

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE

Ezequiel Zibetti Fornari

**PLANTAS DE COBERTURA NO VAZIO OUTONAL E SUA
INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO**

Frederico Westphalen, RS
2023

Ezequiel Zibetti Fornari

**PLANTAS DE COBERTURA NO VAZIO OUTONAL E SUA INFLUÊNCIA NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof.º Dr. Antônio Luis Santi
Coorientador: Prof.º Dr. Maurício Roberto Cherubin

Frederico Westphalen, RS
2023

Fornari, Ezequiel Zibetti
PLANTAS DE COBERTURA NO VAZIO OUTONAL E SUA
INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO /
Ezequiel Zibetti Fornari.- 2023.
50 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Coorientador: Maurício Roberto Cherubin
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2023

1. Conservação do solo 2. Sistema de Plantio Direto 3.
Rotação de culturas 4. Saúde do Solo I. Santi, Antônio
Luis II. Cherubin, Maurício Roberto III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, EZEQUIEL ZIBETTI FORNARI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Ezequiel Zibetti Fornari

**PLANTAS DE COBERTURA NO VAZIO OUTONAL E SUA INFLUÊNCIA NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 29 de setembro de 2023:

Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Maurício Roberto Cherubin, Dr. (ESALQ/USP)
(Coorientador)

Claudir José Basso Dr. (UFSM)

Lucas de Aquino Alves Dr. (URI)

Frederico Westphalen, RS
2023

Dedicatória

Tenho o prazer de dedicar esta Dissertação de Mestrado aos meus pais Oscar Inácio Fornari e Inês Zibetti Fornari, ao meu irmão Rafael Zibetti Fornari, a minha belíssima Esposa Carolina Jainara Zandoná Fornari e a todos meus familiares e amigos que ao longo destes anos sempre estiveram ao meu lado para me apoiar e fortalecer, para que com muito trabalho eu possa ter realizado este grande sonho em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por ter me permitido a graça da realização deste trabalho, juntamente com meus pais, amigos e familiares. Da mesma forma quero agradecer esta grande Universidade Federal de Santa Maria - UFSM campus Frederico Westphalen, a qual me permitiu acesso aos laboratórios de pesquisa, ao RU (Restaurante Universitário) e toda estrutura necessária.

Agradeço aos meus colegas e amigos de apartamento: Felipe Bonini da Luz e Lucas de Aquino Alves pelas constantes conversas sobre o mundo científico.

Agradeço as orientações do meu amigo e Professor Antônio Luis Santi e os meus colegas e amigos do LAPSul que passaram e estão no grupo, não conseguirei nomear todos aqui, pois são muitos que marcaram a minha história em vários momentos de pesquisa, coletas de dados, visitas em propriedades, demarcação e coletas de experimentos, apresentações de trabalho, viagem em congressos e palestras.

Quero agradecer em especial o meu grande amigo e compadre Luis Felipe Gerlach, pelas várias ajudas e conversas sobre o mestrado.

Agradeço a todos meus amigos Professores que transmitiram todo o conhecimento necessário ao longo desses anos. Em especial ao meu coorientador Maurício Roberto Cherubin pelo auxílio nas análises laboratoriais, realizadas na Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" / Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

E por fim agradecer a ADS (Agridrones Solutions) empresa que trabalhei durante o mestrado que possibilitou que a conciliação das atividades acadêmicas e profissionais.

A Todos meu Muito Obrigado!

A coisa é mansa, mas atropela!!

Vai que Brutchia!

(Angelo Fornari, in memória)

RESUMO

PLANTAS DE COBERTURA NO VAZIO OUTONAL E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO

AUTOR: Ezequiel Zibetti Fornari
ORIENTADOR: Antônio Luis santi

No estado do Rio Grande do Sul (RS), a agricultura é baseada principalmente em soja ou milho no verão, e com o trigo no inverno. Entre a colheita da cultura de verão e a semeadura do cultivo do inverno, existe uma janela de 70 a 120 dias, em que o solo fica desprotegido. Portanto as plantas de cobertura surgem como opção para minimizar os danos do pousio outonal. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de plantas de cobertura na produtividade da cultura do trigo, bem como a capacidade de produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes no vazio outonal do RS. O trabalho foi desenvolvido no município de Cruz Alta-RS, numa área comercial, com solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico. A área experimental possuía 13,2 hectares, onde foram cultivados 33 sistemas de plantas de cobertura após a cultura do milho, que antecederam a cultura do trigo. Cerca de 90 dias após a semeadura, realizou-se a amostragem dessas plantas de cobertura para determinação do potencial de produção de biomassa fresca e seca, teor e acúmulo de nutrientes (N; P; K; Ca; Mg; S, e C) e relações C/N, C/P e C/S. Após foi semeado o trigo com a cultivar TBIO Audaz. A colheita foi realizada de forma mecanizada, sendo gerados dados espacializados de rendimentos de trigo individualizados para cada sistema de plantas de cobertura. Finalizada a coleta de dados os mesmos foram agrupados em quatro grupos, (leguminosas, gramíneas, outras espécies e sistemas em consorcio). Para cada grupo foi realizada à análise estatística pelo teste t de Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, afim de discriminar os melhores tratamentos dentro de cada grupo. As plantas de cobertura apresentaram grande variabilidade na produção de biomassa e composição nutricional, até mesmo em espécies de mesma família. A relação C/N variou de 10 até 31 para o cultivo solteiro de ervilhaca comum e o consórcio de trigo mourisco e milheto respectivamente. A maioria das plantas de cobertura possuem uma relação C/P que proporciona a mineralização de P, com valores inferiores a 200. Por outro lado, a relação C/S a maioria dos resíduos vegetais estão acima de 200, diminuindo a velocidade de mineralização de enxofre. Dentre as leguminosas a crotalaria juncea apresentou a maior produtividade de biomassa seca com 9.317 kg ha⁻¹. Na produtividade de biomassa seca das gramíneas, verifica-se o predomínio das espécies de clima tropical em relação às de clima temperado. No acúmulo de nutrientes destacam-se a crotalaria juncea com ciclagem de 219 e 156 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente e o capim-pé-de-galinha-gigante com acúmulos de 139 e 235 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente. A menor a produtividade de trigo foi verificada sob resíduos de milheto com 3178 kg ha⁻¹, sendo as maiores produtividades encontradas sob resíduos de cultivo de feijão de porco e mucuna cinza com 4949 e 4394 kg ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: Conservação do solo. Sistema de Plantio Direto. Saúde do solo. Rotação de culturas

ABSTRACT**COVER CROP IN THE AUTUMN EMPTY AND THEIR INFLUENCE ON THE PRODUCTIVITY OF WHEAT CROPS**

AUTOR: Ezequiel Zibetti Fornari
ORIENTADOR: Antônio Luis santi

In the state of Rio Grande do Sul (RS), agriculture is mainly based on soybeans or corn in the summer, and wheat in the winter. Between the harvest of the summer crop and the sowing of the winter crop, there is a window of 70 to 120 days in which the soil is unprotected. Therefore, cover crops appear as an option to minimize the damage caused by autumn fallow. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of cover crops on wheat crop productivity, as well as the biomass production capacity and nutrient cycling in the autumn void of RS. The work was carried out in the municipality of Cruz Alta-RS, in a commercial area, with soil classified as a typical Dystrophic Red Oxisol. The experimental area had 13.2 hectares, where 33 cover crop systems were cultivated after the corn crop, which preceded the wheat crop. Approximately 90 days after sowing, these cover crops were sampled to determine the potential for fresh and dry biomass production, nutrient content and accumulation (N; P; K; Ca; Mg; S, and C). and C/N, C/P and C/S relations. Afterwards, wheat was sown with the cultivar TBIO Audaz. The harvest was carried out mechanized, generating spatialized data on individual wheat yields for each cover crop system. Once data collection was completed, they were grouped into four groups (legumes, grasses, other species and intercropped systems). For each group, statistical analysis was performed using the Student's t test for independent samples with a 5% probability of error, in order to discriminate the best treatments within each group. Cover crops showed great variability in biomass production and nutritional composition, even in species from the same family. The C/N ratio varied from 10 to 31 for the single cultivation of common vetch and the intercropping of buckwheat and millet respectively. Most cover crops have a C/P ratio that provides P mineralization, with values below 200. On the other hand, the C/S ratio of most plant residues is above 200, reducing the rate of P mineralization. sulfur. Among the legumes, *crotalaria juncea* presented the highest dry biomass productivity with 9,317 kg ha⁻¹. In the dry biomass productivity of grasses, there is a predominance of species from tropical climates in relation to those from temperate climates. In terms of nutrient accumulation, *crotalaria juncea* stands out with cycling of 219 and 156 kg ha⁻¹ of N and K, respectively, and giant crow's foot grass with accumulations of 139 and 235 kg ha⁻¹ of N and K, respectively. The lowest wheat productivity was found under millet residues with 3178 kg ha⁻¹, with the highest productivity found under pig bean and gray velvet residues with 4949 and 4394 kg ha⁻¹, respectively.

Keywords: Soil Conservation. No-till. Soil health. Crop rotation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CULTIVO DE TRIGO	15
2.2 SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	16
2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES	17
3 METODOLOGIA	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. BIOMASSA VEGETAL.....	25
4.2. TEOR DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES ESPÉCIES E CONSÓRCIOS	28
4.3. RELAÇÕES ENTRE NUTRIENTES (CN, CP, CS) NAS DIFERENTES ESPÉCIES E CONSÓRCIOS	31
4.4. CICLAGEM DE NUTRIENTES E ACUMULO DE NUTRIENTES	33
4.5. PRODUTIVIDADE DE TRIGO	41
5 CONCLUSÕES	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas de produção agrícola, o solo é considerado um ponto chave para o sucesso do empreendimento rural, sendo que a conservação de sua qualidade é primordial para seus serviços ecossistêmicos, bem como, suprir as necessidades da população mundial por alimentos e matérias-primas que aumentam constantemente. (KARLEN et al., 2019). Concomitantemente, para SANTI; DALMAGO; DENARDIN, (2007) o solo é considerado como um meio de grande valia na dinâmica de carbono no ambiente, tendo o potencial de sequestrar o gás carbônico (CO₂) da atmosfera e retê-lo.

No Brasil, frequentemente são relatados recordes de produção de grãos, principalmente nas culturas da soja (com 154,6 milhões de toneladas) e milho (131,9 milhões de toneladas) no ano agrícola de 2022/23 (CONAB, 2023). Tal cenário contribui para um pensamento errôneo de segurança alimentar, visto que frequentemente são relatadas perdas na qualidade do solo, principalmente relacionadas ao manejo incorreto, o que provoca lixiviação de nutrientes, acidificação, compactação de solo e erosão, podendo então afetar a sustentabilidade e a produção futura de alimentos e matérias-primas (DA LUZ et al., 2019; LISBOA et al., 2019).

Para tanto, tem-se o Sistema Plantio Direto (SPD) que agrega várias técnicas conservacionistas, dentre elas, a rotação de culturas, não revolvimento do solo, semeadura em nível e a cobertura permanente do solo, para manter a qualidade do solo e a produtividade de culturas agrícolas, além de auxiliar na diminuição de problemas ambientais provocados por manejos inadequados, (DENARDIN et al., 2012; NOVARA et al., 2021). No entanto, a monocultura e a semeadura direta de uma cultura de verão sob uma área de pousio invernal (sem cultivo na entressafra nos meses de abril a maio na região sul) não garante a sustentabilidade dos sistemas de produção (NUNES et al., 2020). Prática que infelizmente é a realidade de muitas propriedades rurais (PIRES et al., 2017).

A rotação de culturas, bem como, o uso de plantas de cobertura é de fundamental importância para o manejo correto do SPD. Conforme WOLSCHICK et al., (2021) a cobertura morta de resíduos de plantas de cobertura, na superfície do solo auxilia para reduzir o escoamento e o efeito da erosividade da chuva e aumentar a erodibilidade do solo. Além disso, tem sido proposto como uma forma biológica e sustentável de evitar a compactação do solo, elevar os teores de matéria orgânica do solo e aumentar a ciclagem de nutrientes (CALONEGO et al., 2017).

No entanto, estudos demonstram que os benefícios das culturas de cobertura variam dependendo da espécie utilizada (Chen e Weil, 2011; Yu et al., 2016). Espécies de leguminosas

possuem alta fixação de nitrogênio e sistema radicular pivotante que geram poros de grande diâmetro para o crescimento de raízes subseqüentes (Colombi et al., 2017). Por outro lado, as gramíneas possuem maior densidade radicular do que as leguminosas e produzem uma biomassa com maior relação C/N em estágios finais de desenvolvimento, o que pode resultar na persistência da palha no solo por mais tempo e, assim, proteger o solo da erosão. Logo, a utilização conjunta de plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas, vem gerando muitas dúvidas, principalmente por ser uma estratégia alternativa que visa mesclar os seus efeitos positivos individuais (VUJIC' et al., 2021).

Conforme experimento realizado no Rio Grande do Sul por (ZANATTA et al., 2007) é necessário um aporte de 13,0 Mg ha⁻¹ de biomassa seca por ano para manter o teor de matéria orgânica no solo constante. No entanto a agricultura do estado em questão é baseada principalmente na cultura da soja ou milho no verão, e com o trigo no inverno. Fatores que proporcionam um cenário desafiador para elevar o teor de matéria orgânica do solo, visto que os aportes de biomassa destas culturas não são suficientes. Todavia há um período de aproximadamente de 70 a 120 dias entre a colheita da cultura de verão e o cultivo de inverno (vazio outonal), em que o solo fica desprotegido (CONAB, 2020). Assim o emprego de plantas de cobertura surge como uma interessante opção para diminuir os efeitos negativos do vazio outonal após a cultura de verão e elevar o aporte de biomassa anual dos sistemas agrícolas.

Assim este trabalho é baseado nas seguintes hipóteses: I Efeito diferenciado das plantas de cobertura na produtividade da cultura do trigo; II Alta capacidade de acúmulo de nutrientes das plantas de cobertura, principalmente dos sistemas em consórcios e de nitrogênio por parte das leguminosas e III Grande variação na produção de biomassa fresca e seca em função da interação de cada espécie estudada com a condição edafoclimática do experimento. Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de plantas de cobertura na produtividade da cultura do trigo, bem como a capacidade de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes no vazio outonal do RS.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVO DE TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertence à família Poaceae (Gramineae), é uma planta hexaploide, oriunda de um cruzamento natural, sendo formada por raízes, colmo, folhas e inflorescência (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015). Planta originária do “Crescente Fértil”, região localizada no continente africano, ao norte de rio Nilo (TAKEITI, 2009). Um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo (ERENSTEIN et al., 2022).

O cereal fornece até 20% das calorias e proteínas da dieta da população mundial, além de ser uma rica fonte de micronutrientes, vitaminas, minerais (POOLE; DONOVAN; ERENSTEIN, 2021). Da mesma forma é capaz de fornecer compostos bioativos como fibras, polifenóis e carotenoides (ZINGALE et al., 2023). O trigo é utilizado na alimentação humana (pães, biscoitos, farinhas, macarrão, bolos, etc.), no preparo de produtos não alimentícios (colas, misturas para impressão, misturas adesivas ou de laminação para papéis ou madeiras, agentes surfactantes, embalagens solúveis ou comestíveis, álcool, antibióticos, fármacos, cosméticos, etc.), bem como na alimentação animal, na forma de forragem, de grão ou na composição de ração (DE MORI; IGNACZAK, 2011).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023) dentre os maiores produtores de trigo, destacam-se: China (140 milhões de toneladas); União Europeia (139 milhões de toneladas); Índia (110 milhões de toneladas); Rússia (81,5 milhões de toneladas) e EUA (45,1 milhões de toneladas). O Brasil com sua produção enquadra-se na 14ª posição no ranking. Já os maiores importadores são: Egito (12 milhões de toneladas); Indonésia (11 milhões de toneladas), China (10,5 12 milhões de toneladas), e Turquia (10 milhões de toneladas), e o Brasil (5,6 milhões de toneladas) na 11ª posição no ranking mundial.

Segundo a CONAB na safra de 2022/23 o Brasil produziu 10,5 milhões de toneladas de trigo, ocupando uma área de 3,09 milhões de hectares. De forma que a região sul do Brasil (RS, Santa Catarina e Paraná) foi responsável por mais de 90% da produção do país. Sendo que, dentre os estados da união, o RS é o maior produtor, com 4,67 milhões de toneladas, ocupando uma área de 1,45 milhões de hectares (CONAB, 2023).

Por mais que haja frustrações de safra, principalmente na região sul do Brasil, devido às variações climáticas, os benefícios diretos e indiretos do cultivo de trigo, ao longo dos anos, são maiores do que a alternativa de manter as áreas em pousio (PIRES et al., 2017). Segundo CANZIANI E GUIMARÃES (2009), o trigo proporciona vários benefícios entre eles: Uso

racional e eficiente da infraestrutura nas propriedades rurais; geração de empregos diretos e indiretos; a redução no custo total de produção da safra de verão; o uso racional e eficiente do solo; ganhos com a circulação de renda; e economia de divisas com importações.

2.2 SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

O SPD é uma tecnologia conservacionista de produção agrícola e faz parte das políticas públicas brasileiras voltadas para alcançar uma agricultura de baixo carbono (CQNUMC, 2022). Termo este totalmente brasileiro, que surgiu em meados de 1980 para elucidar as melhores técnicas de cultivo para lavouras de clima tropical e subtropical presente no Brasil. Para (DENARDIN et al., 2012) o SPD, não é caracterizado somente por semear direto na palha sem revolvimento do solo, como erroneamente muitos produtores pensam e agem. Mas sim maximizar a biodiversidade do ambiente, realizar constante rotação de culturas, colher e logo após semear, não deixando o solo descoberto por muito tempo, adicionar material orgânico no solo, empregar insumos de forma precisa, controlar o tráfego de maquinário e adotar manejos integrados de doenças e pragas.

Em função dos relevantes benefícios atribuídos ao SPD, sua adoção está crescendo gradativamente ao redor do mundo, sendo praticado em aproximadamente 180 milhões de hectares, em especial nos Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e Austrália (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCHE, 2018). Já no Brasil o SPD é empregado em mais de 50% das áreas cultivadas, o que representa 33 milhões de hectares na safra de 2018. (FUENTES-LLANILLO et al., 2021).

Para SALOMÃO et al., (2020) os impactos positivos gerados pelo SPD demonstram um sistema produtivo econômico e sustentável, que permite a resolução de problemas ambientais presentes em muitas áreas agrícolas, como início de processos erosivos, bem como lixiviação de nutrientes e fertilizantes, para cursos hídricos. Conforme (JANTALIA et al., 2003) a ausência de revolvimento de solo, ou seja, o emprego do SPD, aliado com o uso de rotação de culturas somado à práticas mais conservacionistas e sustentáveis maximizam o acúmulo de C em solos agrícolas.

Segundo (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019) o SPD desde sua implantação no Brasil vem proporcionado inúmeros benefícios para a conservação de solo, gerando um melhor ambiente de desenvolvimento para culturas de interesse econômico, promovendo aumento na produtividade e a lucratividade. Com tais benefícios, as áreas de SPD vêm sendo ampliadas e incluído outros manejos conservacionistas.

2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES

A ciclagem de nutrientes pode ser compreendida por um fenômeno natural de transferência constante de elementos para distintos seres, locais e ambientes, possibilitando assim recuperação e reutilização de nutrientes no sistema agrícola (Klee & Graedel, 2004; RAVEN et al., 2014). Tal processo permite que as plantas absorvam, translouquem e acumulem na sua biomassa vários elementos. O retorno desses nutrientes se dá pela decomposição ao transformar resíduos vegetais em compostos inorgânicos reabsorvíveis pelas plantas (HOFFLAND et al., 2020; SPOHN et al., 2021).

O desempenho desse ciclo é altamente influenciado pela composição química do material (relação C:N; C:P C:S e taxa de mineralização) (Jalali et al., 2014; Jílková et al., 2020; Truong & Marschner, 2018; Priya et al., 2017 Walela et al., 2014); e outros agentes como produção de biomassa vegetal, comportamento climático e práticas agrícolas sustentáveis (SPOHN et al., 2021; TESSEMA et al., 2022). O impacto das plantas de cobertura na ciclagem de nutrientes de material orgânico ocorre por metabólitos oriundos da rizosfera, que geram um meio rico de nutrientes, carboidratos, lipídios e proteínas que afetam a atividade de organismo do solo, em proporção temporal e espacial (CHOMEL et al., 2016; ROSENZWEIG; SCHIPANSKI; KAYE, 2017).

Afim de minimizar danos e incrementar a saúde do solo, o uso de plantas de cobertura é considerado uma opção promissora (FAGERIA; BALIGAR; BAILEY, 2005). Empregadas entre o cultivo de culturas comerciais, para proteger o solo, evitando a perda de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial, em que muitas vezes é intensificado em condição de pousio (De Baets et al., 2011; Kaspar et al., 2012; Sharma et al., 2018). Porém o cultivo de plantas de cobertura que muita atenção, uma vez que as mesmas podem aumentar, reduzir ou não ter impacto na produtividade das culturas subsequentes, dependendo da espécie de cultura de cobertura, das condições climáticas, do tipo de solo e das estratégias de manejo (BLANCO-CANQUI et al., 2015; DOLTRA; OLESEN, 2013; VALKAMA et al., 2015).

As plantas de cobertura gramíneas e crucíferas são capazes de somente reter o N mineral do solo, assim reduzindo sua perda por lixiviação. Já as leguminosas podem fixar N atmosférico e por consequência possuir uma maior concentração de N e menores relações C:N, disponibilizando mais N do que as não leguminosas após a decomposição dos resíduos vegetais (Li et al., 2015; Tribouillois et al., 2016). Além do N, as plantas de cobertura também podem contribuir potencialmente para a disponibilidades dos demais nutrientes para a cultura em sucessão, como é o caso do tremoço branco que possui um sistema radicular lateral denso, capaz

de liberar fosfatase ácida e ânions orgânicos, especialmente citrato, o que aumenta a disponibilidade e absorção de P do solo (BAYON et al., 2006; LAMBERS; CLEMENTS; NELSON, 2013). De forma semelhante o trigo mourisco também é capaz de mobilizar P no solo liberando prótons (KREUZEDER et al., 2018) e ânions orgânicos (POSSINGER; BYRNE; BREEN, 2013).

A combinação de características complementares de culturas de cobertura, como arquitetura radicular, aquisição de nutrientes ou qualidade de resíduos, pode aumentar a diversidade de características funcionais e, conseqüentemente, a multifuncionalidade dos consórcios de plantas de cobertura (BLESH, 2018). Assim o cultivo de consórcios de plantas de cobertura em vez de cultivos isolados, pode maximizar os benefícios de cada espécie para o sistema produtivo (TRIBOUILLOIS; COHAN; JUSTES, 2016).

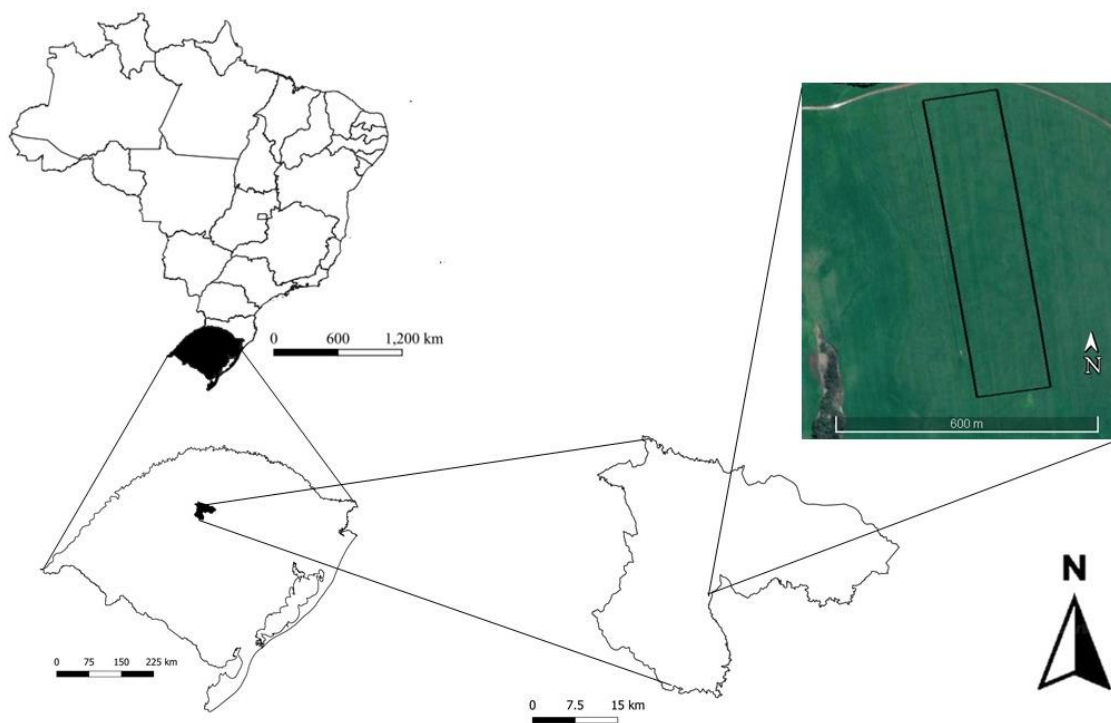
Efeitos positivos do consórcio de plantas de cobertura têm sido observadas entre leguminosas e não leguminosas, que apresentaram maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes (TRIBOUILLOIS; COHAN; JUSTES, 2016; WENDLING et al., 2017). (BESSLER et al., 2012) observaram maior acúmulo de nitrogênio em consórcios de plantas de cobertura em relação a cultivos isolados, devido à fixação de N por leguminosas e alta produtividade de biomassa e absorção de N por não leguminosas.

Entretanto, efeitos negativos do consórcio de plantas cobertura podem ocorrer devido à competição entre as espécies de plantas de cobertura, resultando em diminuição do desempenho das misturas em comparação com espécies isoladas (COUËDEL; ALLETTO; JUSTES, 2018; TRIBOUILLOIS; COHAN; JUSTES, 2016; WENDLING et al., 2017). Logo deve-se utilizar consórcios já estudados, com efeitos comprovados (WENDLING et al., 2017). Em seu guia prático de plantas de cobertura (CHERUBIN, 2022) expõem as potencialidades e limitações de uso de 49 espécies de para o cultivo individual ou em consórcio de plantas de cobertura, nas épocas de outono-inverno e primavera-verão.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no município de Cruz Alta no estado do Rio Grande do Sul, numa área comercial pertencente a empresa rural Sementes Aurora, situada entre as coordenadas geográficas: latitude $28^{\circ}46'14.71''\text{S}$ até $28^{\circ}45'52.36''\text{S}$ e longitude $53^{\circ}35'9.63''\text{O}$ até $53^{\circ}35'5.84''\text{O}$, com altitude aproximada de 410 metros (Figura 1).

Figura 1 – Localização Geográfica da área experimental utilizada no estudo.



Fonte: (Autor).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, pertencente a região fisiográfica Planalto Meridional do RS. Nesta classe os solos são considerados profundos com mais de 2,50 m de espessura, bem drenados, porosos, de coloração vermelha escura e textura média (SANTOS et al.,2013). Com mais de 20 anos de SPD e alguns anos já sendo manejada com ferramentas de agricultura de precisão, a área experimental apresenta alta fertilidade e uniformidade. Na tabela 1 estão descritos atributos físico-químicos do solo da área experimental.

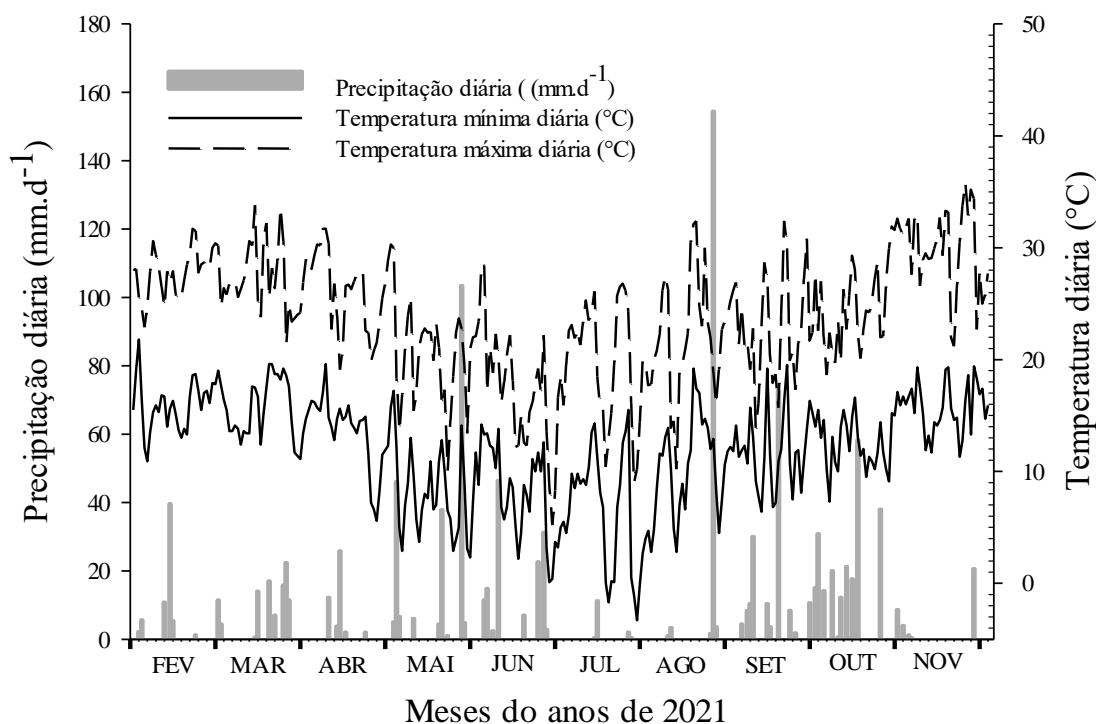
Tabela 1 – Atributos físico-químicos do solo na profundidade de 0,00 – 0,15 m na área experimental em 2021.

Atributos físico-químicos do solo (*)										
	Argila	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	MO	V	Al ³⁺	CTC
Teores	(%)	(água)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)	(%)	(%)	(cmol _c dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)
	44,24	6,12	18,9	160,3	5,69	2,4	3,0	63,1	0,00	12,3

(*) pH (potencial hidrogeniônico); P (fósforo); K⁺ (potássio); Ca²⁺ (cálcio); Mg²⁺ (magnésio); MO (matéria orgânica); V (saturação por bases); Al³⁺ (alumínio); CTC (capacidade de troca de catiônica a pH 7,0)

O clima da região é subtropical úmido com classificação de Köpen do tipo cfa, com temperaturas máximas superiores ou igual a 22°C, mínimas entre -3 a 18°C e precipitação anual de 1.900 até 2.200 mm. (Alvares et al., 2013). Na figura 2 estão apresentados os dados meteorológicos de precipitação diária e temperaturas máximas e mínimas diárias, entre os meses de fevereiro e novembro de 2021.

Figura 2 - Temperaturas máxima e mínima diárias e precipitação diária de fevereiro a novembro de 2021 para a Região de Cruz Alta-RS.



Fonte: (Autor).

Na área utilizada para estudo de 13,2 hectares foram cultivados 33 sistemas de plantas de cobertura após a cultura do milho, que antecederam a cultura do trigo. Os sistemas foram semeados entre os dias 23 e 26 de fevereiro de 2021, em faixas de aproximadamente 20 m de

largura e 200 m de comprimento, com semeadura mecanizada. Na tabela 2 está apresentada a descrição dos sistemas estudados.

Em 27 de maio, antes das plantas de coberturas serem manejadas para o cultivo de trigo, realizou-se a amostragem de biomassa para a determinação do potencial de produção de biomassa verde e de biomassa seca (Figura 3). Na ocasião utilizou-se um quadro de 0,25 m², sendo realizadas três repetições espacializadas e demarcada em cada faixa, conforme (DAMIAN et al., 2017), em seguida as amostras foram pesadas para a determinação da biomassa verde.

Figura 3 – Plantas de cobertura no momento da coleta de massa fresca e seca. *Crotalária spectabilis* (Esquerda) e Capim-pé-de-galinha gigante (Direita).



Fonte: (Autor).

Logo após, as amostras foram transportadas para a Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen/RS e condicionadas em estufa de secagem com circulação de ar forçado a 65°C. Após a secagem completa das amostras realizou-se a determinação da massa seca por meio de balança de precisão e os valores obtidos extrapolados para kg.ha⁻¹. Posteriormente, visando o preparado das amostras para a análise laboratorial, realizou-se a moagem do material, inicialmente num triturador de partículas grossas e após no moinho tipo "Willey" com peneira com malha de 1,0 mm.

Tabela 2 – Descrição dos sistemas plantas de coberturas, espécies e densidades de sementes utilizadas.

Identificação	Descrição dos tratamentos
FG	Feijão guandu (20 Kg ha ⁻¹)
TB	Tremoço branco (60 Kg ha ⁻¹)
CJ	<i>Crotalaria juncea</i> (30 Kg ha ⁻¹)
CS	<i>Crotalaria spectabilis</i> (20 Kg ha ⁻¹)
EC	Ervilhaca Comum ⁽¹⁾ (40 Kg ha ⁻¹)
EP	Ervilhaca Peluda ⁽²⁾ (40 Kg ha ⁻¹)
MC	Mucuna Cinza (80 Kg ha ⁻¹)
FP	Feijão de Porco (100 Kg ha ⁻¹)
MI	Milheto (30 Kg ha ⁻¹)
CPG	Capim-pé-de-galinha-gigante (10 Kg ha ⁻¹)
SB	Sorgo branco forrageiro (20 Kg ha ⁻¹)
AB	Aveia branca (100 Kg ha ⁻¹)
AU	Aveia ucraniana (65 Kg ha ⁻¹)
AP	Aveia preta (80 Kg ha ⁻¹)
N	Nabo For. (20 Kg ha ⁻¹)
TM	Trigo mourisco (60 Kg ha ⁻¹)
ACEN	RX 520 (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante) 50 Kg ha ⁻¹
ABAPN	RX 410 (aveia branca+ aveia preta + nabo For.) 40 Kg ha ⁻¹
TMI	Trigo mourisco (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (10 Kg ha ⁻¹)
MINTM	Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹) + Trigo Mourisco (30 Kg ha ⁻¹)
MIN	Milheto (20 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
CJMI	<i>Crotalaria juncea</i> (20 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹)
CJN	<i>Crotalaria juncea</i> (20 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
CPGMI	<i>Coracana eleusine</i> (5 Kg ha ⁻¹) +Milheto (20 Kg ha ⁻¹)
NE	Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹) + Ervilhaca ⁽²⁾ (15 Kg ha ⁻¹)
ABEN	Aveia branca (40 Kg ha ⁻¹) + Ervilhaca ⁽²⁾ (20 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
ABENMI	Aveia branca (30 Kg ha ⁻¹) + Ervilhaca ⁽²⁾ (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (5 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹)
AUMI	Aveia ucraniana (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (20 Kg ha ⁻¹)
AUMIN	Aveia ucraniana (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
APMI	Aveia preta (40 Kg ha ⁻¹) + Milheto (20 Kg ha ⁻¹)
APMIN1	Aveia preta (40 Kg ha ⁻¹) + Milheto (30 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
APMIN2	Aveia preta (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹)
APMINE	Aveia preta (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (5 Kg ha ⁻¹) + Ervilhaca ⁽²⁾ (15 Kg ha ⁻¹)

Nabo For.: Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.); Feijão Gandú (*Cajanus cajan*); Tremoço Branco (*Lupinus albus*); Aveia Branca (*Avena sativa*); Aveia Preta (*Avena strigosa*); *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea*); *Crotalaria Spectabilis* (*Crotalaria spectabilis*); Capim-pé-de-galinha-gigante (*Coracana eleusine*); Aveia Ucraniana (*Avena strigosa* (cv). Ucraniana); Centeio (*Secale cereale*); Ervilhaca comum⁽¹⁾ (*Vicia sativa* L); Ervilhaca⁽²⁾ (*Vicia villosa*); Milheto (*Pennisetum glaucum*); Trigo Mourisco (*Fagopyrum esculentum*); Sorgo Branco Forrageiro (*Sorghum bicolor*); Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens*); Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*);

Estando todas as amostras prontas, as mesmas foram enviadas para o Laboratório de

Análises Química da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) em Piracicaba/SP. Em laboratório foram determinados os teores de nutrientes da biomassa das plantas de cobertura, onde dentre os nutrientes determinados estão: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S), e carbono (C).

Por meio da digestão de H_2SO_4 concentrado, foram extraídos cálcio, nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio. Sendo o N quantificado por destilação (semi-micro Kjeldahl) e titulação com ácido sulfúrico. Já o teor de P, foi obtido por espectrometria, o K por fotometria de chamas e Mg e Ca por fotometria de absorção atômica, conforme metodologias de SILVA (2009). O teor de C foi quantificado pelo método descrito por TEDESCO et al., (1995). Já o acúmulo dos nutrientes em cada tratamento foi calculado pela multiplicação do teor de cada nutriente no tecido vegetal com a biomassa vegetal seca produzida (Malavolta et al., 1997).

Após a coleta de biomassa, a área experimental foi dessecada e manejada com rolo-faca antecedendo a semeadura do trigo, que se efetuou em 28 de junho. O trigo semeado foi a cultivar TBIO Audaz, com densidade média de 330 sementes por m^2 . O cultivo recebeu como adubação de base 200 kg ha^{-1} do adubo NPK 07 40 00, adubação potássica em cobertura com 150 kg ha^{-1} de KCl e adubação de cobertura nitrogenada de 200 kg ha^{-1} dividida em duas aplicações. A primeira quando o trigo se encontrava em estágio fenológico de perfilhamento e a segunda no estágio de alongamento, conforme CQFS-RS/SC (2016).

Todos os manejos fitossanitários foram realizados conforme as recomendações técnicas dos engenheiros agrônomos da fazenda. A colheita do trigo foi realizada em 11/11/2021, de forma mecanizada com a colhedora John Deere modelo S780, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS® (Advanced Farming System). O sistema é composto de sensor instantâneo de grãos do tipo placa de impacto, instalado no final do elevador de grãos. Além disso, o monitor de colheita, associa informações de velocidade de deslocamento e a largura da plataforma e armazena as informações de rendimento de grãos de modo georreferenciado por meio de sinal de GNSS. A colheita foi realizada de maneira que a colhedora sempre passasse no centro de cada faixa.

No final da colheita foi gerado um arquivo com os dados de colheita georreferenciados, que foram processados no programa SMS Advance® Ag Leader Technology e posteriormente exportado para o programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO; ROBAINA, 2007), onde os dados foram filtrados, eliminando-se dados discrepantes. em um raio de pesquisa de 50 metros os pontos com coeficiente de variação (CV%) superior a 30%, que caracterizam rendimentos inconsistentes (SHIRATSUCHI, 2004). Em seguida foram gerados dados espacializados de rendimentos de trigo individualizados para cada sistema de plantas de cobertura, afim de avaliar

a influência dos sistemas no rendimento de grãos da cultura do trigo.

Finalizada a coleta de dados os mesmos foram agrupados em 4 distintos grupos, leguminosas, gramíneas, outras espécies e sistemas em consorcio, para cada grupo foi realizada à análise estatística pelo teste t de Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, afim de discriminar os melhores tratamentos dentro de cada grupo. Todas as análises foram realizadas usando o software Rbio, versão 164 ((BHERING, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. BIOMASSA VEGETAL

A produção de biomassa fresca e seca, variou consideravelmente dentro das plantas de cobertura de mesma classe (Figura 4). Para as leguminosas as maiores produtividades de biomassa fresca foram verificadas nos cultivos de crotalaria juncea, crotalaria spectabilis, tremoço branco e ervilhaca comum, sendo 38.000; 33.600; 39.200 e 30.867 kg ha⁻¹, respectivamente. Dentre as gramíneas os maiores valores foram obtidos nos cultivos de sorgo branco com 50.333 kg ha⁻¹, capim-pé-de-galinha-gigante com 41.667 kg ha⁻¹ e milho com 38.533 kg ha⁻¹. O cultivo de nabo produziu 18.600 kg ha⁻¹ mais de biomassa fresca em relação ao cultivo de trigo mourisco, sendo que produziram 39.200 e 20.300 kg ha⁻¹, respectivamente.

Dentre os cultivos consorciados a maior produtividade de biomassa fresca foi observada no consórcio aveia branca, centeio, nabo e ervilhaca comum, com 96.800 kg ha⁻¹, em seguida pelos consórcios de aveia branca, aveia preta com nabo; crotalaria juncea com milho e crotalaria juncea com nabo. Já o menor valor foi obtido pelo consórcio capim-pé-de-galinha-gigante com milho (Figura 4).

Entretanto, a produtividade de biomassa seca apresentou comportamento diferenciado em relação a produtividades de biomassa fresca. Dentro do grupo das plantas leguminosas a crotalaria juncea apresentou a maior produtividade de biomassa seca com 9.317 kg ha⁻¹, sendo superior às demais leguminosas. Fato que colabora com o trabalho de (SOUSA et al., 2019) que verificou a maior produção de biomassa seca de 12.500 kg ha⁻¹ no cultivo de crotalaria juncea, em relação às demais plantas de cobertura estudada. (PEREIRA et al., 2017) também verificaram superioridade da crotalaria juncea em seu estudo. A menor produção de biomassa seca pela crotalaria spectabilis em relação a Crotalaria juncea também evidenciada por (FERREIRA et al., 2023). Tal situação se deve ao crescimento inicial mais lento que a crotalaria spectabilis possuem em relação ao rápido crescimento inicial da crotalaria juncea conforme é apresentado por (CHERUBIN, 2022).

Para as gramíneas verifica-se maior homogeneidade dos valores de biomassa seca em relação às leguminosas. A maior produção de biomassa seca foi encontrada no cultivo de sorgo branco com 8.577 kg ha⁻¹ (Figura 4. Resultado próximo das produções encontradas por (CHERUBIN, 2022; REDIN et al., 2018). Já as menores produções de biomassa seca foram observadas nos cultivos de aveia ucraniana e aveia preta com 6.934 kg ha⁻¹ e 6.931 kg ha⁻¹, respectivamente. Valores estes abaixo do encontrado por (REDIN et al., 2018; WOLSCHICK

et al., 2016).

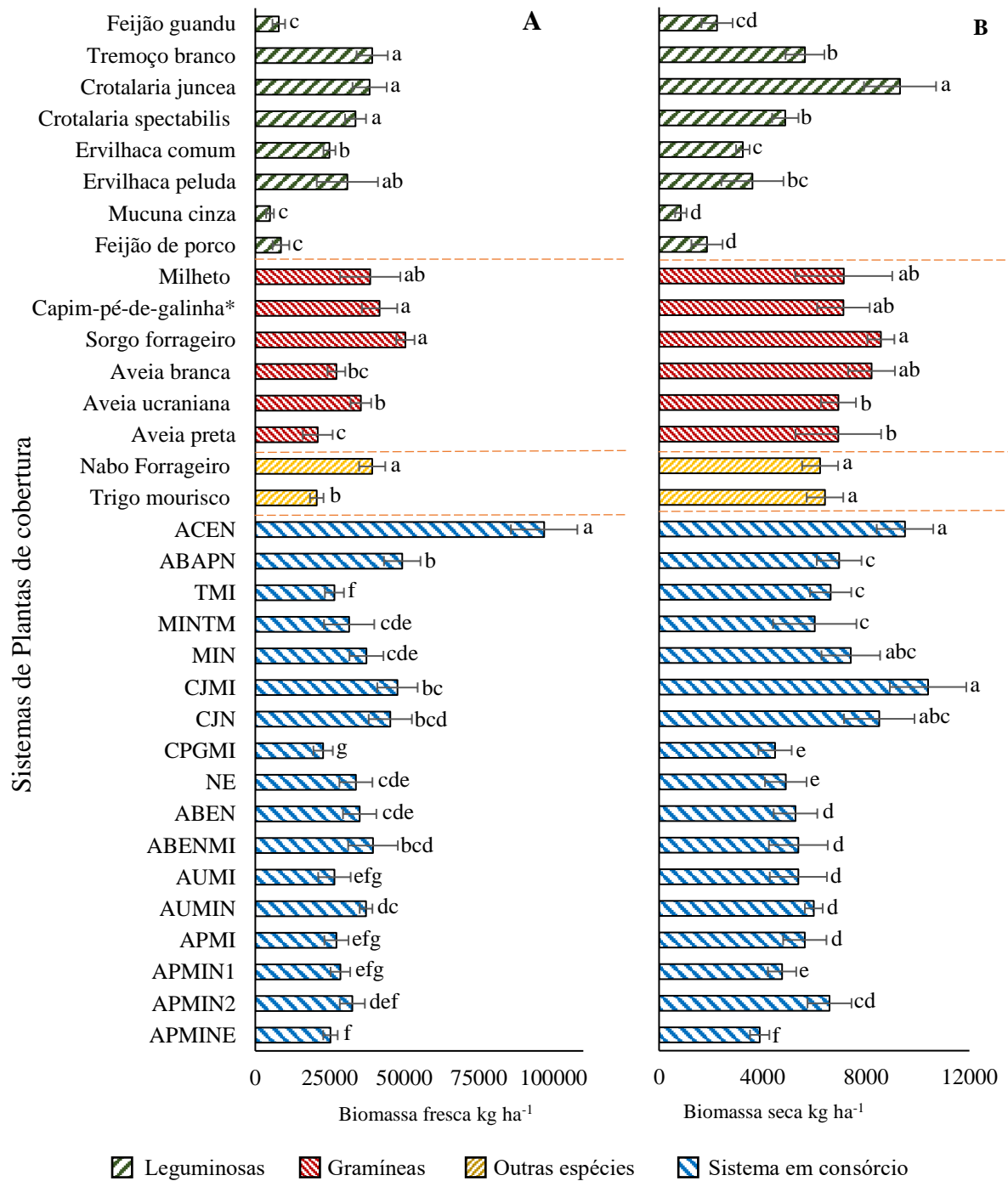
Analisando as maiores produtividades de biomassa seca das gramíneas, verifica-se o predomínio de gramíneas de clima tropical (sorgo branco, milho e capim-pé-de-galinha-gigante) em relação às gramíneas de clima temperado (aveia branca, aveia preta e aveia ucraniana). Esta superioridade pode ser justificada pelas condições edafoclimáticas do presente trabalho (Figura 1). Pois temperaturas altas no início do desenvolvimento das plantas beneficia as gramíneas de clima tropical em detrimento das de clima temperado, conforme (CHERUBIN, 2022) apresentam as condições climáticas favoráveis para as plantas de cobertura cultivadas no Brasil.

Para o cultivo de nabo e trigo mourisco observa-se valores de biomassa seca próximos com 6.226 kg ha^{-1} e 6.415 kg ha^{-1} respectivamente. A produção de biomassa seca de nabo deste trabalho foi superior daquela observada de (WOLSCHICK et al., 2016), que verificaram 4.260 kg ha^{-1} e inferiores dos valores de 6.810 kg ha^{-1} que foi identificado por (REDIN et al., 2018). Já a produção de biomassa seca de trigo mourisco foi próxima dos 6.780 kg ha^{-1} observado por (PEREIRA et al., 2017). Entretanto diferiram dos resultados obtidos por (MENEZES; LEANDRO, 2004) que apresentaram uma produção de biomassa de $35.76,5 \text{ kg ha}^{-1}$ aos noventa dias após a emergência da cultura do trigo mourisco.

Nos sistemas consorciados, os maiores valores de biomassa seca foram obtidos nos consórcios: milho com nabo; crotalaria juncea com nabo; aveia branca, centeio, nabo com ervilhaca comum e crotalaria juncea com milho, resultando em produções de 7.413 , 8.513 , 9.509 e $10.402 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente (Figura 4). Uma característica que justifica o resultado de alguns desses consórcios é a presença de plantas de clima tropical que possuem rápido crescimento inicial (CHERUBIN, 2022)

Já a produção do consórcio com aveia branca, centeio, nabo com ervilhaca comum, pode ser justificado pela adaptação de cada espécie ao clima, bem como a não competição entre as diferentes espécies de plantas de cobertura, já que vários estudos tem mostrado competição interespecífica nos consórcios de plantas de cobertura (COUËDEL; ALLETTO; JUSTES, 2018; TRIBOUILLOIS; COHAN; JUSTES, 2016; WENDLING et al., 2017) que resultaram em menor produção de biomassa seca. (HANSEN et al., 2021) evidenciaram que o centeio é uma gramínea que se adapta bem aos cultivos consorciados, por não competir com outras espécies e pela alta produção de biomassa.

Figura 4 – Produção de biomassa fresca (A) e seca (B) dos sistemas de plantas de cobertura.



Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, análise realizada comparando sistemas do mesmo grupo: Grupo leguminosa; gramíneas; outras espécies e sistemas e consórcio. * Capim-pé-de-galinha gigante. ACEN (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante); ABAPN (aveia branca+ aveia preta + nabo Forrageiro); TMI (Trigo mourisco + Milheto); MINTM (Milheto + Nabo forrageiro + trigo mourisco); MIN (Milheto +nabo forrageiro); CJMI (Crotalaria juncea e milho); CJN (Crotalaria juncea +Nabo forrageiro); CPGMI (Capim-pé-de-galinha gigante +milheto); NE (Nabo forrageiro + ervilhaca peluda); ABEN (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro); ABENMI (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro + milho); AUMI (Aveia ucraniana+ milho); AUMIN (Aveia ucraniana + milho +nabo forrageiro); APMI (Aveia Preta + Milheto); APMIN1 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 40, 30 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente); APMIN2 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 30, 15 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente) e APMINE (Aveia Preta + Milheto + Nabo Forrageiro e Ervilhaca peluda).Fonte: (Próprio Autor).

Outro fator importante que beneficiou o sistema de cultivo mencionado acima é o sinergismo principalmente entre leguminosas e crucíferas com observado em outros estudos (TRIBOUILLOIS; COHAN; JUSTES, 2016; WENDLING et al., 2017). Uma vez que as leguminosas são capazes de fixar nitrogênio do ar em sua biomassa pelo fenômeno de associação simbiótica com bactérias diazotróficas (BESSLER et al., 2012). Já as crucíferas são capazes de absorver grande quantidade de N. Assim ambas as espécies botânicas vão possuir baixa relação C/N em sua biomassa o que irá facilitar a disponibilidade de nutrientes para as gramíneas, após a senescência parcial ou total de sua estrutura vegetativa.

De maneira geral o cultivo de *Crotalaria juncea*, milho, capim-pé-de-galinha gigante, sorgo forrageiro e aveia branca em cultivo solteiro e os consórcios milho com nabo; *crotalaria juncea* com nabo; aveia branca, centeio, nabo com ervilhaca comum e *crotalaria juncea* com milho apresentam-se opções com grande potencial de produção de biomassa seca no vazio outonal, considerando o trabalho de (ZANATTA et al., 2007) que indicou a necessidade de um aporte anual mínimo de 13 Mg ha⁻¹ de biomassa seca.

4.2. TEOR DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES ESPÉCIES E CONSÓRCIOS

As plantas de cobertura possuem grande variabilidade na produção de biomassa e composição nutricional, até mesmo em espécies de mesma família. No grupo das espécies leguminosas o teor de P variou de 1,91 g kg⁻¹ para o Tremoço branco até 3,79 g kg⁻¹ para a mucuna cinza (Tabela 3). Resultados que diferem do encontrado por (AMBROSANO et al., 2016), em que a mucuna cinza apresentou teor de apenas 1,83 g kg⁻¹. Além disso, o comportamento do tremoço branco foi semelhante ao verificado por (BORKERT et al., 2003) de 1,70 g kg⁻¹, porém diferente do encontrado por (SANTI et al., 2016) que observaram 2,70 g kg⁻¹.

Dentre as gramíneas a espécie que mais se destacou foi o Capim-pé-de-galinha-gigante com 2,93 g kg⁻¹, situação que difere do exposto por (BOER et al., 2007) que verificaram teor de P de 2,08 g kg⁻¹. Já para as outras espécies, o trigo mourisco apresentou valores mais altos, em torno de 2,98 g kg⁻¹. Essa potencialidade do trigo mourisco em absorver P já era relatado por (CRUZ, 1958) sendo que tal espécie é capaz de absorver P provenientes de fosfatos minerais insolúveis, pelo mecanismo de formação de humo-fosfato assimiláveis. Para o cultivo em consórcio o maior teor foi observado no consórcio nabo e ervilhaca com 3,38 g kg⁻¹ (Tabela 3).

Referente aos teores de K observa-se uma amplitude maior em relação ao P, variando

de 15,14 g kg⁻¹ para o feijão guandú até 40,05 g kg⁻¹ para a ervilhaca. Resultados que se assemelham aos encontrados por (SOUSA et al., 2019; WOLSCHICK et al., 2016) em que ao estudar a ciclagem de K da plantas de cobertura verificaram 39 g kg⁻¹ no cultivo de ervilhaca comum e 9 g kg⁻¹ para feijão guandú respectivamente (Tabela 3).

Entre as gramíneas o capim-pé-de-galinha-gigante apresentou maior média 33,17 g kg⁻¹. Diferentemente do encontrado por (BOER et al., 2007) que verificaram teor de K de 19,94 g kg⁻¹. Para outras espécies o nabo obteve um teor de 25,16 g kg⁻¹ maior que o trigo mourisco com 18,51 g kg⁻¹. Concomitante os teores de K verificado por (WOLSCHICK et al., 2016) demonstram teores de K de 26,30 g kg⁻¹ no cultivo de nabo e por (PEREIRA et al., 2017) na cultura do trigo mourisco com 19,50 g kg⁻¹, sendo muito próximo aos deste estudo. Por fim os sistemas em consórcio variaram de 18,70 g kg⁻¹ para o sistema de trigo mourisco com milho até 30,62 g kg⁻¹ com o consórcio de aveia branca, centeio, ervilha forrageira e nabo (Tabela 3).

Os teores de Ca variaram de 2,22 g kg⁻¹ referente ao cultivo de aveia branca, até valor máximo de 23,58 g kg⁻¹ para feijão de porco. Verifica-se um aumento médio de 67,78 % entre os teores de Ca das leguminosas em relação às gramíneas. Os teores de Ca nos sistemas consorciados foram menores quando os consórcios são compostos somente por gramíneas, representado pelo consorcio de capim-pé-de-galinha-gigante e milho que possui teor de 2,45 g kg⁻¹. Já o maior valor é verificado em consórcio de ervilhaca comum e nabo forrageiro com valor de 10,93 g kg⁻¹ (Tabela 3).

A predominância das leguminosas em relação às gramíneas no teor de Ca, também foi percebido nos trabalhos de (BORKERT et al., 2003; OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002; PEREIRA et al., 2017; SOUSA et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2005). Esta questão pode ser justificada pela maior necessidade de Ca que as leguminosas possuem, visto que o Ca é primordial para a nodulação e fixação biológica de N (MARTINS; LIVINA, 2019), bem como à maior concentração de pectinas (substância constituída de Ca) depositada na parede celular (lamela média) em maior proporção nas leguminosas. (TAIZ et al., 2017).

Considerando os teores de Mg, o seu menor valor obtido foi de 1,42 g kg⁻¹ para o cultivo solteiro de aveia preta, e o maior valor foi de 4,41 g kg⁻¹ para o cultivo de trigo mourisco (Tabela 3). Resultado que difere do encontrado por (MENEZES; LEANDRO, 2004), que verificaram 0,39 g kg⁻¹ para aveia preta, e 0,42 g kg⁻¹ para o cultivo de trigo mourisco. Concomitantemente diferente com observado por (PEREIRA et al., 2017), aonde o trigo mourisco apresentou um teor de Mg de 2,95 g kg⁻¹.

Tabela 3 – Teores de nutrientes e valores de relação C/N, C/P e C/S dos resíduos vegetais dos sistemas de plantas de cobertura.

	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Nitrogênio	C/N	C/P	C/S
g kg ⁻¹ de matéria seca									
Leguminosas									
FG	2,97 b	15,14 d	7,78 d	2,17 d	1,74 d	24,60 d	15 a	161 d	275 a
TB	1,91 f	17,39 c	5,19 e	1,96 e	1,60 e	20,58 e	15 a	237 a	283 a
CJ	2,19 e	16,69 c	8,22 d	2,38 c	1,65 de	23,47 d	13 b	206 b	272 a
CS	2,31 d	24,28 b	13,43 b	2,61 c	2,13 c	28,56 c	12 c	186 c	201 b
EC	2,66 c	38,3 a	8,11 d	2,06 d	2,61 b	30,80 b	12 c	165 d	169 c
EP	2,90 b	40,05 a	8,84 d	2,46 c	2,55 b	35,24 a	10 d	148 e	169 c
MC	3,79 a	19,00 c	18,19 a	3,85 a	3,08 a	34,29 a	12 c	115 f	142 d
FP	3,42 b	21,28 b	23,58 c	3,26 b	3,44 a	28,98 c	13 c	116 f	115 d
Gramíneas									
MI	2,50 b	22,00 b	2,79 b	2,20 b	1,78 b	10,61 c	29 a	174 b	245 b
CPG	2,93 a	33,17 a	9,53 a	3,90 a	4,72 a	19,53 a	16 d	127 c	80 c
SB	2,52 b	26,67 b	2,82 b	2,69 b	1,43 c	10,72 c	26 b	160 bc	280 b
AB	1,95 c	22,53 b	2,22 c	1,47 c	1,65 b	13,02 b	24 c	226 a	267 b
AU	2,06 c	31,49 a	2,41 c	1,51 c	1,40 c	13,18 b	26 b	215 a	317 a
AP	2,12 c	18,68 c	2,77 b	1,42 c	1,46 c	10,44 c	26 b	211 a	307 a
Outras espécies									
N	2,72 a	25,16 a	11,96 a	3,35 b	5,08 a	18,18 a	18 a	158 a	85 b
TM	2,98 a	18,51 b	5,86 b	4,41 a	1,36 b	16,02 a	20 a	138 a	301 a
Sistemas em Consórcio									
ACEN	2,57 c	30,62 a	6,59 e	2,05 c	2,57 e	17,66 d	-	-	-
ABAPN	3,01 b	28,79 a	10,43 ab	3,11 b	6,01 a	21,53 b	-	-	-
TMI	2,43 c	18,70 d	2,88 g	3,07 b	1,65 g	11,42 h	31 a	172 d	253 a
MINTM	2,92 b	20,19 d	6,61 e	2,81 bc	2,96 d	11,52 h	28 b	144 f	143 c
MIN	3,06 ab	24,8 bc	6,25 e	2,99 b	3,62 c	15,21 e	25 d	142 f	120 d
CJMI	1,98 f	20,28 d	3,51 f	2,43 c	1,66 g	13,82 f	20 g	224 a	267 a
CJN	2,87 bc	18,85 d	9,21 bc	2,90 b	3,77 c	20,82 c	15 h	155 e	118 d
CPGMI	2,26 d	25,0 bc	2,45 g	2,25 c	2,07 f	9,51 j	21 f	196 c	214 b
NE	3,38 a	27,6 ab	10,93 a	3,41 a	5,51 b	23,58 a	14 h	127 g	78 e
ABEN	2,25 d	26,36 b	9,45 b	3,02 b	3,84 c	17,01 d	20 g	193 c	114 d
ABENMI	3,00 b	29,42 a	8,55 c	3,11 b	3,88 c	15,01 ef	22 ef	145 f	112 d
AUMI	2,12 e	24,28 c	2,46 g	2,21 c	1,66 g	10,65 i	27 c	207 b	265 a
AUMIN	2,71 bc	28,16 a	10,13 ab	3,50 a	4,01 c	15,77 e	25 d	162 d	110 d
APMI	2,26 d	23,83 c	3,65 f	2,61 bc	2,10 f	11,15 hi	18 g	192 c	208 b
APMIN1	2,91 b	23,39 c	7,69 d	3,16 b	3,83 c	14,39 f	27 c	149 f	114 d
APMIN2	3,05 a	23,84 c	6,80 e	3,11 b	3,04 d	12,71 g	25 d	145 f	145 c
APMINE	2,80 bc	23,45 c	8,95 bc	3,12 b	3,70 c	16,57 de	22 e	157 e	118 d

Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, Fonte: (Autor).

Para o nutriente S o menor teor encontrado no cultivo de trigo mourisco com 1,36 g kg⁻¹

¹ semelhante ao observado por (PEREIRA et al., 2017), aonde o trigo mourisco apresentou um dos menores teores de S com 0,95 g kg⁻¹. Já o maior teor foi encontrado com o sistema em consórcio de aveia branca, aveia preta e nabo forrageiro com 6,01 g kg⁻¹. (Tabela 3).

Em relação ao teor de N os valores variaram de 9,51 g.kg⁻¹ no sistema consorciado com capim-pé-de-galinha-gigante e milho e alcançando teores de 35,34 g kg⁻¹ para o cultivo solteiro de ervilhaca comum (Tabela 3).

Dentre as gramíneas o capim-pé-de-galinha-gigante apresentou o maior teor N com 19,53 g kg⁻¹ e o menor valor foi identificado no cultivo de aveia preta com 10,44 g kg⁻¹. Valores esses próximos aos encontrados por (BOER et al., 2007) ao estudar o capim-pé-de-galinha-gigante e por (MENEZES; LEANDRO, 2004) ao analisar a cultura de aveia preta com teores de 15,22 g kg⁻¹ e 13,7 g kg⁻¹, respectivamente. Entre o cultivo de nabo forrageiro e trigo mourisco verifica-se comportamento semelhante com teores de 18,18 e 16,02 g kg⁻¹, respectivamente. Valores estes, acima dos observados por (PEREIRA et al., 2017) para trigo mourisco que apresentou teor de 10,15 g kg⁻¹ e pelo teor de 13,7 g kg⁻¹ evidenciado por (CALEGARI, 1995) para a cultura do nabo.

Nos sistemas em consórcio o maior teor de N foi verificado no consórcio nabo forrageiro e ervilhaca comum com 23,58 g kg⁻¹. Em média as leguminosas possuem um teor de N 218% maior que as gramíneas e 186% maior que os sistemas em consórcio. Comportamento semelhante a estes resultados também foram evidenciados por (CALEGARI, 1995; MENEZES; LEANDRO, 2004; PEREIRA et al., 2017; SOUSA et al., 2019) Tal fato pode ser justificado pela afinidade das leguminosas com organismos simbióticos responsáveis pela fixação de N (Tabela 3).

4.3. RELAÇÕES ENTRE NUTRIENTES (CN, CP, CS) NAS DIFERENTES ESPÉCIES E CONSÓRCIOS

A relação C/N variou de 10 até 31 para o cultivo solteiro de ervilhaca comum e o consórcio de trigo mourisco e milho, respectivamente. Valores mais altos foram obtidos por (REDIN et al., 2018) que encontraram relações C/N de 11 para a cultura da ervilha até 98 para o azevém (*Lolium multiflorum*). No grupo das leguminosas a maior relação C/N foi de 15, verificado nos cultivos de feijão guandú e tremoço branco, sendo significativamente superior aos demais cultivos de crotalaria juncea, crotalaria spectabilis, ervilhaca peluda, ervilhaca comum, mucuna cinza e feijão de porco que obtiveram valores de 13, 12, 12, 10, 12, 13, respectivamente, sendo que a ervilhaca comum possui significativamente a menor relação C/N.

(Tabela 3).

Dentre as gramíneas o maior valor de relação C/N foi verificado no cultivo de milho com valor de 29, sendo significativamente superior as demais gramíneas. E menor valor foi 16 verificado no capim-pé-de-galinha gigante, sendo significativamente inferior aos demais cultivos. Esses resultados podem ser justificados pela condição edafoclimática do experimento, a qual proporcionou que o milho acelera-se o seu ciclo reprodutivo com entre nós menores e proporção maior de folhas em relação a caule. Para os cultivos em consórcio os valores de relação C/N variaram de 14 a 31 para os consórcios de nabo com ervilhaca e milho com trigo mourisco, respectivamente. (Tabela 3).

As diferenças observadas no teor de N explicam a variação na relação C/N das plantas de cobertura estudadas, assim como apontam (REDIN et al., 2018), em que observaram menor relação C/N em plantas de cobertura com maior teor de N. Por outro lado, o estágio fenológico de cada planta de cobertura também afeta a relação C/N, como verificado por (DE CARVALHO et al., 2012) que identificaram aumento da relação C/N, quando as plantas de cobertura passaram do estágio de pleno florescimento para a maturação fisiológica.

Na relação C/P, o cultivo de leguminosas apresenta resultados entre 115 para o cultivo de mucuna cinza e 237 para o cultivo de tremoço branco. Dentre as gramíneas o cultivo de aveia branca, aveia ucraniana, aveia preta apresentaram os maiores valores de 226, 215 e 211 respectivamente. Já o menor valor foi de 127, verificado no cultivo de capim-pé-de-galinha gigante. Para os sistemas em consórcio o cultivo de crotalaria juncea e milho obteve o maior valor de 224, enquanto o menor de 127 valor foi verificado no cultivo de nabo e ervilhaca. (Tabela 3).

Para (CASALI, 2012) ao estudar a relação C/P de resíduos de plantas de cobertura verificou uma amplitude de 89 à 341, valor este muito acima em relação ao apresentado neste trabalho. No mesmo trabalho (CASALI, 2012) observou que plantas de cobertura gramíneas tendem a possuir relação C/P maior em relação às leguminosas. Fato este que não foi identificado no presente estudo, provavelmente pela alta disponibilidade de P no solo (Tabela 1) que proporcionou maior teor de P no tecido das plantas e relações C/P mais baixas e homogêneas.

Segundo (HAVLIN et al., 2016; MALUF et al., 2015) e a mineralização do P é alterada pela relação C/P, sendo que valores maiores ou iguais a 300 tende à imobilização e menores que 200 favorecem a mineralização. Desta forma a maioria das plantas de cobertura possuem uma relação C/P que proporciona a mineralização de P, com exceção de tremoço branco, crotalaria juncea, aveia branca, aveia ucraniana, aveia preta e os consórcios de crotalaria juncea

com milho e de aveia ucraniana com milho que estão com valores superiores a 200.

Os valores de relação C/S encontrado para gramíneas variaram de 80 até 317 para o cultivo de capim-pé-de-galinha-gigante e aveia ucraniana respectivamente. Para as espécies leguminosas os valores foram de 115 até 283 para feijão de porco e tremoço branco, respectivamente. Dentre os cultivos em consórcio o valor mínimo encontrado foi de 78 para o consórcio nabo e ervilhaca, e o valor máximo obtido foi de 267 para o consórcio de crotalaria juncea e milho. (Tabela 3). Este padrão diversificado nos valores das relações C/S também foram enfatizados por (HANSEN et al., 2021). Tais resultados divergem dos obtidos por (HANSEN et al., 2023), onde analisaram a relação C/S de plantas de cobertura antecedentes ao cultivo da cevada em solos de diferentes fertilidades. No trabalho perceberam que a relação C/S variou de 65 até 187 para os cultivos de nabo forrageiro e tremoço branco, respectivamente. As diferenças nos valores da relação C/S das plantas de cobertura são justificadas pelos distintos teores de enxofre na biomassa, verificado neste trabalho.

Segundo vários trabalhos presentes na literatura (ERIKSEN, 2005; ERIKSEN; THORUP-KRISTENSEN, 2002; SILVA et al., 2023) relações C/S maiores que 400 facilitam a imobilização de enxofre, enquanto menores que 200 resultam em mineralização. Desta forma verifica-se que a maioria dos resíduos vegetais estudados estão acima de 200, o que diminui a velocidade de mineralização de S para a cultura sucessora.

4.4. CICLAGEM DE NUTRIENTES E ACUMULO DE NUTRIENTES

No âmbito do acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura, observa-se grande variação entre os valores do presente estudo. Fato que enfatiza a particularidade de cada planta/sistema de cobertura e a importância de análises criteriosas e individuais. De modo geral, as maiores quantidades acumuladas de nutrientes ocorreram nos tratamentos com maior produtividade de matéria seca, como também observado por (TANAKA et al., 2019).

No acúmulo de P verifica-se que o cultivo de crotalaria juncea foi a que melhor se destacou dentre as leguminosas acumulando 20 kg ha⁻¹. Resultado inferior do encontrado por (PADOVAN et al., 2014; PEREIRA et al., 2017; SOUSA et al., 2019) que verificaram um acúmulo de 30; 75,17; 49,7 kg ha⁻¹ em climas tropicais. O cultivo de tremoço branco, crotalaria spectabilis, ervilhaca peluda e ervilhaca comum demonstraram valores intermediários em relação ao trabalho em questão com acúmulos de 10,75; 11,26; 8,61 e 10,44 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 5). Porém abaixo dos acúmulos de referência citado por (CHERUBIN,

2022)

Dentre as gramíneas os maiores valores de ciclagem de P, foram encontrados nos cultivos de milho, capim-pé-de-galinha-gigante e sorgo branco, com valores de 18, 21, 22, kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 5). Valores abaixo do indicado por (CHERUBIN, 2022). Tal diferença pode ser oriunda do estágio fenológico que as amostras foram coletadas, pelas condições edafoclimática do trabalho, bem como a produção de biomassa seca de cada tratamento.

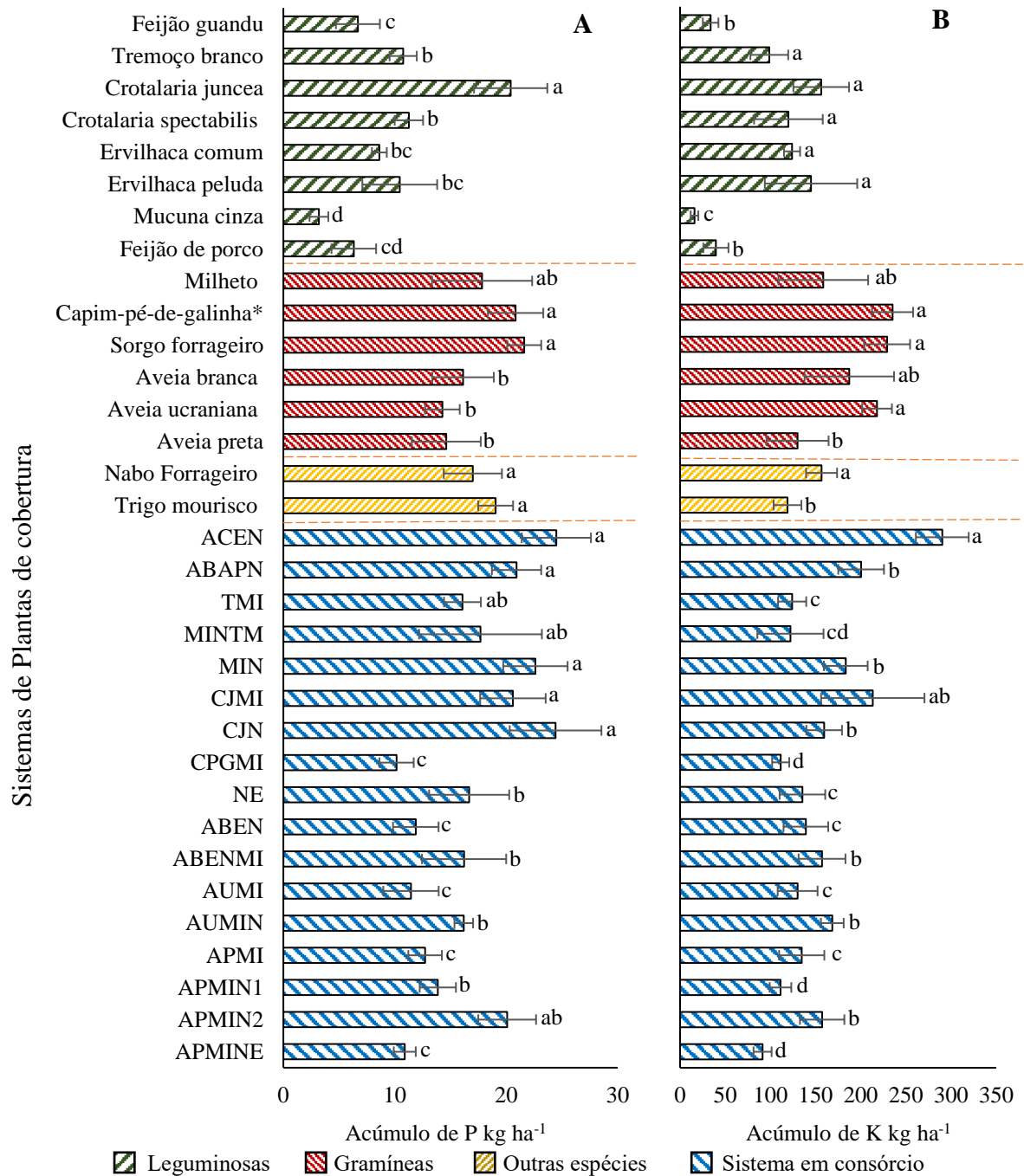
Dentre os sistemas em consórcios os maiores valores de ciclagem de P foram obtidos pelo cultivo de aveia branca, centeio, ervilha forrageira com nabo; aveia branca, aveia preta e nabo, trigo mourisco com milho, milho com nabo e trigo mourisco, milho com nabo, crotalaria juncea com milho, crotalaria juncea com nabo e o consórcio aveia preta com milho e nabo, com os seguintes acúmulos: 24,50; 20,93; 16,07; 17,70; 22,62; 20,60; 24,42 e 20,00 e kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Para o acúmulo de K é observada maior homogeneidade entre as plantas de cobertura de mesma família botânica. Dentre o cultivo de leguminosas os maiores acúmulos foram 99; 156;120; 124 e145 kg ha⁻¹, identificados no tremoço branco, crotalaria juncea , crotalaria spectabilis, ervilhaca peluda e ervilhaca comum, respectivamente (Figura 5).SANTI et al., (2016) ao estudar os efeitos de diferentes densidades e espaçamento de semeadura do tremoço, verificaram acúmulos de até 147 kg ha⁻¹ de K.

Já (SOUSA et al., 2019) verificaram em seu trabalho acúmulos de até 151 e 108 kg ha⁻¹ de K no cultivo de crotalaria juncea e crotalaria spectabilis, respectivamente, valores próximos do apresentado. Porém,(PEREIRA et al., 2017) evidenciaram acúmulos de até 363,33 kg ha⁻¹ ao estudar o cultivo de crotalaria juncea muito acima do observado neste estudo. (WOLSCHICK et al., 2016) verificaram acúmulos de 358,4 para o cultivo de ervilhaca, valor muito acima do encontrado no presente estudo.

Para as gramíneas o menor valor foi verificado no cultivo de aveia preta com 130 kg ha⁻¹, valor abaixo do encontrado por (WOLSCHICK et al., 2016) que ao estudar acúmulos de nutrientes em diferentes plantas de cobertura evidenciaram acúmulos de até 280 kg ha⁻¹ de potássio no cultivo de aveia preta. As demais gramíneas apresentaram-se semelhantes significativamente com acúmulos de 158; 235; 229, 187 e 218 kg ha⁻¹ de K nos cultivos de milho, capim-pé-de-galinha-gigante, sorgo branco, aveia branca e aveia ucraniana, respectivamente (Figura 5).

Figura 5 – Ciclagem de Fósforo (A) e Potássio (B) dos sistemas de plantas de cobertura.



Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, análise realizada comparando sistemas do mesmo grupo: Grupo leguminosa; gramíneas; outras espécies e sistemas e consórcio. * Capim-pé-de-galinha gigante. ACEN (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante); ABAPN (aveia branca + aveia preta + nabo Forrageiro); TMI (Trigo mourisco + Milheto); MINTM (Milheto + Nabo forrageiro + trigo mourisco); MIN (Milheto + nabo forrageiro); CJMI (Crotalaria juncea e milheto); CJN (Crotalaria juncea + Nabo forrageiro); CPGMI (Capim-pé-de-galinha gigante + milheto); NE (Nabo forrageiro + ervilhaca peluda); ABEN (Aveia Branca + Ervilhaca peluda + Nabo Forrageiro); ABENMI (Aveia Branca + Ervilhaca peluda + Nabo Forrageiro + milheto); AUMI (Aveia ucraniana + milheto); AUMIN (Aveia ucraniana + milheto + nabo forrageiro); APMI (Aveia Preta + Milheto); APMIN1 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 40, 30 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente); APMIN2 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 30, 15 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente) e APMINE (Aveia Preta + Milheto + Nabo Forrageiro e Ervilhaca peluda). Fonte: (Próprio Autor).

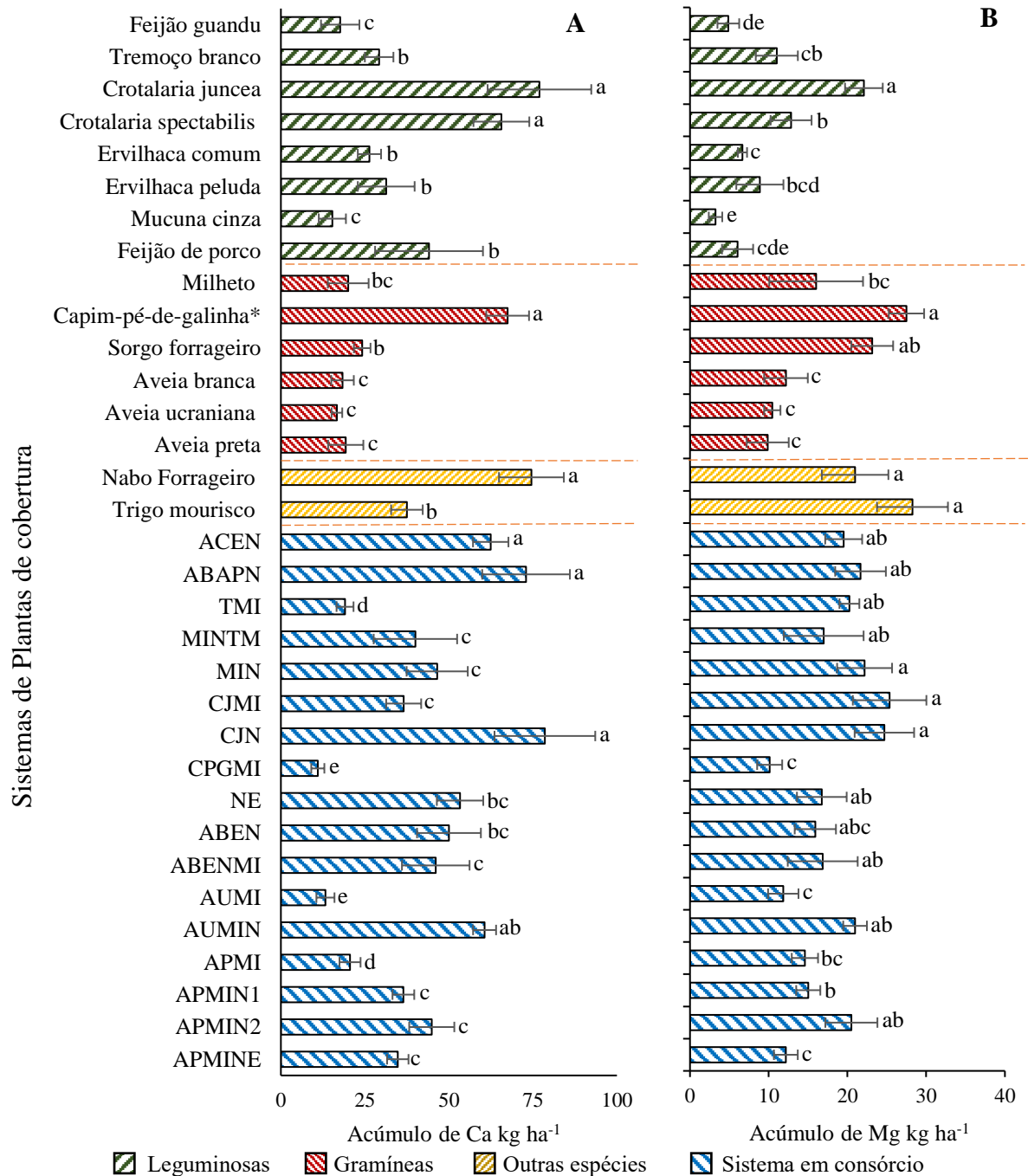
Comparando o cultivo de nabo e trigo mourisco verifica-se que o cultivo de nabo é superior, onde extraiu 38 kg ha^{-1} de K a mais do que o trigo mourisco. (WOLSCHICK et al., 2016) encontraram ao estudar o cultivo de nabo forrageiro, acúmulos de até $112,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K valor este menor do encontrado no presente estudo, em que tens acúmulo de 156 kg ha^{-1} de K. Por outro lado, Heinz et al., 2011 ao avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de nabo forrageiro, identificaram uma extração de 235 kg ha^{-1} de K, valor acima do encontrado neste trabalho. Já (PEREIRA et al., 2017) estudando o acúmulo de K na biomassa seca de trigo mourisco encontraram $132,50 \text{ kg ha}^{-1}$ K, valor este acima do encontrado neste estudo de 118 kg ha^{-1} de K. Nos sistemas em consórcio os tratamentos superiores foram os consórcios de aveia branca, centeio, ervilha forrageira com nabo e crotalaria juncea com milho, com valores de 290 e 213 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 5).

Sobre os acúmulos de Ca verifica-se superioridade da crotalaria juncea e crotalaria spectabilis em relação às demais leguminosas com valores de 77 e 66 kg ha^{-1} , respectivamente. Entre tanto (PEREIRA et al., 2017) apresentam valores de 340 kg ha^{-1} de Ca no cultivo de crotalaria juncea, valor este muito acima do verificado neste estudo. Para as gramíneas o capim-pé-de-galinha-gigante apresentou acúmulo de Ca superior em relação às demais gramíneas, onde extraiu 67 kg ha^{-1} de Ca, o que representa 43 kg ha^{-1} a mais em relação ao sorgo branco que obteve a segunda maior extração de $24,20 \text{ kg ha}^{-1}$. (BOER et al., 2007) ao estudar a dinâmica de ciclagem de nutrientes do capim-pé-de-galinha-gigante verificaram acúmulo de $78,32 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca, valor acima do verificado neste estudo.

De maneira semelhante, verifica-se nos cultivos de nabo e trigo mourisco, a superioridade do nabo no acúmulo de Ca, em que foi capaz de acumular o dobro de cálcio em relação ao trigo mourisco, com acúmulos de 74 e 37 kg ha^{-1} de Ca, respectivamente (Figura 6). Comportamento diferente foi encontrado por (HANSEN et al., 2021) que verificaram acúmulo de 22,38 e $53,60 \text{ kg ha}^{-1}$ de cálcio para os cultivos de nabo e trigo mourisco respectivamente. Esta diferença entre os resultados pode ser justificada pelos teores de Ca encontrado no presente trabalho, bem como a produção de biomassa seca (Tabela 2).

Nos sistemas em consórcio destacam-se os seguintes cultivos no acúmulo de Ca: aveia branca, centeio, ervilha forrageira com nabo; aveia branca, aveia preta com nabo, crotalaria juncea com nabo e aveia ucraniana, milho e nabo, onde apresentaram valores de 62, 73, 79 e 61 kg ha^{-1} respectivamente (Figura 6). O maior acúmulo de Ca foi encontrado no consórcio de Crotalaria juncea com nabo, pode ser justificado pela presença das espécies que apresentam superioridade no acúmulo de Ca em cultivo solteiro no presente estudo.

Figura 6 – Ciclagem de Cálcio (A) e Magnésio (B) dos sistemas de plantas de cobertura.



Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, análise realizada comparando sistemas do mesmo grupo: Grupo leguminosa; gramíneas; outras espécies e sistemas e consórcio. *Capim-pé-de-galinha gigante. ACEN (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante); ABAPN (aveia branca+ aveia preta + nabo Forrageiro); TMI (Trigo mourisco + Milheto); MINTM (Milheto + Nabo forrageiro + trigo mourisco); MIN (Milheto +nabo forrageiro); CJMI (Crotalaria juncea e milho); CJN (Crotalaria juncea +Nabo forrageiro); CPGMI (Capim-pé-de-galinha gigante +milheto); NE (Nabo forrageiro + ervilhaca peluda); ABEN (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro); ABENMI (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro + milho); AUMI (Aveia ucraniana+ milho); AUMIN (Aveia ucraniana + milho +nabo forrageiro); APMI (Aveia Preta + Milheto); APMIN1 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 40, 30 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente); APMIN2 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 30, 15 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente) e APMINE (Aveia Preta + Milheto + Nabo Forrageiro e Ervilhaca peluda). Fonte: (Próprio Autor).

A respeito da ciclagem de Mg, verifica-se a superioridade do cultivo de crotalaria juncea dentro das leguminosas, obtendo valores de 22 kg ha⁻¹, porém quantidade abaixo do 92,83 kg ha⁻¹ de Mg encontrado por (PEREIRA et al., 2017). Já o segundo maior valor, foi obtido pela crotalaria spectabilis que acumulou apenas 13 kg ha⁻¹. Resultado próximo do encontrado por (FERREIRA et al., 2023) que verificaram acúmulo de 15 kg ha⁻¹ de Mg pela crotalaria spectabilis.

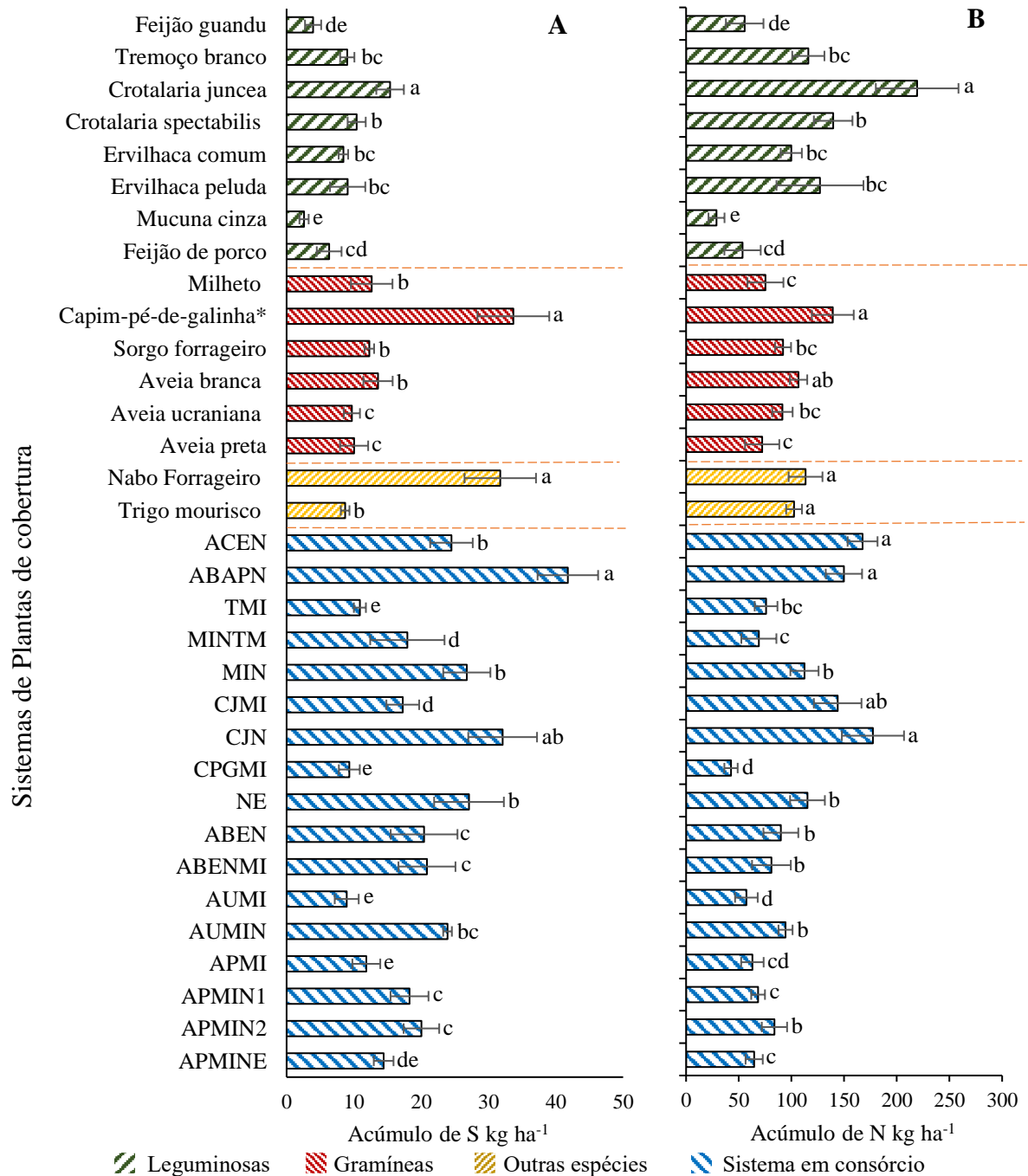
Dentre as gramíneas os cultivos de capim-pé-de-galinha-gigante e sorgo branco apresentaram as maiores médias com 28 e 23 kg ha⁻¹ de Mg respectivamente (Figura 6). Resultado acima do encontrado por (MAW; HOUX; FRITSCHI, 2020) que verificaram para o cultivo de sorgo branco acúmulo de 20 kg ha⁻¹. Já (BOER et al., 2007) ao escutar o cultivo de capim-pé-de-galinha-gigante encontrou acúmulos de 50,94 kg ha⁻¹ de Mg, valor superior do presente trabalho.

O acúmulo de Mg dos cultivos de nabo e trigo mourisco não diferiam significativamente, com valores de 21 e 28 kg ha⁻¹ respectivamente. (Figura 6). Em relação aos sistemas consorciados observa-se maior semelhança entre os sistemas, sendo que os menores valores foram 10, 12, 15 e 12 kg ha⁻¹ verificados nos cultivos de capim-pé-de-galinha-gigante com milho, aveia ucraniana com milho, aveia preta com milho e aveia preta com milho e nabo, respectivamente (Figura 6).

Os acúmulos de S entre as leguminosas variaram de 3 a 15 kg ha⁻¹ para mucuna cinza e crotalaria juncea respectivamente (Figura 7). Valores estes diferentes em relação dos encontrados por (AKER; PASSOS, 2018), que ao estudar a performance do cultivo de mucuna cinza e crotalaria juncea encontraram acúmulos de 11,8 e 10,1 kg ha⁻¹ de S respectivamente. Fato que difere do encontrado por (PEREIRA et al., 2017) que obtiveram acúmulo de 39,83 kg ha⁻¹ ao estudar o dinâmica de nutrientes do cultivo de crotalaria

Dentre as gramíneas o capim-pé-de-galinha gigante apresentou grande potencial de ciclagem de S, entregando 34 kg ha⁻¹, sendo superior do acúmulo de 18,32 kg ha⁻¹ observado por (BOER et al., 2007) . Já as demais gramíneas acumularam em média 12 kg ha⁻¹ de S. Para as demais espécies cultivadas isoladamente verifica-se grande superioridade do nabo na ciclagem de S com valor de 32 kg ha⁻¹, enquanto o trigo mourisco apenas 9 kg ha⁻¹ (Figura 7), resultado que colabora com as observações de (HANSEN et al., 2021).

Figura 7 – Ciclagem de enxofre (A) e nitrogênio (B) dos sistemas de plantas de cobertura.



Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, análise realizada comparando sistemas do mesmo grupo: Grupo leguminosa; gramíneas; outras espécies e sistemas e consórcio: * Capim-pé-de-galinha gigante. ACEN (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante); ABAPN (aveia branca+ aveia preta + nabo Forrageiro); TMI (Trigo mourisco + Milheto); MINTM (Milheto + Nabo forrageiro + trigo mourisco); MIN (Milheto +nabo forrageiro); CJMI (Crotalaria juncea e milho); CJN (Crotalaria juncea +Nabo forrageiro); CPGMI (Capim-pé-de-galinha gigante +milheto); NE (Nabo forrageiro + ervilhaca peluda); ABEN (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro); ABENMI (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro + milho); AUMI (Aveia ucraniana+ milho); AUMIN (Aveia ucraniana + milho +nabo forrageiro); APMI (Aveia Preta + Milheto); APMIN1 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 40, 30 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente); APMIN2 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 30, 15 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente) e APMINE (Aveia Preta + Milheto + Nabo Forrageiro e Ervilhaca peluda). Fonte: (Próprio Autor).

Dentre os sistemas em consórcio, os menores valores de ciclagem de S foram obtidos pelos consórcios de trigo mourisco com milho; capim-pé-de-galinha-gigante com milho; aveia ucraniana com milho; aveia preta com milho e aveia preta, milho e nabo, os quais reciclaram 8 kg ha^{-1} . Já os maiores valores encontrados de 42 e 32 kg ha^{-1} de S foram verificados nos consórcios aveia branca, aveia preta com nabo e crotalaria juncea com nabo respectivamente (Figura 7). Estes resultados indicam que o uso de milho em consórcios pode limitar a reciclagem de S, bem como o consórcio de nabo e crotalaria juncea potencializa a reciclagem de S, pois quando cultivadas isoladamente apresentaram os maiores acúmulos de S.

Acerca do acúmulo de N das leguminosas, o cultivo de mucuna cinza apresentou a menor média de 29 kg ha^{-1} , já o cultivo de crotalaria juncea deteve o maior acúmulo de N, com 219 kg ha^{-1} (Figura 7). O acúmulo de N por parte da mucuna cinza foi inferior do observado por (AMBROSANO et al., 2016) que verificaram $159,67 \text{ kg ha}^{-1}$. Da mesma forma o acúmulo de N encontrado na Crotalaria juncea é considerado baixo em relação aos valores encontrado por (PEREIRA et al., 2017) que obtiveram acúmulo de 817 kg ha^{-1} . As diferenças entre os acúmulos de N da leguminosas citadas acima é consequência da produção de biomassa seca das mesmas, visto que o teor de N da mucuna cinza foi até maior em relação à crotalaria juncea.

Contudo para gramíneas percebe-se menor amplitude dos valores de ciclagem de N em relação às leguminosas. Os maiores valores encontrados foram de 139 e 106 kg ha^{-1} para os cultivos de capim-pé-de-galinha-gigante e aveia branca respectivamente (Figura 7). O resultado do capim-pé-de-galinha-gigante é superior do acúmulo de 133 kg ha^{-1} de N obtido por (BOER et al., 2007). Porém o valor obtido pela aveia branca foi inferior do indicado por (CHERUBIN, 2022). Além disso, o menor acúmulo de N foi observado no cultivo de aveia preta com 72 kg ha^{-1} , apresentando-se inferior do $91,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N verificado por (WOLSCHICK et al., 2016).

O acúmulo de N dos cultivos de nabo e trigo mourisco não diferiam significativamente, com valores de 113 e 102 kg ha^{-1} respectivamente (Figura 7). Resultado que colabora com grande semelhança de acúmulo de N entre as espécies evidenciada por (HANSEN et al., 2021). Nos sistemas em consórcio as associações e crotalaria juncea com nabo; aveia branca, centeio, ervilha forrageira com nabo; aveia branca, aveia preta com nabo e crotalaria juncea com milho apresentaram os maiores acúmulos de N com 177 , 167 , 150 e 144 kg ha^{-1} , respectivamente.

Já o menor acúmulo foi encontrado no consórcio de capim-pé-de-galinha-gigante com milho, onde acumulou apenas 42 kg ha^{-1} (Figura 7). O que é justificado pela presença de apenas gramíneas, bem como da competição que possivelmente ocorreu por serem plantas de mesma família botânica.

As diferenças evidenciadas entre os acúmulos de nutrientes apresentados no trabalho,

pode ser justificada pelas menores produções de biomassa seca, observadas em função da condição edafoclimática do experimento ser atípica para a maioria das plantas de cobertura estudadas. Dentre as condições denota-se a crotalaria juncea como uma planta de cobertura com grande potencial na produção de biomassa seca e ciclagem de nutrientes. E dentre as gramíneas destaca-se o capim-pé-de-galinha-gigante gigante por apresentar altos acúmulos de nutrientes.

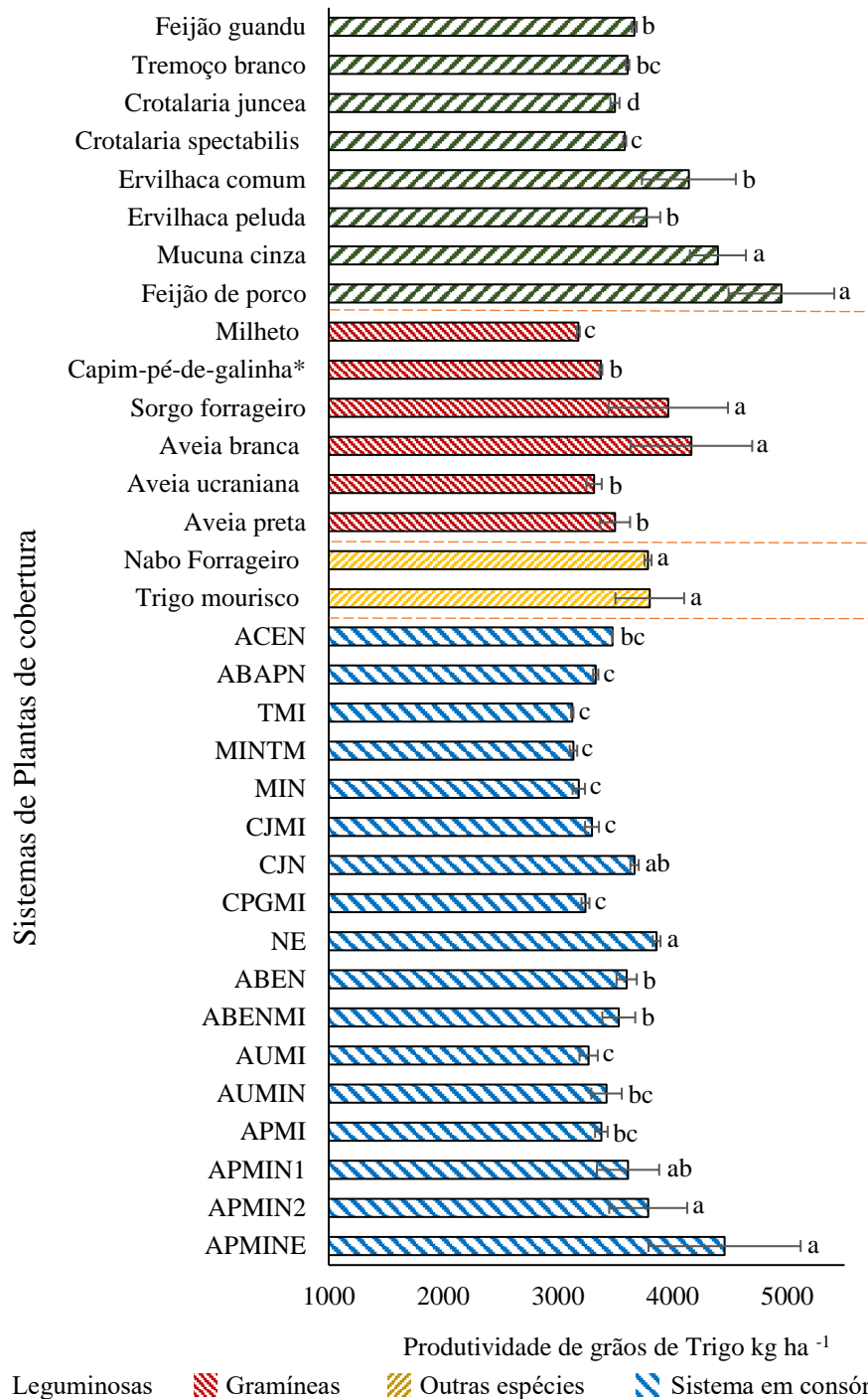
4.5. PRODUTIVIDADE DE TRIGO

A produtividade de grãos da cultura do trigo apresentou comportamento diferente em relação as demais variáveis discutidas acima. Entre as gramíneas as maiores produtividades são verificadas sob o cultivo de sorgo branco forrageiro e aveia branca com rendimentos de 3961 e 4163 kg ha⁻¹, respectivamente. (figura 8) Por outro lado. a menor produtividade foi observada sob os restos culturais de milho, que proporcionou 3178 kg ha⁻¹ de grãos. Nas leguminosas as produtividades de 4949 e 4394 kg ha⁻¹ foram as maiores encontradas em todo o trabalho, sob o cultivo de feijão de porco e mucuna cinza, respectivamente. Entretanto a menor produtividade de grãos foi encontrada sob resíduos culturais de crotalaria juncea com 3497 kg ha⁻¹ (Figura 8).

Entre as plantas de cobertura de outras famílias, verificou-se um efeito similar na produtividade de grãos de trigo, de maneira que sob resíduos culturais de nabo forrageiro foram colhidos 3785 kg ha⁻¹, e sob resíduos culturais de trigo mourisco 3800 kg ha⁻¹ de grãos de trigo. A produtividade de grãos sob resíduos culturais de consórcios de plantas de cobertura, apresentou menor variação em relação aos cultivos isolados de gramíneas e leguminosas. A menor produtividade de grãos de trigo foi 3239 kg ha⁻¹, sendo encontrada sob os resíduos do consórcio de capim-pé-de-galinha-gigante com milho. Já a maior produtividade foi verificada sob consórcio de aveia preta, milho com nabo, que proporcionou um rendimento de 4453 kg ha⁻¹ de grão de trigo (Figura 8).

Analisando os resultados de produtividade de grãos de trigo, em relação ao acúmulo de nutrientes e produção de biomassa, verifica-se que as plantas de cobertura que apresentaram as maiores produções de biomassa seca e acúmulos de nutrientes foram as que proporcionaram produtividades inferiores ao esperado. Tal fato pode ser justificado por efeitos alelopáticos, oriundo da biomassa das plantas de cobertura, bem com o impacto na qualidade de sementeira da cultura do trigo em função da quantidade de biomassa. As condições intrínsecas do experimento como as condições climáticas favoráveis para a cultura e alta fertilidade de solo, podem ter contribuído para esse resultado

Figura 8 – Produtividade da cultura do trigo cultivado sob resíduos vegetais de sistemas de plantas de cobertura.



Teste de comparação de médias pelo teste T Student para amostras independentes com 5% de probabilidade de erro, análise realizada comparando sistemas do mesmo grupo: Grupo leguminosa; gramíneas; outras espécies e sistemas e consórcio. * Capim-pé-de-galinha gigante. ACEN (aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante); ABAPN (aveia branca+ aveia preta + nabo Forrageiro); TMI (Trigo mourisco + Milheto); MINTM (Milheto + Nabo forrageiro + trigo mourisco); MIN (Milheto +nabo forrageiro); CJMI (Crotalaria juncea e milheto); CJN (Crotalaria juncea +Nabo forrageiro); CPGMI (Capim-pé-de-galinha gigante +milheto); NE (Nabo forrageiro + ervilhaca peluda); ABEN (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro); ABENMI (Aveia Branca +Ervilhaca peluda +Nabo Forrageiro + milheto); AUMI (Aveia ucraniana+ milheto); AUMIN (Aveia ucraniana + milheto +nabo forrageiro); APMI (Aveia Preta + Milheto); APMIN1 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 40, 30 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente); APMIN2 (Aveia Preta + Milheto + Nabo forrageiro com 30, 15 e 10 Kg ha⁻¹ respectivamente) e APMINE (Aveia Preta + Milheto + Nabo Forrageiro e Ervilhaca peluda).
Fonte: (Próprio Autor).

HOLMAN et al., (2018) verificaram diminuição da produtividade de trigo de 40 – 70% com o emprego de plantas de cobertura em anos de baixa precipitação em regiões semiáridas dos Estados Unidos. Da mesma forma (SINGH; NORTHUP; PRASAD, 2023) encontraram reduções na produtividade de trigo nos Estados Unidos em relação ao pousio em anos secos, porém não encontraram diferenças significativas na produtividade em anos normais ou chuvosos. Concomitantemente (FINCH et al., 2023) evidenciaram reduções na produtividade de forragem de trigo com o uso de plantas de cobertura em solos Norte-americanos. No Brasil (LINK, 2020), estudando o efeito de diferentes plantas de cobertura sob a produtividade de trigo no estado do Paraná, não obteve efeito positivo significativo na produtividade de grãos e para o trigo mourisco, milho e crotalaria juncea em alguns anos, percebeu redução de produtividade.

Efeitos alelopáticos de plantas de cobertura sob o desenvolvimento do trigo foram encontrados na meta-análise de (KOEHLER-COLE et al., 2020). Já (GEDDES et al., 2015) evidenciaram efeito alelopático da ervilhaca peluda sobre a emissão e alongamento da radícula do trigo, devido a presença do composto cianamida. No entanto (SKINNER et al., 2012) ao estudar o efeito alelopático de crotalaria juncea verificaram reduções com intensidade diferente na germinação e crescimento de plântulas de várias espécies, porém verificaram pouco efeito sob o trigo.

Outro ponto que pôde ter afetado a produtividade de grãos de trigo, é a estabelecimento de plantas. Neto e Campos (2017) retratam, um menor número de plantas de trigo estabelecidas sob resíduos de plantas de cobertura em relação ao pousio. Tal fato, pode estar relacionado à menor temperatura do solo sob resíduos vegetais (CHEN et al., 2007) e/ou ao contato das sementes com os resíduos vegetais (CASÃO JUNIOR; SIQUEIRA, 2006).

Por mais que no presente trabalho, o uso de plantas de cobertura não proporcionou aumentos significativos na produtividade de grãos de trigo, o seu uso não deve ser negligenciado, pois o uso de plantas de cobertura é primordial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, tais como: ciclagem de nutrientes, armazenamento de carbono e, conseqüente regulação climática, habitat para atividade biológica e regulação dos fluxos hídricos, bem como todas as vantagens abordadas neste estudo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições edafoclimáticas do presente trabalho as plantas de cobertura apresentaram valores de relação C/N que facilitam a mineralização de nutrientes dos resíduos vegetais para a cultura sucessora. A maioria das plantas de cobertura possuem uma relação C/P que proporciona a mineralização de P. Por outro lado, a relação C/S da maioria dos resíduos vegetais diminuem a velocidade de mineralização de enxofre.

Verifica-se o predomínio de gramíneas de clima tropical em relação às gramíneas de clima temperado em relação a produtividades de biomassa seca.

No âmbito do acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura, destaca-se a crotalaria juncea como uma planta de cobertura com grande potencial na produção de biomassa seca e ciclagem de nutrientes, principalmente N e o capim-pé-de-galinha-gigante por apresentar altos acúmulos de nutrientes.

A produtividade da cultura do trigo foi menor sob resíduos de crotalaria juncea e milho, sendo as maiores produtividades encontradas sob resíduos de cultivo de feijão de porco e mucuna cinza, demonstrando efeito negativo de altas produções de biomassa sob a produtividade do trigo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AKER, A.; PASSOS, A. Performance de plantas leguminosas para sistema plantio direto na região amazônica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 804–814, 3 dez. 2018.

AMBROSANO, E. J. et al. Caracterização de cultivares de *Mucuna* quanto a produtividade de fitomassa, extração de nutrientes e seus efeitos nos atributos do solo. **Cadernos de Agroecologia [Volumes 1 (2006) a 12 (2017)]**, v. 11, n. 2, 15 dez. 2016.

BAYON, R. C. LE et al. Soil Phosphorus Uptake by Continuously Cropped *Lupinus albus*: A New Microcosm Design. **Plant and Soil**, v. 283, n. 1, p. 309–321, 2006.

BESSLER, H. et al. Nitrogen uptake by grassland communities: contribution of N₂ fixation, facilitation, complementarity, and species dominance. **Plant and Soil**, v. 358, n. 1, p. 301–322, 2012.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, abr. 2017.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2449–2474, 1 nov. 2015.

BLESH, J. Functional traits in cover crop mixtures: Biological nitrogen fixation and multifunctionality. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 1, p. 38–48, 1 jan. 2018.

BOER, C. A. et al. Nutrient cycling in off-season cover crops on a Brazilian savanna soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269–1276, 2007.

BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 143–153, 1 jan. 2003.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná.**(IAPAR. **Circular, 80**). Londrina-PR.

CALLEGARO, R.M.; LONGHI, S.J. Grupos florísticos em uma Floresta Ombrófila Mista, Nova Prata, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.4, p.641-647, 2013.

CALONEGO, J. C. et al. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31–37, 2017.

CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. D. A. O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização. In: CUNHA, G. R. da (Ed.). Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 29-72.

CASALI, C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos por longa duração alteram**

as formas de fósforo do solo? Tese de Doutorado—Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria UFSM, 24 ago. 2012.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. Sistema plantio direto com qualidade. Londrina: Iapar, Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p.85-126.

CHEN, S. Y. et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. **Annals of Applied Biology**, v. 150, n. 3, p. 261–268, jun. 2007.

CHERUBIN, M. R. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo.** [2022] Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2022.

CHOMEL, M. et al. Plant secondary metabolites: a key driver of litter decomposition and soil nutrient cycling. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 6, p. 1527–1541, 1 nov. 2016.

COUËDEL, A.; ALLETTO, L.; JUSTES, É. Crucifer-legume cover crop mixtures provide effective sulphate catch crop and sulphur green manure services. **Plant and Soil**, v. 426, n. 1–2, p. 61–76, 1 maio 2018.

CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (UNFCCC). Contribuição determinada nacionalmente: registro NDC. 2022. Disponível em: <<https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>> Acesso em: 02 jul. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra de grãos. Brasília: Conab, v.7, n.4, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/serie-historicadas-safra/itemlist/category>>. Acesso em: 06 out. 2022.

CRUZ, A. L. DA. **Adubação Verde.** Rio de Janeiro: SAI, 1958.

DA LUZ, F. B. et al. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 281, p. 100–110, 1 set. 2019.

DAMIAN, J. M. et al. Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142, p. 607–621, nov. 2017.

DE BAETS, S. et al. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. **CATENA**, v. 85, n. 3, p. 237–244, 2011.

DE CARVALHO, A. M. et al. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v. 63, n. 12, p. 1075, 2012.

DENARDIN, J. E. et al. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. 2012.

DOLTRA, J.; OLESEN, J. E. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. **European Journal of Agronomy**, v. 44, p. 98–108, 2013.

ERENSTEIN, O. et al. Global Trends in Wheat Production, Consumption and Trade. Em: REYNOLDS, M. P.; BRAUN, H.-J. (Eds.). **Wheat Improvement: Food Security in a Changing Climate**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 47–66.

ERIKSEN, J. Gross sulphur mineralisation–immobilisation turnover in soil amended with plant residues. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 12, p. 2216–2224, 2005.

ERIKSEN, J.; THORUP-KRISTENSEN, K. The effect of catch crops on sulphate leaching and availability of S in the succeeding crop on sandy loam soil in Denmark. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 90, n. 3, p. 247–254, 2002.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 19–20, p. 2733–2757, 1 out. 2005.

FERNANDES, C. H. D. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. **UNICIÊNCIAS**, v. 23, n. 2, p. 83–88, 4 dez. 2019.

FERREIRA, A. C. DE B. et al. Cover plants in second crop: nutrients in straw and cotton yield in succession. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, 2023.

FINCH, B. et al. Evaluation of Nitrogen and Cropping System Management in Continuous Winter Wheat Forage Production Systems. **Agronomy**, v. 13, n. 1, 2023.

FUENTES-LLANILLO, R. et al. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104877, 2021.

GEDDES, M. C. et al. The Allelopathic Potential of Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth.) Mulch. **American Journal of Plant Sciences**, v. 06, n. 16, p. 2651–2663, 2015.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007. 319p.

HANSEN, V. et al. Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 313, p. 107392, 2021.

- HANSEN, V. et al. Effect of soil fertility level on growth of cover crop mixtures and residual fertilizing value for spring barley. **European Journal of Agronomy**, v. 145, p. 126796, 2023.
- HAVLIN, J. L. et al. **Soil Fertility and Fertilizers**. [s.l.] Pearson India, 2016. v. 8
- HOFFLAND, E. et al. Eco-functionality of organic matter in soils. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1, p. 1–22, 2020.
- HOLMAN, J. D. et al. Can Cover or Forage Crops Replace Fallow in the Semiarid Central Great Plains? **Crop Science**, v. 58, n. 2, p. 932–944, 1 mar. 2018.
- JALALI, M.; MAHDAVI, S.; RANJBAR, F. Nitrogen, phosphorus and sulfur mineralization as affected by soil depth in rangeland ecosystems. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 6, p. 1775–1788, 2014.
- JANTALIA, C. P. et al. Influence of crop rotations in soil carbon and nitrogen stocks under no tillage and conventional tillage. v. 37, n. 2, p. 91–97, 2003.
- JÍLKOVÁ, V.; STRAKOVÁ, P.; FROUZ, J. Foliage C:N ratio, stage of organic matter decomposition and interaction with soil affect microbial respiration and its response to C and N addition more than C:N changes during decomposition. **Applied Soil Ecology**, v. 152, p. 103568, 2020.
- KARLEN, D. L. et al. Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. **Soil and Tillage Research**, v. 195, p. 104365, 1 dez. 2019.
- KASPAR, T. C. et al. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. **Agricultural Water Management**, v. 110, p. 25–33, 2012.
- KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v. 76, n. 1, p. 29–51, 2 jan. 2018.
- KLEE, R. J.; GRAEDEL, T. E. ELEMENTAL CYCLES: A Status Report on Human or Natural Dominance. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.042203.104034>, v. 29, p. 69–107, 21 out. 2004.
- KOEHLER-COLE, K. et al. Is allelopathy from winter cover crops affecting row crops? **Agricultural & Environmental Letters**, v. 5, n. 1, p. e20015, 2020.
- KREUZEDER, A. et al. In situ observation of localized, sub-mm scale changes of phosphorus biogeochemistry in the rhizosphere. **Plant and Soil**, v. 424, n. 1, p. 573–589, 2018.
- LAMBERS, H.; CLEMENTS, J. C.; NELSON, M. N. How a phosphorus-acquisition strategy based on carboxylate exudation powers the success and agronomic potential of lupines (*Lupinus*, Fabaceae). **American Journal of Botany**, v. 100, n. 2, p. 263–288, 1 fev. 2013.
- LINK, L. **Plantas de cobertura de verão: crescimento e acúmulo de nutrientes, épocas de dessecação e produtividade do trigo**. Dissertação— Dois Vizinhos: Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, 2020.

- LISBOA, I. P. et al. Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 175–184, 1 mar. 2019.
- LI, X. et al. Quantifying biological nitrogen fixation of different catch crops, and residual effects of roots and tops on nitrogen uptake in barley using in-situ ¹⁵N labelling. **Plant and Soil**, v. 395, 22 jun. 2015.
- MALUF, H. J. G. M. et al. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, 2015.
- MARTINS, T. V.; LIVINA, V. N. What Drives Symbiotic Calcium Signalling in Legumes? Insights and Challenges of Imaging. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 9, p. 2245, 7 maio 2019.
- MAW, M. J. W.; HOUX, J. H.; FRITSCHI, F. B. Nitrogen fertilization of high biomass sorghum affects macro- and micronutrient accumulation and tissue concentrations. **Industrial Crops and Products**, v. 156, p. 112819, 2020.
- MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 173–180, 2004.
- NOVARA, A. et al. Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104896, 2021.
- NUNES, A. P. et al. No-Till System Participatory Quality Index in land management quality assessment in Brazil. **European Journal of Soil Science**, 12 fev. 2020.
- OLIVEIRA, T. K. DE; CARVALHO, G. J. DE; MORAES, R. N. DE S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, 2002.
- PADOVAN, M. P. et al. Dinâmica de Acúmulo de Massa e Nutrientes pela *Crotalaria juncea* para Fins de Adubação Verde e o Estádio Adequado para seu Manejo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2014.
- PEREIRA, A. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799–807, dez. 2017.
- PIRES, João Leonardo Fernandes. A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira. BRASIL, Embrapa Trigo, 2017. Disponível em: .< [Artigo - A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira - Portal Embrapa](#)> Acesso em: 25 mai 2023.
- POOLE, N.; DONOVAN, J.; ERENSTEIN, O. Viewpoint: Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. **Food Policy**, v. 100, p. 101976, 2021.
- POSSINGER, A. R.; BYRNE, L. B.; BREEN, N. E. Effect of buckwheat (*Fagopyrum*

esculentum) on soil-phosphorus availability and organic acids. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 1, p. 16–18, 1 fev. 2013.

RAVEN, P. H., JOHNSON, G.B., MASON, K. A., LOSOS, J.B., SINGER, S. R., 2014. "Biogeochemical Cycles." In *Biology*, 1209-1214. 10th ed., AP ed. New York: McGraw-Hill.

REDIN, M. et al. Root and Shoot Contribution to Carbon and Nitrogen Inputs in the Topsoil Layer in No-Tillage Crop Systems under Subtropical Conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

ROSENZWEIG, S. T.; SCHIPANSKI, M. E.; KAYE, J. P. Rhizosphere priming and plant-mediated cover crop decomposition. **Plant and Soil**, v. 417, n. 1, p. 127–139, 2017.

SALOMÃO, P. E. A. et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870, 1 jan. 2020.

SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. Potencial de seqüestro de carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. 2007.

SANTI, A. L. et al. White lupine yield under different sowing densities and row spacings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, 2016.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SHARMA, P. et al. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 09, p. 1935–1951, 2018.

SHIRATSUCHI, L. S. **Conceitos e considerações práticas do sistema de geração de mapas de produtividade na cultura de grãos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 27p. (Documentos, 126).

SILVA, E. C. DA et al. Capítulo 7 Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas . Em: LIMA FILHO, O. F. DE (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática** . 2. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 563.

SINGH, H.; NORTHUP, B. K.; PRASAD, P. V. V. Water storage and use efficiencies of rainfed winter wheat-summer green manure systems of the US Southern Great Plains. **European Journal of Agronomy**, v. 146, p. 126818, 2023.

SKINNER, E. M. et al. Allelopathic Effects of Sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) on Germination of Vegetables and Weeds. **HortScience**, v. 47, n. 1, p. 138–142, jan. 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Núcleo regional Sul- Comissão de Química e Fertilidade do Solo- RS/SC, 376p, 2016.

SOUSA, D. C. DE et al. Dry Mass Accumulation, Nutrients and Decomposition of Cover

Plants. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 5, p. 152, 15 abr. 2019.

SPOHN, M. et al. Terrestrial ecosystems buffer inputs through storage and recycling of elements. **Biogeochemistry**, v. 156, n. 3, p. 351–373, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAKEITI, Cristina Yoshie. Arvore do conhecimento. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Embrapa. BRASIL, 2009. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000gir_lwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html>. Acesso em: 12 de mai. 2022

TANAKA, K. S. et al. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 3, p. 267–281, 2019.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 1. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s.d.].

Teixeira, C. M., et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-deporco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n.1, p. 93–99, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000100011>

TESSEMA, B. et al. Functional Links between Biomass Production and Decomposition of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) Grass in Three Australian Soils. **Plants**, v. 11, n. 6, 1 mar. 2022.

TRIBOUILLOIS, H.; COHAN, J. P.; JUSTES, E. Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. **Plant and Soil**, v. 401, n. 1–2, p. 347–364, 1 abr. 2016.

TRUONG, T. H. H.; MARSCHNER, P. Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. **Geoderma**, v. 319, p. 167–174, 2018.

VALKAMA, E. et al. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 203, p. 93–101, 2015.

VUJIĆ, S. et al. Effect of winter cover crops on water soil storage, total forage production, and quality of silage corn. **European Journal of Agronomy**, v. 130, p. 126366, 2021.

WALELA, C. et al. The initial lignin:nitrogen ratio of litter from above and below ground sources strongly and negatively influenced decay rates of slowly decomposing litter carbon pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 77, p. 268–275, 2014.

WENDLING, M. et al. Specific interactions leading to transgressive overyielding in cover crop mixtures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 241, p. 88–99, 1 abr. 2017.

WOLSCHICK, N. H. et al. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes

por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134–143, 15 ago. 2016.

WOLSCHICK, N. H. et al. Remaining effect of long-term soil tillage on plant biomass yield and water erosion in a Cambisol after transition to no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105149, 2021.

ZANATTA, J. et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 510–519, jun. 2007.

ZINGALE, S. et al. Factors Affecting the Nutritional, Health, and Technological Quality of Durum Wheat for Pasta-Making: A Systematic Literature Review. **Plants MDPI**, , 1 fev. 2023.