functional diversity of leaf nitrogen concentrations drives grassland carbon fluxes. **Ecology Letters**, v. 17, n. 4, p. 435–444, 2014.

MOUILLOT, D. et al. Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, 2011.

NAIR, P. K. R. . et al. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P. & FERNANDES, E. C. M. (Ed.). . **Agroforestry in sustainable agricultural systems**. CRC Press ed. Washington: [s.n.].

NAIR, P. R. **An Introduction to Agroforestry**. ICRAF ed. [s.l.] Kluwer Academic Publishers, 1993. v. 23

PALM, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**, v. 30, n. 1–2, p. 105–124, 1995.

PALM, C. A. et al. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 27–42, 2001.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. **New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide**. [s.l.] Australian Journal of Botany, 2013.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 64, n. 8, p. 715, 2016.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: Back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741–758, 2006.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–2971, 2010.

RAO, R. Diversity and Dissimilarity. **Theoretical population biology**, v. 21, n. 1, p. 24–43, 1982.

REBELLO, J. F. DOS S.; SAKAMOTO, D. G. **Agricultura sintrópica segundo Ernst Götsch**. [s.l.: s.n.].

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 03, p. 550–565, 2020.

**RStudio Team**. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC. Boston, MA <http://www.rstudio.com/>, , 2020.

SANTOS, D. DOS et al. Crop functional diversity drives multiple ecosystem functions during early agroforestry succession. **Journal of Applied Ecology**, v. 58, n. 8, p. 1718–1727, 2021a.

SANTOS, F. M. et al. Recovering ecosystem functions through the management of regenerating community in agroforestry and plantations with *Khaya* spp. in the Atlantic Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. December 2020, p. 118854, 2021b.

SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, n. October 2018, p. 140–145, 2019.

SCHLEUTER, D. et al. A user's guide to functional diversity indices. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 3, p. 469–484, 2010.

SCHULER, H. AGROFLORESTAS: SISTEMAS DE CULTIVO INSPIRADOS NA NATUREZA. In: SIDDIQUE, I.; DIONÍSIO, A. C.; SIMÕES-RAMOS, G. A. (Ed.). . **SAFAS: construindo conhecimento sobre Agroflorestas em rede**. UFSC ed. Florianópolis: [s.n.]. p. 94.

SHIN, S. et al. A systematic map of agroforestry research focusing on ecosystem services in the Asia-Pacific region. **Forests**, v. 11, n. 4, p. 1–23, 2020.

SIDDIQUE, I. et al. SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO AGROFLORESTAL: RECUPERAÇÃO PRODUTIVA DE DIVERSOS BENEFÍCIOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS. In: FAYAD, J. A. et al. (Eds.). . **Sistema de plantio direto de hortaliças : método de transição para um novo modo de produção**. Expressão ed. São Paulo: [s.n.]. p. 428 pp.

SWIFT MJ, H. O.; ANDERSON, J. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. In: **Terrestrial Ecosystems**. Studies in ed. Berkeley, CA, USA: [s.n.].

THOMÉ, V. M. R. et al. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999, 1999.

TILMAN, D. **Tilman\_01\_FunctionalDiversity.pdf** *Encyclopedia of Biodiversity, Volume 3*, 2001.

TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M. Biodiversity and ecosystem functioning. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 45, p. 471–493, 2014.

TOBNER, C. M. et al. Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities. **Ecology Letters**, v. 19, n. 6, p. 638–647, 2016.

VIEIRA, D. L. M.; HOLL, K. D.; PENEIREIRO, F. M. Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Restoration Ecology**, v. 17, n. 4, p. 451–459, 2009.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.

WESTOBY, M. et al. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, p. 125–159, 2002.

WOOD, S. A. et al. Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 30, n. 9, p. 531–539, 2015.

YOUNG, K. J. Mimicking Nature: A Review of Successional Agroforestry Systems as an Analogue to Natural Regeneration of Secondary Forest Stands. In: **Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodivers**. [s.l.] Switzerland:Springer, 2017. p. 179–209.

ZHANG, J. et al. Biogeochemical stoichiometry of soil and plant functional groups along a primary successional gradient following glacial retreat on the eastern Tibetan plateau. **Global Ecology and Conservation**, v. 26, p. e01491, 2021.

ZHANG, W. et al. Plant functional composition and species diversity affect soil C, N, and P during secondary succession of abandoned farmland on the Loess Plateau. **Ecological**

**Engineering**, v. 122, n. August, p. 91–99, 2018.

ZUO, X. et al. Testing associations of plant functional diversity with carbon and nitrogen storage along a restoration gradient of sandy grassland. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. FEB2016, p. 1–11, 2016.

**APÊNDICE A – COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS DE ACORDO COM AS  
ESPÉCIES E HÁBITO DE CRESCIMENTO**

Composição dos tratamentos de acordo com as espécies e hábito de crescimento.

Tratamento Concentração de Nitrogênio Foliar	grupo funcional (Ano de implantação)	Espécie	
		Nome científico	Nome comum
<b>Baixo N Foliar</b> (<25 mg g-1)	Adubadeira (2016)	<i>Pennisetum purpureum</i> <i>Schumach.</i>	Capim-elefante
	Adubadeira (2016)	<i>Saccharum officinarum</i> L	Cana-de-açúcar
	Árvore (2016)	<i>Pachira glaba</i>	Castanheira da praia
	Árvore (2016)	<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá
	Árvore (2018)	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeira
	Árvore (2018)	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira
<b>Médio N Foliar</b> (Baixo + Alto)	Adubadeira (2016 e 2018)	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Feijão-guandu
	Adubadeira (2016 e 2018)	<i>Pennisetum purpureum</i> <i>Schumach.</i>	Capim-elefante
	Árvore (2016)	<i>Ingá spp.</i>	Ingá
	Árvore (2016)	<i>Pachira Glaba</i>	Castanheira da praia
	Árvore (2018)	<i>Erytrina</i>	Erytrina
	Árvore (2018)	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira
<b>Alto N Foliar</b> (>25 mg g-1)	Adubadeira (2016 e 2018)	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Feijão-guandu
	Adubadeira (2016)	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Banana
	Árvore (2016)	<i>Ingá spp.</i>	Ingá
	Árvore (2016)	<i>Trema micranta</i>	Grandiúva
	Árvore (2018)	<i>Guazuma ulmifoli</i>	Mutamba
	Árvore (2018)	<i>Erytrina</i>	Erytrina

Fonte: elaborada pela autora (2021).

## APÊNDICE B – CRONOGRAMA DE MANEJO DAS FAIXAS ADUBADEIRAS

Cronograma de manejo das faixas adubadeiras

Manejo										
Poda	Roçada			Adubação orgânica			Desbaste			
	Ano									
Espécies/faixas	2016	2017			2018			2019		
Todas as faixas	Dez									
Bananeira					Mar					
Cana de açúcar										
Capim elefante		Jun	Out	Dez						
Feijão Guandu		Jun						Mai	Jun	Set

Fonte: elaborada pela autora com adaptações de Diego dos Santos (2021).

