

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

Fagner Augusto Rontani

**QUALIDADE QUÍMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM
PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO**

Frederico Westphalen, RS
2020

Fagner Augusto Rontani

**QUALIDADE QUÍMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE
COBERTURA DE INVERNO**

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. Dr. Antônio Luis Santi

Frederico Westphalen, RS
2020

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rontani, Fagner Augusto
Qualidade química e ciclagem de nutrientes em plantas
de cobertura de inverno / Fagner Augusto Rontani. - 2020.
57 p.; 30cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Coorientador: Diecson Ruy Orsolin da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2020

1. Plantas de cobertura 2. Aveia, nabo e ervilhaca. 3.
Ciclagem de nutrientes 4. Nitrogênio, fósforo e
potássio I. Santi, Antônio Luis II. Orsolin da Silva,
Diecson Ruy III. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Fagner Augusto Rontani. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: fagner_rontani@outlook.com

Fagner Augusto Rontani

**QUALIDADE QUÍMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE
COBERTURA DE INVERNO**

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 17 de fevereiro de 2020:

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

André Luis Vian, Dr. (UFRGS) (Videoconferência)

Claudir José Basso, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2020

Aos meus pais, José Celso Rontani e Edite Celma Rontani que sempre apoiaram e acreditaram nessa conquista, aos meus irmãos Éderson e Samara, guardiões das lembranças do tempo de criança, à minha namora Mariane que sempre esteve ao meu lado, me apoiando nos dias bons e não tão bons assim. Aos orientadores, amigos e colegas.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Força ou Energia desconhecida, que nos dá a vida, pois sem ela nada disso seria possível. Por guiar meus passos e iluminar meu caminho.

Aos meus pais, José e Edite, que abriram mão de seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus, logo os títulos de Mestre e Engenheiro Agr. devo a eles.

Aos meus irmãos Ederson e Samara, que mesmo distantes me proporcionam a certeza de que nunca estarei só.

À minha namorada Mariane, menina de luz que sempre apoiou meus sonhos e minhas decisões, mesmo sabendo que isso nos deixaria separados por quilômetros de distância.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que me proporcionou o título de Eng. Agr. e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente (PPGAAA), que me deu esta oportunidade de mestrado.

Ao Prof. Dr. Antônio Luis Santi, orientador e amigo que guiou meus passos desde quando entrei na UFSM em 2014. Pela orientação e ajuda na realização deste trabalho. Pelos ensinamentos e conselhos para toda a vida, bem como pela amizade e parceria nos dias de pescaria na beira do Rio Uruguai. Se hoje sou uma pessoa mais humilde e humana é devido aos seus ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Diekson Ruy Orsolin da Silva, co-orientador e amigo, sempre preocupado com o andamento do experimento e das avaliações. Prestativo, disposto a ajudar e tirar as dúvidas que surgiam no decorrer dessa pesquisa. Nada disso seria possível se o senhor não tivesse cruzado meu caminho. Hoje vejo que as cobranças valeram a pena.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro através da bolsa de Mestrado.

Aos amigos David Bortoluzi, Sabrine, Junior Prates, Marina Cuchi, Leticia Stasiak,

Aos professores Claudir José Basso, Antônio Luis Santi, André Luis Vian e Lisandra Pinto Della Flora, pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

Ao grupo LapSul, representados por Cleonice Inês Jung, Ezequiel Zibetti Fornari, Shayana Pavelski, Bruno Henrique Rodrigues Sangiovo, João Pedro Arruda Cunha, Luís Felipe Rossetto Gerlach, Henrique Luis Santi Schmatz, Renata Candaten, Eduardo Julio Martini Dal Bello, Alexandre Wahlbrinck Volz, Caio Mizuto Fukui, Carolina Zdradek Previati, Deonísio Augusto Puhl, Everton da Silva Manfio, Jhonatan Henrique Dutra de Araújo, Leonardo, Mariana Poll Moraes, Mateus da Silva, Pedro Arnaldo Duarte Barcelos, Taiana Cezar Milani, Tauane Ianiski

Schmeling, Thales Henrique Breunig, Vinícius da Silva Miguel, Vinícius Soares do Amaral, Gabriel Araldi, Felipe Belchor.

Aos funcionários responsáveis pelo almoxarifado, patrulha agrícola e motoristas da UFSM que sempre estiveram dispostos a me ajudar nos transportes de produtos e tratos culturais realizados nos meus experimentos.

Ao Departamento de Solos e ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSM *campus* Frederico Westphalen.

A todas as pessoas que, de algum modo, contribuíram para a realização desse sonho.

A todos, muito obrigado!

Nada é tão poderoso quanto um Homem
decidido a lutar pelos seus sonhos e pela sua
família.

RONTANI

RESUMO

QUALIDADE QUÍMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

AUTOR: Fagner Augusto Rontani
ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

A produção de palha para o sistema e as avaliações da liberação de nutrientes dos resíduos vegetais adicionados ao solo pelas plantas de cobertura permite uma melhor compreensão do fornecimento de nutrientes para o solo e também para as culturas de interesse comercial. Dessa forma o artigo I objetivou-se avaliar o efeito das proporções em consórcio de plantas de cobertura de aveia preta com nabo e ervilha em mistura com ou sem suplementação de nitrogênio no potencial de produção de massa, manutenção residual do carbono orgânico (C) e relação C/N. Como complemento das avaliações foi realizado o artigo II, onde objetivou-se avaliar a disponibilidade de nitrogênio, fósforo e potássio ao longo do tempo de decomposição das culturas de aveia preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.). O delineamento experimental dos artigos I e II foi o mesmo, sendo em blocos casualizados com quatro repetições, arranjados em esquema bi-fatorial no primeiro momento da instalação do experimento, passando para tri-fatorial quando os resíduos vegetais foram submetidos a avaliação da decomposição. Sendo fator A consórcios, fator B proporções e o fator C épocas, sendo seis épocas de avaliação. As principais culturas foram o nabo (*Raphanus sativus* L.), a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), essas que foram semeadas em diferentes proporções de plantas, sendo 100/0 (monocultivo de aveia preta), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (monocultivo de nabo ou ervilhaca). Ainda, nas associações de aveia preta e nabo foi testada a fertilização com 0 e 70 kg ha⁻¹ de N. A fonte de N utilizada foi a ureia com 46 % de N, sendo colocado 70 kg ha⁻¹ de N. Com os resultados observados, constatou-se que as plantas de cobertura apresentaram diferentes efeitos para as avaliações realizadas, onde as proporções e épocas de avaliações apresentaram diferença significativa para pelos menos um tratamentos nas avaliações de massa seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Palavras-chave: Resíduos culturais. Proteção do solo. Nutrição do solo.

ABSTRACT**CHEMICAL QUALITY AND NUTRIENT CYCLING IN WINTER COVER PLANTS**

AUTHOR: Fagner Augusto Rontani

ADVISOR: Dr. Antônio Luis Santi

Straw production for the system and assessments of nutrient release from plant residues added to the soil by cover crops allow for a better understanding of the supply of nutrients to the soil and also to crops of commercial interest. Thus, article I aimed to evaluate the effect of the proportions in consortium of black oat cover crops with turnip and peas mixed with or without nitrogen supplementation on the mass production potential, residual maintenance of organic carbon (C) and C/N ratio. As a complement to the evaluations, Article II was carried out, where the objective was to evaluate the availability of nitrogen, phosphorus and potassium over the decomposition time of black oat (*Avena strigosa*), forage turnip (*Raphanus sativus* L.) and vetch (*Vicia sativa* L.). The experimental design of articles I and II was the same, being in randomized blocks with four replications, arranged in a two-factorial scheme at the first moment of the installation of the experiment, changing to three-factorial when the plant residues were submitted to decomposition evaluation. Being factor A consortia, factor B proportions and factor C epochs, being six evaluation periods. The main crops were turnip (*Raphanus sativus* L.), black oats (*Avena strigosa* Schieb) and vetch (*Vicia sativa* L.), which were sown in different plant proportions, with 100/0 (black oat monoculture), 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 (turnip or vetch monoculture). Also, in the associations of black oats and turnip, fertilization with 0 and 70 kg ha⁻¹ of N. was tested. The source of N used was urea with 46% of N, with 70 kg ha⁻¹ of N. observed results, it was found that the cover plants had different effects for the evaluations carried out, where the proportions and times of evaluations showed significant difference for at least one treatments in the evaluations of dry mass (DM), carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K).

Keywords : Crop Residues. Soil protection. Soil Nutrition.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 – Dados de temperatura máxima – T °C Máx, temperatura mínima – T °C Mín e precipitação (mm) obtidos da estação meteorológica do INMET e tempo cronológico das principais avaliações (2018/19) – Frederico Westphalen, RS.....21
- Figura 2 – Degradação do carbono orgânico (A) e efeitos das proporções de plantas de cobertura e a influência da composição do resíduo remanescente na relação C\N no decorrer de 150 dias de avaliações (B, C, D, E e F). Frederico Westphalen – RS..... 31

ARTIGO II

- Figura 1 – Dados de temperatura máxima – T °C Máx, temperatura mínima – T °C Mín e precipitação (mm) obtidos da estação meteorológica do INMET e tempo cronológico das principais avaliações (2018/19) – Frederico Westphalen, RS..... 41
- Figura 2 – Avaliação dos teores de nitrogênio nas diferentes proporções A) e nas diferentes épocas de avaliações B). Frederico Westphalen - RS..... 44
- Figura 3 – Avaliação dos teores de fósforo nas diferentes proporções A) e nas diferentes épocas de avaliações B). Frederico Westphalen - RS..... 45
- Figura 4 – Curvas de liberação dos teores de potássio (A, B, C, D e E) em função das proporções de aveia, nabo e ervilhaca no decorrer dos dias de avaliações. Frederico Westphalen - RS..... 50

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Propriedades químicas da amostra de solo coletada na camada de 0-20 cm. Frederico Westphalene, RS. 2019.	20
Tabela 2 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (p-valor) da variável massa seca (MS). Frederico Westphalen - RS.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 – Produtividade da massa seca das proporções dentro de cada consórcio de plantas, Frederico Westphalen - RS.....	24
Tabela 4 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (p-valor) da variável taxa de decomposição e Relação C/N. Frederico Westphalen – RS.....	26
Tabela 5 – Valores de C em Kg Há ⁻¹ e relação C/N obtidos a partir da massa remanescente das plantas de cobertura de acordo com as proporções dentro de cada consórcio, Frederico Westphalen - RS.	28

ARTIGO II

Tabela 1 – Propriedades químicas da amostra de solo coletada na camada de 0-20 cm. Frederico Westphalen, RS. 2019.	39
Tabela 2 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (p-valor) das variáveis analisadas de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), com informações adicionais de média geral e coeficiente de variação (C.V%). Frederico Westphalen - RS.	42
Tabela 3 – Teores de potássio K em Kg, Ha ⁻¹ nos resíduos vegetais remanescentes das plantas de cobertura de acordo com as proporções dentro de cada consórcio. Frederico Westphalen - RS.	47

SUMÁRIO

1.1 HIPÓTESE.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2 ARTIGO I - ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO INFLUENCIADO PELO USA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	16
2.1 RESUMO.....	16
2.2 ABSTRACT.....	17
2.3 INTRODUÇÃO.....	18
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.4.1 Caracterização do local.....	20
2.4.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	21
2.4.3 Avaliações efetuadas.....	22
2.4.4 Avaliação da matéria seca.....	23
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
2.6 CONCLUSÃO.....	32
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
3 ARTIGO II - DESEMPENHO DA AVEIA, NABO E ERVILHACA NA CONTRIBUIÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM SISTEMA SOLTEIRO E CONSORCIADO	36
3.1 RESUMO.....	36
3.2 ABSTRACT.....	36
3.3 INTRODUÇÃO.....	37
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.4.1 Caracterização do local.....	38
3.4.2 Delineamento experimental.....	39
3.4.3 Avaliações efetuadas.....	40
3.4.4 Avaliação da matéria seca.....	41
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.6 CONCLUSÃO.....	51
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD) representou e representa hoje uma tecnologia, que quando bem manejada, pode proporcionar e contribuir para diminuir problemas ambientais causados pela busca incessante do aumento de produção (DAMIAN, 2015).

Sendo assim, para se atender as demandas de fibras e alimentos para uma população em crescimento normalmente é necessário utilizar-se de práticas cada vez mais intensivas de produção, utilizando fertilizantes e pesticidas (TILMAN et al., 2011). Essas práticas intensivas podem assegurar o aumento da produtividade, porém podendo também causar alguns efeitos negativos ao ambiente e a biodiversidade Landis, (2017), à qualidade da água Matson et al., (1997) e saúde do solo Stavi & Lal (2015), podendo acarretar em diminuição da sustentabilidade a longo prazo.

As plantas de cobertura de inverno são uma boa opção para o gerenciamento do ecossistema e favorecem a biodiversidade e a sustentabilidade de produção das culturas (DARYANTO, et al., 2018). O uso de plantas de cobertura está entre algumas das práticas mais reconhecidas para melhorar as características do agroecossistema segundo Keesstra et al., (2018), tendo efeito na intensidade e variabilidade dos processos de transformação e transporte de nutrientes, atuando também na temperatura e umidade do solo (SICZEK & LIPIEC, 2011).

Plantas de cobertura tem sido fundamental como uma prática benéfica não só para os critérios de retenção de nutrientes, mas também para o aumento e melhoria da matéria orgânica do solo (MOS) (LAL, 2015). Outro fator que tem aumentado a atenção sobre as plantas de cobertura é o fato delas apresentarem a capacidade de fixação de nutrientes como o N, visto que nos últimos tempos esse e outros nutrientes tiveram um aumento significativamente no custo de produção (LADHA et al., 2005). Plantas de cobertura também são capazes de proporcionar serviços agronômicos adicionais como aumento de fungos micorrizicos e assim reduzindo a incidência de agentes patogênicos do solo Galvez et al., (1995) e ervas daninhas no início da estação de crescimento, principalmente aquelas daninhas que necessitam de luz para germinar (TEASDALE, 1996).

Apesar de apresentar vários benefícios e potencial de melhorias para as condições de solo, a introdução de plantas de cobertura pode aumentar a complexidade do manejo e das operações agrícolas que serão realizadas na área (DARYANTO et al., 2018). No caso da utilização de uma cultura de cobertura leguminosa como a ervilhaca peluda (*Vicia villosa Roth*),

que tem a capacidade de fornecer um grande aporte de N para as cultura subsequentes, como o milho por exemplo, é recomendado o término tardio da cultura de cobertura, devido a essa prática proporcionar um maior aporte de N acumulado no massa de cobertura (CLARK, et al., 1997) e assim melhorar a sincronização da liberação de N da cobertura com a necessidade de absorção do milho (LADAN & JACINTHE, 2017).

Por outro lado, o fim precoce do desenvolvimento da cultura de cobertura pode ser uma opção quando a disponibilidade de chuvas é baixa e o esgotamento das reservas de água podem ser um problema, caso a cultura de cobertura permaneça em desenvolvimento por um maior período de tempo conforme Mitchell et al., (2015), embora estudos recentes tenham demonstrado que plantas de cobertura que apresentam um sistema radicular mais agressivo e profundo como as braquiárias, por exemplo, proporcionam que as culturas subsequentes e de interesse comercial desenvolvam um sistema radicular mais extenso e por consequência tenham uma maior tolerância a seca (BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

Outra cultura de cobertura que possui potencial de aumentar a disponibilização de N principalmente na superfície do solo é o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Cultura essa, que por ser da família das brássicaceae, possui a capacidade de reciclar nutriente das camadas mais profundas do solo e trazer para a superfície, podendo chegar até a 220 kg ha⁻¹ de N (HEINZMANN, 1985). A cultura apresenta também outras vantagens, como alto rendimento de massa seca e rápido desenvolvimento inicial, superando a cultura da aveia e da ervilhaca (SILVA, et al., 2007).

Apesar das vantagens que o nabo e a ervilhaca solteiros apresentam para as culturas posteriores é importante o uso de manejos que possibilitem maior tempo de permanência de resíduos vegetais na superfície do solo, logo o uso dessas culturas em sistemas consorciados com aveia preta pode favorecer a permanência desses resíduos e aumentar o rendimento das culturas cultivadas em sucessão (ACOSTA et al., 2014).

Sistemas consorciados com brássicas, leguminosas ou gramíneas proporcionam eficientes coberturas vegetais para a superfície do solo, contribuindo também para a reciclagem ou fixação de nutrientes, principalmente o N e P (SILVA et al., 2007).

Nos Estados Unidos a área com plantas de cobertura tem aumentando muito a cada ano, chegando a dobrar no últimos cinco anos conforme Sare, (2017) e no Brasil o uso de plantas de cobertura cultivadas em combinação com o plantio direto tem sido utilizado para melhorar a disponibilidade de nutrientes como o P, por exemplo Almeida et al., (2018), no entanto o número de usuários de plantas de cobertura ainda é limitado, indicando um longo desafio para a adoção da prática, combinado com a falta de conhecimento, acesso a sementes de qualidade,

treinamento e assistência técnica, sendo essas algumas das barreiras que impedem que os agricultores adotem essas novas formas de manejo (PRATT & WINGENBACH, 2016).

1.1 HIPÓTESE

Há muitos estudos que trazem resultados para a variabilidade química do solo quando submetido ao cultivo de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, porém o comportamento e os efeitos das plantas de cobertura consorciadas e solteiras quando cultivadas na região norte do Estado do RS podem ser distintas do resultado obtidos em outras condições de cultivo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos das plantas de cobertura na qualidade química dos resíduos no solo quando cultivadas consorciadas e solteiras na a região Norte do Estado do Rio Grande do Sul.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

Avaliar a produção de massa seca e carbono orgânico nos resíduos culturais em plantas de cobertura consorciada e solteira.

Quantificar a liberação de nitrogênio, fósforo e potássio nos resíduos culturais em plantas de cobertura consorciada e solteira.

2 ARTIGO I – PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO E SEUS EFEITOS NO ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO

2.1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das proporções em consórcio de plantas de cobertura de aveia preta com nabo e ervilha em mistura com ou sem suplementação de nitrogênio no potencial de produção de massa, manutenção residual do carbono orgânico (C) e relação C/N. O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* de Frederico Westphalen, no ano agrícola de 2018 e 2019. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, arranjados em esquema bi-fatorial no primeiro momento da instalação do experimento, passando para tri-fatorial quando os resíduos vegetais foram submetidos a avaliação da decomposição. Sendo fator A consórcios, fator B proporções e o fator C épocas, sendo seis épocas de avaliação. As principais culturas foram o nabo (*Raphanus sativus* L.), a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), essas que foram semeadas em diferentes proporções de plantas, sendo 100/0 (monocultivo de aveia preta), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (monocultivo de nabo ou ervilhaca). Ainda, nas associações de aveia preta e nabo foi testada a fertilização com 0 e 70 kg ha⁻¹ de N. As melhores produtividades de massa seca foram obtidas nas proporções que continham as maiores quantidades de aveia preta, sendo as maiores produtividades obtidas nos consórcios que continham em sua mistura a fonte adicional de N. Os valores residuais de C seguiram a mesma tendência da massa seca, onde os tratamentos que tiveram as maiores produtividades apresentaram as maiores quantidades residuais de C. As maiores concentrações de aveia também proporcionaram uma maior relação C/N e conseqüentemente uma maior quantidade de resíduos e, esses tratamentos demonstraram que a aveia proporcionou uma permanência mais contínua dos resíduos das plantas na superfície do solo. Conclui-se que o principal fator para a produção de massa, decomposição e relação C/N foi a proporção de aveia utilizada dentro de cada tratamento, demonstrando uma influência direta dos resíduos aportados ao solo.

Palavras-chave: relação C/N. adubação verde. resíduos culturais.

2.2 ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the effect of intercropping proportions of turnip black oat and pea plants mixed with or without nitrogen supplementation on mass production potential, organic carbon (C) residual maintenance and ratio C/N. The study was carried out in the experimental area of the Federal University of Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen campus, in the 2018 end 2019 agricultural year. of the experiment, becoming tri-factorial when the plant residues were subjected to decomposition evaluation. Being factor A consortia, factor B proportions and factor C seasons, being six evaluation seasons. The main crops were turnip (*Raphanus sativus* L.), black oats (*Avena strigosa* Schieb) and vetches (*Vicia sativa* L.), which were sown in different plant proportions, being 100/0 (black oat monoculture), 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 (turnip or vet monoculture). Also, in the combinations of black oat and turnip were fertilization with nitrogen with 0 and 70 kg ha⁻¹ of N. The best dry mass yields were obtained in the proportions that contained the largest amounts of black oats, and the highest yields obtained. in the consortia that contained in their mixture the additional source of nitrogen. The residual values of C followed the same trend of dry mass, where the treatments that had the highest yields presented the largest residual amounts of carbon. Higher oat concentrations also provided a higher C/N ratio and consequently a higher amount of residues, where these treatments showed that oats provided a more continuous permanence of plant residues on the soil surface. It was concluded that the main factor for mass production, decomposition and C/N ratio was the proportion of oats used within each treatment, demonstrating a direct influence of the residues fed to the soil.

Key words: C/N ratio. green manure. crop residues.

2.3 INTRODUÇÃO

É crescente a aplicação dos conceitos do sistema plantio direto e também a sustentabilidade que o mesmo oferece devido ao uso de plantas de cobertura para a proteção do solo, adubação verde e ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al., 2017). O uso de plantas de cobertura e a adubação verde está diretamente relacionado ao ganho de matéria orgânica no sistema, proporcionando uma melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (ESPINDOLA et al., 1997), contribuindo também para a quebra do ciclo vegetativo de várias espécies espontâneas, impedindo as mesmas de se reproduzirem e lançarem propágulos vegetativos e sementes ao solo (BARRADAS, 2010). Para isso, é importante utilizar plantas de cobertura que apresentem uma alta produção de massa e também sejam boas acumuladoras de carbono (C) e nitrogênio (N), além de apresentarem uma eficiente dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes armazenados em seus resíduos culturais (DONEDA et al., 2012).

As plantas de cobertura proporcionam cobertura ao solo e proteção dos agentes climáticos, também realizam o sequestro de C atmosférico e assim apresentando potencial para elevar o teor de matéria orgânica, reciclar e mobilizar nutrientes (SILVA, 2011).

Após o final do ciclo das culturas, se dá início a decomposição dos resíduos vegetais que ficaram no solo, esse processo de decomposição ocorre devido a ação dos microrganismos heterotróficos que nesse processo irão obter os elementos essenciais para a sua sobrevivência, como o C que é necessário para a produção de energia e formação de tecidos microbianos (AITA & GIACOMINI, 2003).

O processo de decomposição dos restos culturais é determinado por vários fatores, podendo ser eles bióticos e abióticos, logo esses fatores irão definir a persistência dos resíduos culturais na superfície do solo (ESPINDOLA et al., 1997). Como fator biótico temos a biomassa microbiana constituída por fungos, bactérias e microfauna que formam diversas comunidades no solo, tendo importante atuação nos processos de decomposição, humificação de resíduos orgânicos, mineralização e imobilização de macro e micronutrientes (DEVIDE & CASTRO, 2009). Como fatores abióticos temos os regimes hídricos e a temperatura, onde maiores precipitações irão proporcionar uma maior taxa de decomposição, independente do tipo de material vegetal, já em anos com uma menor quantidade de chuvas a taxa de decomposição tende a ser mais lenta (ACOSTA et al., 2014).

Outro fator que pode estar definindo a velocidade de decomposição dos resíduos culturais são as culturas que compõe o material vegetal, visto que áreas onde predomina aveia, tendo uma relação C/N alta a taxa de decomposição tende a ser mais lenta, logo onde a cultura

predominante é ervilhaca ou nabo a taxa de decomposição será mais rápida devido a uma relação C/N mais baixa entre os resíduos vegetais (AITA & GIACOMINI, 2003).

Menores taxas de decomposição se justificam devido a menor quantidade de N fornecido para o sistema, quando na área há predominância de espécies da família das Poaceae (SILVA et al., 2012). O contrário também é válido, pois onde há predominância de culturas da família das Fabaceae há também uma melhor e mais rápida taxa de decomposição dos resíduos (Landriscini et al., 2019; Teixeira et al., 2009).

Relações C/N menores que 25 favorecem a decomposição dos resíduos, logo a combinação de poáceae com fabaceae irá produzir resíduos com valores interrelação C/N médios de relação C/N, sendo assim a disponibilidade de nutrientes dos resíduos para o solo ou para a cultura sucessora será mais lento, causando uma liberação gradual dos nutrientes (Heinrichs et al., 2001; Restovich et al., 2012). Além de atuarem na liberação lenta dos nutrientes, os consórcios podem proporcionar maiores acúmulos de N, principalmente na parte aérea, podendo o nabo e a ervilhaca chegarem a valores em torno de $190,3 \text{ kg ha}^{-1}$ e a aveia preta em torno de $136,9 \text{ kg ha}^{-1}$, logo consórcios entre aveia/nabo e ervilhaca/aveia poderão disponibilizar uma boa quantidade de N mineral para as culturas sucessoras (Doneda et al., 2012; Silva et al., 2006).

Dessa forma, fundamenta-se que a proporção e o tipo de resíduo orgânico aportado na superfície do solo pelas diferentes plantas de cobertura irão influenciar na quantidade de massa, carbono orgânico e na relação C/N dos resíduos aportados ao solo. O trabalho objetivou-se avaliar o potencial de produção de massa seca da parte aérea, manutenção do resíduo do carbono orgânico e a relação C/N com diferentes proporções do consórcio de plantas de cobertura de aveia preta com nabo e ervilha e com ou sem suplementação de nitrogênio em cobertura.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Caracterização do local

O trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2018 e 2019, no período de abril de 2018 a abril de 2019 na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* de Frederico Westphalen – RS em uma área situada entre as coordenadas geográficas de 27° 23' 53.0" de latitude sul e 53° 25' 34.0" de longitude oeste, na altitude de 484 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2013), com as seguintes características químicas descritas na Tabela 1, coletadas na camada de 0,20 m.

Tabela 1 – Propriedades químicas da amostra de solo coletada na camada de 0,20 m. Frederico Westphalen, RS. 2019.

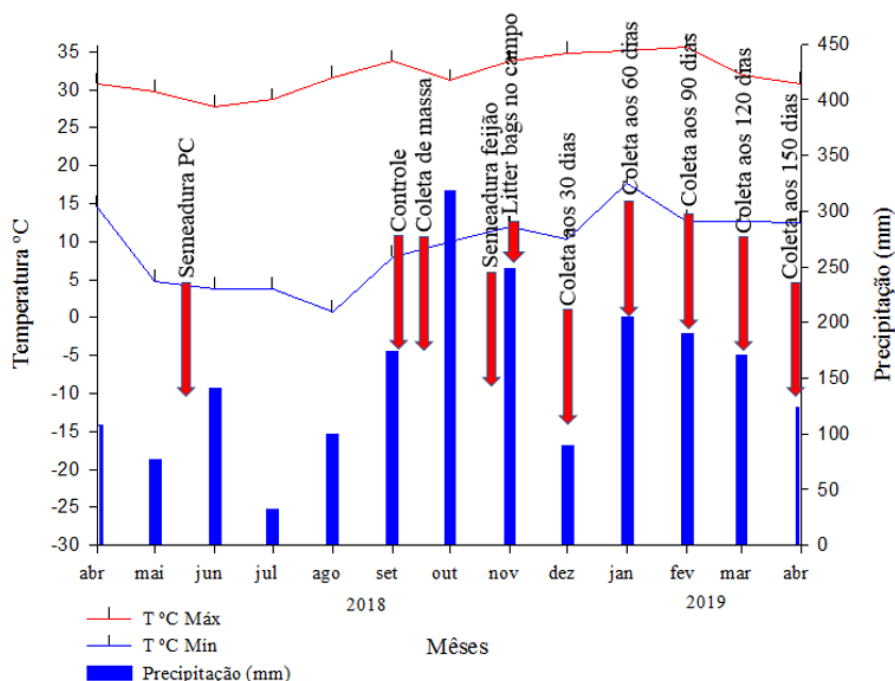
Argila	pH água	SMP	M.O (%)	P ..mg/dm ³ ..	K	Ca	Mg	Al	Al + H	CTC.....	saturação.....	
										Efetiva	pH 7.0	Bases	Al
70	5.7	5.9	2.3	4,7	72	5.9	2.7	0.1	4.9	8.7	13.5	63.8	1.1

M.O = Matéria orgânica; CTC = Capacidade de Troca de Cátions

O clima da região é classificado como Cfa ou subtropical úmido com verão quente, tendo como temperatura e precipitação média anual em torno de 19,2 °C e 1.880 mm

respectivamente, segundo Köppen-Geiger. Os dados de precipitação e temperatura foram registrados para subsidiar a interpretação dos resultados (Figura 1).

Figura 1 – Dados de temperatura máxima – T °C Máx, temperatura mínima – T °C Mín e precipitação (mm) obtidos da estação meteorológica do INMET e tempo cronológico das principais avaliações (2018/19) – Frederico Westphalen, RS.



2.4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições e quatorze tratamentos, arranjados em esquema bi-fatorial no primeiro momento da instalação do experimento, onde os fatores principais foram fator A consórcios e o fator B proporções. Para o fator A foram definidos três consórcios, sendo eles: aveia preta + nabo (A + N), aveia preta + nabo + nitrogênio (A + N + N) e aveia preta + ervilhaca (A + E). A fonte de N utilizada foi a ureia com 46 % de N, sendo colocado 70 kg ha⁻¹ de N a laço, seguindo a análise química da área (Tabela 1). Já para o fator B, foram definidas cinco proporções de semeadura, sendo elas: 100/0 (monocultivo de aveia preta), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (monocultivo de nabo ou ervilhaca).

Para o segundo momento do experimento foi adicionado o fator C, sendo esse as épocas de avaliação do residual de material vegetal produzido na área do experimento. Esse último fator foi avaliado em seis momentos, sendo a 0 dias o ponto inicial, seguido de avaliações a

cada trinta dias, (aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o material vegetal ir para o campo). As unidades experimentais mediam 3,0 x 3,0 m.

Para implantação do experimento a área foi gradeada 35 dias antes da semeadura (DAS), e realizado o manejo de plantas daninhas com a aplicação de glyphosate (1920 g e.a. ha⁻¹) aos 39 (20/04/18) e 7 (22/05/18) DAS. As aplicações de herbicidas foram realizadas com pulverizador elétrico calibrado com volume de calda de 150 L ha⁻¹, sendo aplicado com barra de 4 pontas (11002) espaçadas 0,5 m. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada a lanço e incorporada com uma grade leve, apenas para o recobrimento das sementes. A densidade de semente de aveia-preta, nabo e ervilhaca foi 435, 33 e 170 sementes m⁻², respectivamente, a qual estabeleceu-se 261, 30 e 136 plantas m⁻² referente aos monocultivo.

Aos 100 DAS as plantas foram manejadas com aplicação de glyphosate (1920g e.a. ha⁻¹) e aos 115 DAS foi realizada a coleta da massa seca com auxílio de um gabarito (0,3125 m²) lançado aleatoriamente na parcela. As plantas coletadas foram armazenadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C, até atingirem massa de matéria seca constante. Em seguida foi feita a pesagem do material em balança de precisão para determinação da matéria seca.

2.4.3 Avaliações efetuadas

Para as avaliações dos resíduos de C e da relação C/N do material vegetais remanescente, foi utilizada a metodologia de sacos de polietileno “*litter bags*” de (0,25 x 0,23 m), com aberturas de 2 mm, seguindo a metodologia proposta por DA SILVA FILHO, 2018. As aberturas têm o objetivo de permitir a entrada e saída de microrganismos e invertebrados e facilitar a ação dos fatores climáticos, como chuvas e insolação.

A quantidade de material que foi colocada dentro de cada *litter bags* foi proporcional a quantidade de massa seca (MS) produzida das respectivas coberturas (KLIEMANN, 2006). O material vegetal que foi coletado para fazer a MS foi reduzido ao tamanho de 4 cm para facilitar o manejo e homogeneizar a amostra e em seguida foi colocado dentro dos *litter bags* e posteriormente foram levados para o campo, onde na área já estava implantada a cultura do feijoeiro. Cada parcela recebeu 5 bolsas aleatórias, totalizando 300 *litter bags* em todo o experimento.

A avaliação do residual das culturas foi realizada de acordo com o tempo, realizando-se cinco coletas (um *litter bags*/coleta/parcela) aos 30, 60, 90, 120, 150 dias após a instalação do material nas parcelas. Após cada período de amostragem, os materiais vegetais foram retirados

do campo e lavados sem a utilização de detergentes com o objetivo de retirar o solo e alguns materiais indesejados e em seguida submetidos a secagem em estufa a 45 °C com circulação de ar, até a obtenção de massa constante. Para a determinação da quantidade de C, e C/N seguiu-se a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

2.4.4 Análise estatística

Antes de ser realizada a análise de variância, foi realizada a verificação ao atendimento dos pressupostos de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-wilk. Os dados de MS apresentaram normalidade e foram submetidos à análise de variância em modelo bi-fatorial, sendo analisado os fatores de consórcios e proporções. Na análise complementar, as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro.

Já, os dados C e da relação C/N por não atender aos pressupostos de normalidade, foram transformação em $\log(x)$ e em seguida submetidos à análise de variância em modelo tri-fatorial, sendo analisado os fatores de consórcios, proporções e épocas. Na análise complementar, as médias de consórcios e proporções foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro e as épocas foram analisadas ajustando-se um modelo de regressão.

Para a realização das análises foi utilizando o *software* estatístico SISVAR, Ferreira, (2011) e para a elaboração dos gráficos de regressão foi utilizado o *software* Sigma Plot 10.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado efeitos somente das proporções de plantas de cobertura para a MS, para os fatores de consórcios não houve diferente significativa (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (p-valor) da variável massa seca (MS). Frederico Westphalen - RS.

FV	G.L	MS
Consórcios	2	0,33 ns
Proporções	4	0,000 **
Cons. * Prop.	8	0,93 ns
Rep	3	0,09 ns
Erro	42	
Total	59	
Média		7360,74
CV (%)		25,91

Se (P<0,01 = **), (P<0,05=*) e (ns = não significativo).

As proporções que foram submetidas ao consórcio A+N+N apresentarem as maiores médias de MS com valor geral de (7.7 Mg ha⁻¹), seguido do consórcio de A+N que apresentou (7.4 Mg ha⁻¹) e por último A+E com (6.8 Mg ha⁻¹) (Tabela 3).

As proporções que apresentaram as maiores produtividades de MS foram aquelas que continham aveia preta na mistura, demonstrando de uma forma decrescente, que de acordo com que diminuía a quantidade de aveia na proporção, também diminuía a produtividade de massa da parcela. Logo, os consórcios que continham aveia solteira 100/0, tiveram as maiores produtividades, gerando uma média final de 8.9 Mg ha⁻¹, não apresentando diferença significativa dos tratamentos 75/25 com (8.6 Mg ha⁻¹), 50/50 com (7.3 Mg ha⁻¹) e 27/75 com (7.0 Mg ha⁻¹), porém apresentando diferença significativa do tratamento 0/100, onde os consórcios de nabo e ervilhaca solteira apresentaram os menores valores de massa seca, ficando com média geral de (4,7 Mg ha⁻¹) (Tabela 3).

Tabela 3 – Produtividade da massa seca das proporções dentro de cada consórcio de plantas, Frederico Westphalen - RS.

Consórcio	Massa seca Mg ha ⁻¹					Média
	Proporções					
	100/0	75/25	50/50	25/75	0/100	
A+N	8.7	8.5	8.1	7.5	4.4	7.4 A
A+N+N	9.3	9.1	7.2	6.9	5.9	7.7 A
A+E	8.7	8.0	6.6	7.0	3.7	6.8 A
Médias	8.9 A	8.6 A	7.3 A	7.1 A	4.7 B	
CV (%)	25,91					

A+N = Aveia + Nabo, A+N+N= Aveia + Nabo + Nitrogênio e A+E = Aveia + Ervilhaca. Letras maiúsculas idênticas não diferem entre consórcios e proporções, ambos pelo teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro. Quadro A+N = Aveia + Nabo, A+N+N= Aveia + Nabo + Nitrogênio e A+E = Aveia + Ervilhaca. **T1** = 100 Aveia + 0 Nabo; **T2** = 0 Aveia + 100 Nabo; **T3** = 75 Aveia + 25 Nabo; **T4** = 25 Aveia + 75 Nabo; **T5** = 50 Aveia + 50 Nabo; **T6** = 100 Aveia + 0 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T7** = 0 Aveia + 100 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T8** = 75 Aveia + 25 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T9** = 25 Aveia + 75 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T10** = 50 Aveia + 50 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T11** = 0 Aveia +100 Ervilhaca; **T12** = 75 Aveia + 25 Ervilhaca; **T13** = 25 Aveia + 75 Ervilhaca; **T14** = 50 Aveia + 50 Ervilhaca.

A aveia preta demonstrou incremento de massa em todos os tratamentos que esteve presente, mesmo quando em proporções inversas, como é o caso do consórcio com A+E na proporção de 75/25 comparado com o consórcio A+E na proporção de 25/75, onde a produção de massa chegou a (8.0 Mg ha⁻¹) e (7.0 Mg ha⁻¹), respectivamente, não apresentando diferença significativa. Esse resultado se justifica pelo fato dá cultura apresentar uma boa capacidade competitiva quando consorciada principalmente com ervilhaca (HEINRICHS, 2001). Esse

potencial produtivo do consórcio entre aveia + ervilhaca também foi identificado por Bortolini et al., (2014), onde notaram que o resultado final da produção de massa do consórcio é similar a soma dos rendimentos das duas culturas cultivadas isoladas, com produtividade de massa variando entre (3.2 a 4.0 Mg ha⁻¹). Esse resultado é atribuído a alta capacidade competitiva que a aveia preta apresenta, podendo dificultar o desenvolvimento de plantas de outras espécies que estejam presentes na área (AITA, 1997).

Em geral, a aveia preta apresenta boa capacidade competitiva com culturas ou plantas infestantes desde que não sejam da mesma família, pois em trabalho realizado por Fleck et al., (2009), a aveia preta apresentou diminuição de 29% na produtividade de grãos quando submetida a condições de competição com trigo (*Triticum aestivum*). Logo quando a aveia preta foi submetida a competição com o linho (*Linum usitatissimum*), em geral não apresentou grandes reduções no rendimento. A justificativa é que espécies que ocupam e exploram o mesmo nicho ecológico apresentem uma maior competição entre os recursos do ambiente. Tais características de competição são comuns em espécies aparentadas, como é o caso do arroz e arroz-vermelho Pantone & Baker (1991) e entre sorgo e sorgo-de-alepo ou entre sorgo e biótipos silvestre Hoffman & Buhler (2002).

As proporções submetidas ao consórcio A+N+N apresentaram os melhores resultados entre os consórcios, porém não apresentando diferença significativa, obtendo média geral de (7.7 Mg há⁻¹), tendo um incremento de (0.2 Mg ha⁻¹) e (0.8 Mg ha⁻¹) comparado com os consórcios de A+N e A+E, respectivamente. Esse efeito de acréscimo de produção ocasionado pela adição de N foi comprovado por Santi et al., (2003), quando os autores testaram doses de N na cultura da aveia preta, verificando que na ausência de uma fonte de N a produção de matéria seca ficou 44% menor daquela verificada na dose de N com a máxima eficiência técnica.

O nabo também demonstrou incremento na produtividade da massa quando submetido a adição de N, pois quando comparamos a proporção de nabo solteiro 0/100 no consórcio A+N, com a mesma proporção, porém no consórcio de A+N+N, notamos uma produtividade de (4.4 Mg ha⁻¹) e (5.9 Mg ha⁻¹), respectivamente, demonstrando um incremento de (1.4 Mg ha⁻¹) (Tabela 3).

Esse aumento de produtividade de massa do nabo é justificado pelo fato do nitrogênio proporcionar aumento da massa foliar na cultura, passando 130,5 g/m² para 137,1 g/m² quando a cultura foi submetida a doses de 0 e 15 kg há⁻¹, respectivamente Pedó et al., (2014), proporcionando aumento no índice de área foliar e uma maior cobertura da área de solo Pisco & Arena (2006), causando melhoras quantitativas na eficiência líquida de fotoassimilados Pedó

et al., (2014). De forma similar, o mesmo é identificado na cultura da beterraba, quando a mesma é submetida a altas temperaturas e luminosidade (GRANGEIRO et al., 2007).

Para as avaliações de carbono orgânico e relação C/N foi verificado efeitos simples para os fatores de consórcio, proporção e épocas de coleta para a avaliação do carbono orgânico remanescente (Tabela 4). Também se verificou interação entre consórcio x proporções para a mesma avaliação. Já para a avaliação da Relação C/N, verificou-se efeito simples para os fatores de consórcios e épocas, e interação entre os efeitos de consórcio x proporções e proporções x épocas (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (p-valor) do Carbono orgânico e da Relação C/N. Frederico Westphalen – RS.

FV	G.L	Carbono orgânico	Relação C/N
Consórcios	2	0,001**	0,001**
Proporção	4	0,001**	0,06 ns
Épocas	5	0,001**	0,001**
Cons. x Prop.	8	0,001**	0,001**
Cons. x Época.	10	0,97 ns	0,23 ns
Prop. x Época	20	0,95 ns	0,001**
Cons. x Prop. x Époc.	40	1,0 ns	1,0 ns
Rep	3	0,001**	0,001*
Erro	267	----	----
Total	359	----	----
Média		2798	30,8
CV (%)		12,70	5,18

Se (P<0,01 = **), (P<0,05=*) e (ns = não significativo).

A quantidade de CO remanescente para os consórcios de A + N foi maior para as proporções onde continham as maiores quantidades de aveia preta na mistura, sendo as maiores médias obtidas na proporção 100/0 com 3.4 Mg ha⁻¹, não apresentando diferença significativa das proporções 75/25, 50/50, 25/75, onde foram obtidos 3.2, 3.0 e 2.9 Mg ha⁻¹, respectivamente. Ainda no mesmo consórcio, a pior média foi encontrada na proporção 0/100, onde a composição era o monocultivo de nabo, que proporcionou 1.7 Mg ha⁻¹ de CO, diferenciando das demais proporções (Tabela 5).

Para o consórcio de A+N+N não foi encontrado diferença significativa entre as proporções, porém novamente as proporções que continham aveia preta em suas combinações, apresentaram as maiores quantidades de CO, com valores de 3.4, 3.4, 2.7, 2.6 e 2.2 Mg há⁻¹ para as proporções de 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100, respectivamente, sendo o melhor

tratamento o monocultivo de aveia preta e os piores tratamentos aqueles com monocultivo de nabo (Tabela 5).

Logo, para o consórcio de A+E foram encontradas diferenças significativas entre as proporções, onde novamente as proporções que continham em sua mistura a aveia preta, apresentaram as maiores quantidades de CO remanescente, sendo os maiores resultados obtidos nas proporções 100/0, 75/25 e 25/75, com valores de 3.4, 3.0, 2.7 Mg ha⁻¹, respectivamente. Já, os piores resultados foram encontrados nas proporções de 50/50 e 0/100 com valores de 2.4 e 1.4 Mg ha⁻¹ onde o pior resultado foi para o monocultivo de ervilhaca. (Tabela 5).

Quando analisamos como cada proporção se comportou entre os consórcios, notamos que para as proporções de 100/0, 75/25 e 25/75 não houve diferença significativa para nem um dos consórcios, porém houve maiores quantidades de CO para alguns dos consórcios de acordo com a proporção, sendo assim a proporção de 100/0 apresentou de 3.4 Mg ha⁻¹ para o consórcio de A+N, a proporção 75/25 apresentou a melhor para o consórcio A+N+N com 3.4 Mg ha⁻¹ e a proporção 25/75 apresentou a melhor média para o consórcio A+N com 2.9 Mg ha⁻¹ (Tabela 5).

As proporções que apresentaram diferença significativa entre os consórcios foram 50/50 e 0/100, em que a proporção 50/50 apresentou os melhores resultados de CO para o consórcio A+N e A+N+N, com média de 3.0 e 2.7 Mg ha⁻¹, respectivamente, sendo o pior consórcio A+E com 2.4 Mg ha⁻¹. Já a proporção 0/100 obteve a melhor média para o consórcio de A+N+N com 2.2 Mg ha⁻¹, ficando os consórcios de A+N e A+E com 1.7 e 1.4 Mg ha⁻¹, respectivamente, sendo as piores médias para essa proporção (Tabela 5).

Os resultados mostram a importância do uso de gramíneas para a formação de palhada e para a manutenção dos teores de CO na superfície do solo. Rossi et al. (2013) quando trabalharam com braquiária e sorgo notaram que devido ao elevado tempo de meia vida, a palhada das gramíneas permaneceu por um período maior na superfície do solo e assim contribuindo para o aumento dos teores de carbono. Porém o mesmo não foi identificado com a cultura da soja em mistura com braquiária, onde o material apresentou um tempo de meia vida menor, proporcionando uma menor quantidade de palha e carbono na superfície.

Um dos principais fatores que proporcionou a diminuição do CO (Tabela 5) entre as proporções é devido a diminuição da produção de massa entre os tratamentos (Tabela 3) e isso ocorre devido aos resíduos culturais serem constituídos de CO, logo quanto menor a produção de resíduos culturais, menor será o residual de CO no solo (PULROLNIK, 2009).

A material orgânico proporciona acúmulo do CO em sua constituição, retirando esse elemento da atmosfera e incorporando ao solo, porém quando esse elemento é decomposto pela biota do solo, acaba por volta para a atmosfera em forma de CO₂ (ALVARENGA, et al., 2006).

No início das avaliações das épocas os materiais compostos com maiores quantidades de ervilha ou nabo como é o caso das proporções 25/75 e 0/100 apresentavam altas quantidades de folha, porém já nos primeiros 30 dias de avaliações as partes foliares já tinham sido quase todas decompostas e sobrando então apenas os materiais com maiores relações C/N como talo de folhas e haste principal. Essa rápida decomposição proporcionou uma menor quantidade de material vegetal para a avaliação do CO remanescente e isso favoreceu a diminuição desse composto nos resíduos coletados para essas proporções citadas.

Os maiores teores de lignina nos materiais que continham aveia preta favoreceram uma decomposição mais lenta e com isso uma permanência mais prolongada dos resíduos vegetais aportados na superfície do solo, logo essa permanência de material proporcionou uma maior quantidade de carbono para esses tratamentos (Tabela 5) (AULAKH et al., 1991; MARY et al., 1996; HEINRICHS et al., 2001).

Tabela 5 – Valores de Carbono orgânico em Mg ha⁻¹ e Relação C/N obtidos a partir da massa remanescente das plantas de cobertura de acordo com as proporções dentro de cada consórcio, Frederico Westphalen - RS.

Consórcio	Proporções					Média
	100/0	75/25	50/50	25/75	0/100	
Carbono orgânico (Mg ha⁻¹)						
A+N	3,4 Aa	3,2 Aa	3,0 Aa	2,9 Aa	1,7 Bb	2,8
A+N+N	3,4 Aa	3,4 Aa	2,7 Ab	2,6 Ab	2,2 Ac	2,9
A+E	3,4 Aa	3,0 Aa	2,4 Bb	2,7 Ab	1,4 Bc	2,6
Médias	3,4	3,2	2,7	2,7	1,8	
CV (%)	12,70					
Relação C/N						
A+N	31,9 Ab	31,0 Ab	34,4 Ab	33,6 Ab	38,1 Aa	33,8
A+N+N	28,7 Bc	32,3 Ab	27,2 Bc	30,4 Ac	37,1 Aa	31,1
A+E	31,9 Aa	29,9 Aa	26,5 Bb	26,6 Bb	22,1 Bc	27,4
Médias	30,8	31,1	29,4	30,2	32,4	
CV (%)	5,18					

A+N = Aveia + Nabo, A+N+N= Aveia + Nabo + Nitrogênio e A+E = Aveia + Ervilhaca. Letras maiúsculas idênticas não diferem entre proporções para cada consórcio de plantas, e letras minúsculas idênticas não diferem entre consórcios para cada proporção de plantas, ambos pelo teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro.

Para os valores da relação C/N para o consórcio de A+N, houve diferença significativa entre as proporções, ficando a proporção 0\100 com 38,1, sendo o maior valor de relação C/N entre essas proporções. Já, as demais proporções não apresentaram diferença significativa entre

si, ficando com valores de 31,9, 31,0, 34,4 e 33,6 para as proporções de 100\0, 75\25, 50\50 e 25\75, respectivamente. Para o consórcio de A+N+N também ocorreu diferença significativa entre as proporções, ficando o maior valores de relação C\N novamente para a proporção de 0\100 com 37,1, seguido da proporção 75\25 que apresentou valor intermediário e ficando as proporções de 100\0, 50\50 e 25\75 com 28,7, 27,2 e 30,4, respectivamente, sendo os menores valores de relação C\N para esse consórcio (Tabela 5).

Para o consórcio de A+E também foi observado diferenças significativas entre as proporções, onde os maiores resultados foram obtidos nas proporções de 100\0 e 75\25 com valores de 31,9 e 29,9, respectivamente. Já os valores intermediários de relação C\N ficaram para as proporções de 50\50, 25\75, com valores de 26,5, 26,6. O menor valor de relação C\N ficou para a proporção de 0\100 com média de 22,1 (Tabela 5).

Quando analisado como cada proporção se comportou entre os consórcios, é possível observar que apenas a proporção 75\25 não apresentou diferença significativa entre os consórcios. Logo, para a proporção 0\100 a maior relação C\N foi observada no consórcio de A+E, apresentando uma relação de 31,9, não diferenciando do consórcio A+N, porém diferenciando significativamente do consórcio A+N+N com valor média de 28,7. Já a proporção 50\50 apresentou o maior valor da relação C\N para o consórcio A+N com média de 34,4, diferenciando significativamente dos demais consórcios, ficando o consorcio de A+N+N e A+E com médias de 27,2 e 26,5, respectivamente, não diferenciando entre si (Tabela 5).

A proporção 25\75 apresentou a maior média para o consórcio A+N, não apresentando diferença significativa para o consórcio A+N+N e ambos apresentando diferença significativa do consórcio de A+E, ficando com as médias de 33,6, 30,4 e 26,6, respectivamente. Para a proporção 0\100 foi observado o mesmo comportamento visto na proporção 25\75, porém apresentando valores médias de 38,1, 37,1 e 22,1 para as proporções de A+N, A+N+N e A+E, respectivamente (Tabela 5).

Como pode-se notar, os resultados da relação C\N foram menor principalmente nos tratamentos onde ocorreram as combinações de misturas com ervilhaca ou nabo, ou ambos solteiros em combinação com o consórcio de A+N+N, resultados esses que vem ao encontro dos encontrados por Giacomini, (2004), onde combinações com ervilhaca apresentaram valor 36,6 de relação C\N, sendo considerados pelo autor, como valores intermediários, visto que a cultura da ervilhaca solteira apresentou valores de 14,1 de relação C\N.

A influência da aveia na relação C\N dos consórcios com ervilhaca já foi demonstrado por Heinrichs et al. (2001), onde os autores observaram um aumento de 18,2 com 10% de aveia para 27,2, quando a proporção de aveia teve um aumento para 75%. Nesse sentido valores da

relação C/N tem sido uma característica para prever a disponibilidade de N para o solo, principalmente durante a decomposição do material orgânico remanescente (Nicolardot et al., 2001). Culturas como a aveia preta, que apresenta uma maior relação C/N, teores de celulose, lignina, polifenóis e hemicelulose apresentaram uma decomposição mais lenta da massa seca da parte aérea, favorecendo a cobertura do solo por um período mais prolongado (SANTOS et al., 2009).

Já o nabo solteiro apresentou uma alta relação C/N quando cultivado solteiro, resultado esse que não era esperado, devido a cultura apresentar normalmente uma relação C/N intermediária. A explicação para isso é que como o experimento teve 150 dias de avaliações, o nabo perdeu grande parte do nitrogênio já nos primeiros 60 dias, favorecendo um aumento na relação C/N. Como descrito por Heinz et al., (2011) já nos períodos iniciais a cultura apresenta uma liberação inicial rápida dos nutrientes, principalmente o N, sendo que já nos primeiros 15 dias de avaliações o nabo tinha liberado cerca de 30% do total do N reciclado pela cultura, chegando a 60% aos 30 dias. CRUSCIOL et al., (2005), também identificaram o mesmo comportamento na cultura do nabo, onde avaliando a decomposição e a liberação de macronutrientes identificaram uma alta taxa de liberação de N nos primeiros dias após o manejo da massa seca da parte aérea da cultura, chegando a liberar 65% do total de N acumulado, já nos primeiros 35 dias de avaliações.

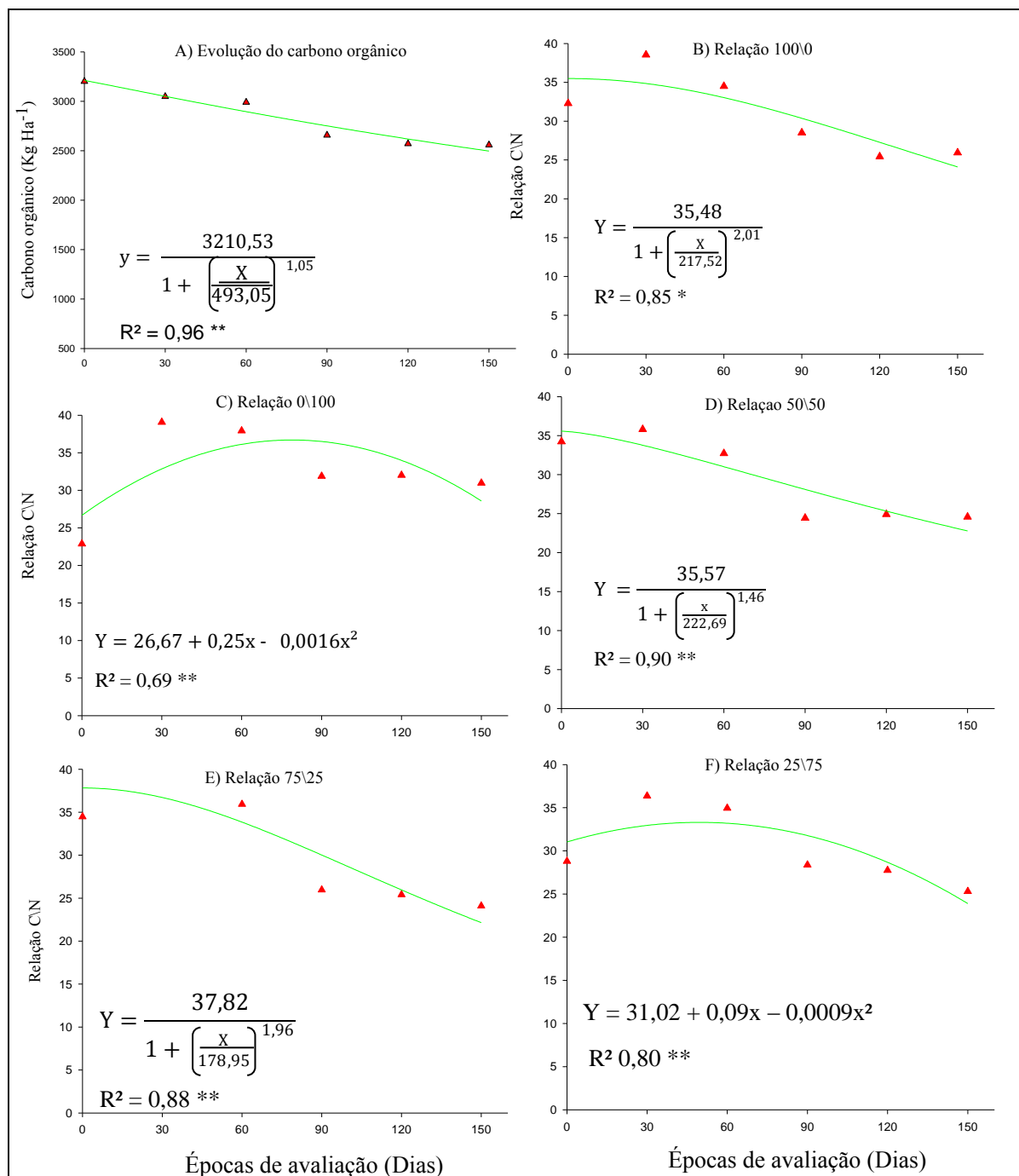
Como apresentado na (Figura 2) a relação C/N ocorreu de forma diferentes para cada proporção de plantas, demonstrando que a composição influenciou a relação entre carbono e nitrogênio no processo de decomposição (ACOSTA, 2014).

A relação C/N nas letras (B e D) na (Figura 2) apresentam uma evolução diferente das observadas nas letras (A, C, E), que para as letras (B e D) onde houve um ponto inicial mais baixo para a relação C/N, seguido de um aumento dessa relação, e por último novamente uma diminuição da C/N, formando então uma curva de modelo quadrático. Esse fato é explicado devido haver inicialmente uma maior quantidade de N no material vegetal, proporcionando então uma menor relação C/N. O N é um nutriente que lixivia ou mineraliza rapidamente quando o material vegetal inicia o processo de decomposição (TORRES, 2014). Logo, devido ao fato de ocorrer essa perda de N, o material vegetal remanescente irá apresentar uma maior relação C/N.

Após a perda do N a relação C/N tende a aumentar e de acordo com que a decomposição dos resíduos remanescentes vão se decompondo, esse material vegetal vai perdendo os compostos de C e N e diminuindo assim os seus teores em sua concentração.

Essa diminuição dos teores de carbono orgânico é devido a decomposição pela atividade biológica do solo no período de avaliação do experimento. Outros fatores que proporcionam uma maior decomposição dos resíduos é a região tropical onde se encontra o experimento e também os índices pluviométricos (Figura 2A) (SILVA & MACHADO, 2000).

Figura 2 – Degradação do carbono orgânico (A) e efeitos das proporções de plantas de cobertura e a influência da composição do resíduo remanescente na relação C\N no decorrer de 150 dias de avaliações (B, C, D, E e F). Frederico Westphalen – RS.



Já para o comportamento das relações C\N, houve diferença significativa entre todas as proporções x épocas, (Tabela 4).

Para todas as concentrações de plantas que foram realizadas a avaliação da relação C\N, houve um aumento da mesma nos períodos iniciais das avaliações, seguido da diminuição dessa relação C\N a partir de 30 dias para as (Figuras 2B, 2C, 2D e 2F) e a partir dos 60 dias para a (Figura 2E) Esse efeito de aumento da relação C\N nos primeiros dias foi descrito por Acosta (2014); Heinrichs, et al., (2001), onde um dos principais efeitos para o aumento dessa relação é devido aos restos vegetais liberarem N para o ambiente e para as plantas, por meio da mineralização devido a ação dos microrganismos presentes no solo. Geralmente resíduos vegetais com relação C\N menor que 25 proporcionam maiores efeitos de mineralização do N no solo, por outro lado relações C\N maiores que 25 causam a imobilização do N no solo, sendo os valores ideais para a relação C\N em torno de 25 (AITA 1997; CALVO, et al., 2010).

Essa diminuição da relação C\N após os 30 dias para alguns tratamentos e após os 60 para outros é explicado devido as proporções de A+E, A+N ou ervilhaca e nabo solteiros e o manejo que foi realizado, visto que nessas épocas de avaliações a cultura do feijão já estava presente na área, onde os seus devidos tratos culturais como principalmente a aplicação de N já estava sendo realizada na cultura. Outro efeito que pode ter contribuído para o aumento dos teores de N e consequentemente a diminuição da relação C\N no material foi os resíduos de folhas e restos culturais do feijão, que ficou na superfície do solo no desenvolvimento da cultura e também após a colheita.

As folhas do feijoeiro apresentam as menores relações de C\N comparado com as outras partes da planta, chegando a proporcionar 21,3 kg há⁻¹ de N ao solo, quando em estado de senescência, favorecendo a decomposição e disponibilização de N, P e K para o ambiente (CHAGAS, et al. 2007). O resíduo do feijão proporcionou uma manutenção principalmente do N no solo e fez com que a relação C\N do material que estava sendo avaliada a decomposição mantivesse os teores baixos para relação C\N. E esse resultado foi mais significativo devido ao fato de ter ocorrido a diminuição dos teores de carbono orgânico (Figura 2A), auxiliando na diminuição da relação C\N.

2.6 CONCLUSÃO

A aveia preta foi a cultura que mais proporcionou a maior produção de massa seca da parte aérea, demonstrando a importância das gramíneas presentes nos consórcios.

Para os fatores relacionados com carbono seguiram uma tendência de acordo com a produção de massa, demonstrando a importância da MS nos valores de carbono.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A. P. Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG, 2006, p. 356

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. DALMOLIN, R.S.D. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Depto de Solos/UFSM, p.76-111, 1997.

AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003.

ACOSTA, J. A. A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.5, p.801-809, mai, 2014.

AULAKH, M.S.; DORAN, J.W.; WALTERS, D.T.; MOSIER, A.R. & FRANCIS, D.D. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 55:1020-1025, 1991.

BARRADAS, C. A. A. Uso de adubação verde. Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. 10, 2010.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 897–903, 2014.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

CALVO, C. L. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivo e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.

DA SILVA FILHO, J. L.; BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B. Dry matter decomposition of cover crops in a no-tillage cotton system . **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 264–270, 2018.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1714-1723. 2012.

DEVIDE, A.C.P. & CASTRO, C.M. Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica. 2009.

ESPÍNDOLA, J.A.A. et al. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. **Seropédica: Embrapa-Agrobiologia**, p.20, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, p.353, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.

FLECK, N. G. et al. Associação de características de planta em cultivaes de aveia com habilidade competitiva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 211-220, 2009.

GRANGEIRO, L. C. et al. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 267-273, 2007.

GIACOMINI, S. J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, 2004.

HEINZ, R. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1549-1555, set, 2011.

HEINRICH, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade de milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 25:331-340

HOFFMAN, M.L. & BUHLER, D.D. Utilizing *Sorghum* as a functional model of crop-weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. **Weed Science**, Lawrence, v.50, n.4, p.466-472, 2002.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVA, P. M. DA. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico 1. v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

LANDRISCINI, M. R. et al. Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. **Applied Soil Ecology**, v. 133, n. October 2018, p. 124-131, 2019.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant Soil**, 181:71-82, 1996.

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S. & MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant Soil**, 228:83-103, 2001.

PISCO, R. R. & ARENAS, M. I. P. Evaluacion del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de águas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 59, n. 2, p. 3543-3556, 2006.

PEDÓ, T. et al., Análise de crescimento de plantas de rabanete submetidas a doses de adubação nitrogenada. **Bioscience. Journal.**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 1-7, Jan./Feb. 2014.

PANTONE, D.J. & BAKER, J.B. Reciprocal yield analysis of red rice (*Oryza sativa*) competition in cultivated rice. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.1, p.42-47, 1991.

PEREIRA, A. P. et al. de verão Nutrient cycling in summer cover crops. v. 40, n. 4, p. 799–807, 2017.

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. – Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2009. 36 p 264. Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111.

RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO, A. E.; PORTELA, S. I. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. **Field Crops Research**, v. 128, p. 62–70, 2012.

ROSSI, C. Q. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, jul./ago. 2013.

SILVA, P. R. F. DA et al. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011–1020, 2006.

SILVA, E. F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p. 1321-1331, out/2011.

SANTI, A.; AMADO, T.J.C.; ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta: influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1075-1083, 2003.

SILVA, J. A. N. et al. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão - manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.769-775, jun. 2012.

SILVA, C.A. & MACHADO, P.L.O.A. Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, p.23, 2000.

SANTOS, R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de duas espécies de adubos verdes manejados no período seco em cafezal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.1342-1345, 2009.

SILVA, T. O. Et al. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

TORRES, J. L. R. Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num latossolo no cerrado mineira. **Comunicata Scientiar**, Bom Jesus, v.5, n.4, p.419-426, Out/Dez. 2014.

TEDESCO, M.J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 174, 1995.

3 ARTIGO II - DESEMPENHO DA AVEIA, NABO E ERVILHACA NA CONTRIBUIÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM SISTEMA SOLTEIRO E CONSORCIADO

3.1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de nitrogênio, fósforo e potássio ao longo do tempo de decomposição das culturas de aveia preta (*avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e ervilhaca (*vicia sativa* L.). O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* de Frederico Westphalen, no ano agrícola de 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, arranjados em esquema bi-fatorial no primeiro momento da instalação do experimento, passando para tri-fatorial quando os resíduos vegetais foram submetidos a avaliação da decomposição. Sendo fator A consórcios, fator B proporções e o fator C épocas, sendo seis épocas de avaliação. As principais culturas foram o nabo (*Raphanus sativus* L.), a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), essas que foram semeadas em diferentes proporções de plantas, sendo 100/0 (monocultivo de aveia preta), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (monocultivo de nabo ou ervilhaca). Ainda, nas associações de aveia preta e nabo foi testada a fertilização com nitrogênio com 0 e 70 kg ha⁻¹ de N. Para os valores de N e P, as melhores proporções foram aquelas que mantiveram o nutriente por mais tempo no material vegetal remanescente, sendo aqueles tratamentos que continham as maiores quantidades de aveia preta na composição. Para o K, houve interação entre os tratamentos, demonstrando que de acordo com o consórcio e com a proporção das culturas, houve mudanças no comportamento do nutriente no solo, principalmente na velocidade de liberação do nutriente, que nos tratamentos que continha uma maior proporção de aveia preta, essa liberação foi mais lenta. Conclui-se que houve um comportamento diferente para cada nutriente e a sua liberação para o ambiente, de acordo com as culturas testadas.

Palavras-chave: plantas de cobertura, nitrogênio, fósforo, potássio.

3.2 ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the availability of nitrogen, phosphorus and potassium over the decomposition time of black oat (*avena strigosa*), forage turnip (*Raphanus sativus* L.) and vet (*vicia sativa* L.) crops. The study was carried out in the experimental area of the Federal University of Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen campus, in the 2018 agricultural year. of the experiment, becoming tri-factorial when the plant residues were subjected to decomposition evaluation. Being factor A consortia, factor B proportions and factor C seasons, being six evaluation seasons. The main crops were turnip (*Raphanus sativus* L.), black oats (*Avena strigosa* Schieb) and vetches (*Vicia sativa* L.), which were sown in different plant proportions, being 100/0 (black oat monoculture) 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 (turnip or vet monoculture). Also, in the associations of black oat and turnip were fertilization with nitrogen with 0 and 70 kg ha⁻¹ of N. For the values of N and P, the best proportions were those that kept the nutrient longer in the remaining plant material, being those treatments that contained the largest amounts of black oats in the composition. For K, there was interaction between treatments, demonstrating that according to the intercropping and the proportion of the

crops, there were changes in the nutrient behavior in the soil, especially in the nutrient release rate, than in the treatments containing a higher proportion of nutrients. black oats, this release was slower. It was concluded that there was a different behavior for each nutrient and its release to the environment, according to the cultures tested.

Key words: C/N ratio. green manure. crop residues.

3.3 INTRODUÇÃO

As plantas de cobertura proporcionam alguns benefícios que podem ser essenciais nas áreas manejadas em sistema de plantio direto, como a ciclagem e fixação de nutrientes e o acúmulo do mesmo na superfície do solo e com isso reduzindo a demanda com fertilizantes (TIECHER, 2017). Como exemplo de culturas que necessitam de uma alta quantidade de nutrientes como nitrogênio (N) fósforo (P) e potássio (K) pode-se listar as culturas da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), do milho (*Zea mays* L.) e do trigo (*Triticum aestivum* L.) Arunakumara, et al., (2013), demanda que pode ser diminuída quando utilizado plantas de cobertura que proporcionem um aporte desses nutrientes as culturas subsequentes.

O uso de plantas de cobertura surgiu concomitante ao sistema plantio direto (SPD), e os benefícios desse manejo são inegáveis, visto que o SPD não utiliza do revolvimento do solo, podendo, ao longo do tempo causar uma compactação em superficial e assim dificultando o desenvolvimento radicular Franchini et al., (2017), absorção de água e nutrientes como (N), (P) e (K). (NUNES, et al., 2015; HARGREAVES, et al 2019).

Logo, em cenários onde não se busca o revolvimento mínimo do solo, as plantas de cobertura desempenham um papel importante, pois irão estimular a atividade microbiana do solo Mbutia et al., (2015), favorecer a ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica Conceição et al., (2013), melhoria das qualidades físicas e diminuição dos efeitos da compactação (CALONEGO et al., 2017).

Em áreas que se busca um manejo conservacionista com o uso de plantas de cobertura como aveia preta (AP) (*Avena strigosa*), Ervilhaca (E) (*Vicia sativa* L.) e nabo forrageiro (NF) (*Raphanus sativus* L.) deve-se buscar pela adição de elevadas quantidades de resíduos vegetais, com o objetivo de compensar a rápida decomposição e assim manter a superfície do solo protegida por um maior período de tempo.

Essas culturas são responsáveis pela disponibilização de nutrientes na superfície do solo, como também a proteção do mesmo. Como disponibilização de nutrientes, podemos citar a ervilhaca e o nabo forrageiro, ambas culturas que irão fornecer N para o ambiente, sendo pela

forma de fixação biológica como é o caso da ervilhaca ou pela ciclagem desse nutriente, como é o caso do nabo forrageiro Heinrichs et al. (2001), esse último sendo também muito eficiente na ciclagem de K Pereira, (2009) e P Kunze et al. (2011).

Como proteção do solo, ambas as culturas são eficientes, porém a aveia preta, por apresentar uma decomposição mais lenta, irá proporcionar uma cobertura por um período maior de tempo, dificultando o desenvolvimento de plantas invasoras Buchi, et al. (2019) e também a perda de solo por lixiviação (CARDOSO, et al., 2012).

De fato, a produtividade da maioria das culturas vegetais está diretamente relacionada com a disponibilidade de fertilizantes, produtividade que irá aumentar linearmente com a quantidade de nutriente disponibilizado (TAIZ, et al. 2017). Cada nutriente desenvolve uma ou várias funções dentro da planta, onde a sua deficiência poderá causar danos, tendo como principal efeito a diminuição da produtividade (BARBEDO, 2019). Sendo assim, o N é importante na produção de clorofila, aminoácidos e ácidos nucléicos e sua deficiência irá causar uma inibição do crescimento vegetal. Por outro lado, o P é um componente fundamental para a respiração celular e para a fotossíntese, atuando como açúcares fosfato, servindo como componente energético no metabolismo da planta (como ATP). Já o K atua na regulação do potencial osmótico das células como também a ativação de enzimas responsáveis pela fotossíntese. (TAIZ, et al. 2017).

O trabalho teve por objetivo avaliar a disponibilidade de N, P e K ao longo de 150 dias de decomposição dos resíduos culturais de aveia preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização do local

O trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2018 e 2019, no período de Abril de 2018 a Abril de 2019 na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* de Frederico Westphalen – RS em uma área situada entre as coordenadas geográficas de 27° 23' 53.0" de latitude sul e 53° 25' 34.0" de longitude oeste, na altitude de 484 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2013), com as seguintes características químicas descritas na (Tabela 1), coletadas na camada de 0,20 m.

O clima da região é classificado como Cfa ou subtropical úmido com verão quente,

tendo como temperatura e precipitação média anual em torno de 19,2 °C e 1.880 mm respectivamente, segundo Köppen-Geiger. Os dados de precipitação e temperatura foram registrados para subsidiar a interpretação dos resultados (Figura 1).

Tabela 1 – Propriedades químicas da amostra de solo coletada na camada de 0,20 m. Frederico Westphalen, RS. 2019.

Argila	pH água	SMP	M.O (%)	P	K	Ca	Mg	Al	Al + H	CTC		saturação	
				..mg/dm ⁻³cmolc/L.....	Efetiva	pH 7.0	Bases	Al				
70	5.7	5.9	2.3	4,7	72	5.9	2.7	0.1	4.9	8.7	13.5	63.8	1.1

M.O = Matéria orgânica; CTC = Capacidade de Troca de Cátions

3.4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições e quatorze tratamentos, arranjos em esquema bi-fatorial no primeiro momento da instalação do experimento, onde os fatores principais eram fator A consórcios e o fator B proporções. Para o fator A foram definidos três consórcios, sendo eles: aveia preta + nabo (A + N), aveia preta + nabo + nitrogênio (A + N + N) e aveia preta + ervilhaca (A + E). A fonte de N utilizada foi a ureia com 46 % de N, sendo colocado 70 kg ha⁻¹ de N.

Já para o fator B, foram definidas cinco proporções de semeadura, sendo elas: 100/0 (monocultivo de veia preta), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100 (monocultivo de nabo ou ervilhaca). Para o segundo momento do experimento foi adicionado o fator C, sendo esse as épocas de avaliação do residual de material vegetal produzido na área do experimento. Esse último fator foi avaliado em seis momentos, sendo a 0 dias o ponto inicial, seguido de avaliações a cada trinta dias, sendo realizado aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o material vegetal ir para o campo. As unidades experimentais mediam 3 x 3 m.

Para implantação do experimento a área foi gradeada 35 dias antes da semeadura (DAS), e realizado o manejo de plantas daninhas com a aplicação de glyphosate (1920 g e.a. ha⁻¹) aos 39 (20/04/18) e 7 (22/05/18) DAS. As aplicações de herbicidas foram realizadas com pulverizador elétrico calibrado com volume de calda de 150 L ha⁻¹, sendo aplicado com barra de 4 pontas (11002) espaçadas 0,5 m. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada a lança e incorporada com uma grade leve, apenas para o recobrimento das sementes. A densidade de semente de aveia-preta, nabo e ervilhaca foi 435, 33 e 170 sementes m⁻², respectivamente, a qual estabeleceu-se 261, 30 e 136 plantas m⁻² referente aos monocultivo.

Aos 100 DAS as plantas foram manejadas com aplicação de glyphosate (1920g e.a. ha⁻¹) e aos 115 DAS foi realizada a coleta da massa seca com auxílio de um gabarito (0,3125 m²) lançado aleatoriamente na parcela. As plantas coletadas foram armazenadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C, até atingirem massa constante. Em seguida foi feita a pesagem do material em balança de precisão para determinação da matéria seca.

3.4.3 Avaliações efetuadas

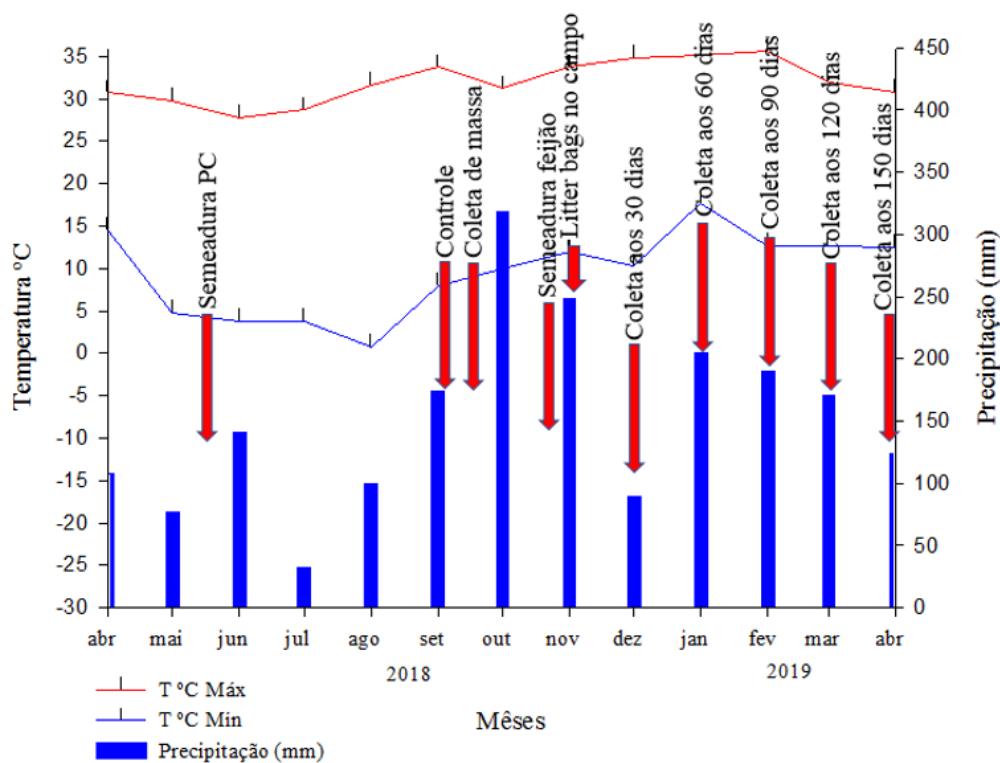
Para a avaliação dos resíduos de N, P e K no material vegetal remanescente, foi utilizada a metodologia de sacos de polietileno “*litter bags*” de (0,25 x 0,23), com aberturas de 2 mm, seguindo a metodologia proposta por DA SILVA FILHO, 2018. As aberturas têm o objetivo de permitir a entrada e saída de microrganismos e invertebrados e facilitar a ação dos fatores climáticos, como chuvas e insolação.

A quantidade de palhada que foi colocada dentro de cada *litter bags* foi proporcional a quantidade de massa seca (MS) produzida por hectare, das respectivas coberturas (KLIEMANN; 2006).

O material vegetal que foi coletado para fazer as avaliações de decomposição foi reduzido ao tamanho de 4 cm para facilitar o manejo e homogeneizar a amostra e em seguida foi colocado dentro dos *litter bags* e posteriormente foram levados para o campo, onde na área já estava implantada a cultura do feijoeiro. Cada parcela recebeu 5 bolsas aleatórias, totalizando 300 *litter bags* em todo o experimento.

A avaliação do residual das culturas foi realizada de acordo com o tempo, realizando-se cinco coletas (um *litter bags*/coleta/parcela) aos 30, 60, 90, 120, 150 dias após a instalação do material nas parcelas. Após cada período de amostragem, os materiais vegetais foram retirados do campo e lavados sem a utilização de detergentes com o objetivo de retirar o solo alguns materiais indesejados e em seguida submetidos a secagem em estufa a 45 °C com circulação de ar, até a obtenção de massa constante. Para a determinação da quantidade de N, P e K seguiu-se a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

Figura 1 – Dados de temperatura máxima – T °C Máx, temperatura mínima – T °C Mín e precipitação (mm) obtidos da estação meteorológica do INMET e tempo cronológico das principais avaliações (2018/19) – Frederico Westphalen, RS.



3.4.4 Análise estatística

Antes de ser realizada a análise de variância, foi realizada a verificação ao atendimento dos pressupostos de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-wilk.

Os dados N, P e K por não atender aos pressupostos de normalidade, foram transformados em \sqrt{x} , \sqrt{x} e $(x + 0,5)^2$ respectivamente, e em seguida realizado novamente o teste de normalidade dos dados, para depois serem submetidos à análise de variância em modelo tri-fatorial, sendo analisado os fatores de consórcios, proporções e épocas. Na análise complementar, as médias de consórcios e proporções foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro e as épocas foram analisadas ajustando-se um modelo de regressão.

Para a realização das análises foi utilizado o *software* estatístico SISVAR Ferreira, (2011) e para a elaboração dos gráficos de regressão foi utilizado o *software* Sigma Plot 10.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta da análise estatística para as variáveis N, P e K estão representadas na Tabela 2. Sendo que todas as variáveis apresentaram diferença significativa, para os fatores de proporções e épocas. Para os valores de fósforo também foi encontrado diferença significativa para o fator (consórcio x proporção), demonstrando que pelo menos um consórcio apresentou diferença significativa quando alterada a proporção de sementes no tratamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância contendo os valores de (*p*-valor) das variáveis analisadas de nitrogênio, fósforo e potássio, com informações adicionais de média geral e coeficiente de variação (CV%). Frederico Westphalen - RS.

FV	G.L	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Consórcios	2	0,05ns	0,67ns	0,23 ns
Proporção	4	0,001**	0,001**	0,001**
Épocas	5	0,001**	0,001**	0,001**
Cons. x Prop.	8	0,15ns	0,28ns	0,005**
Cons. x Época.	10	0,96ns	0,98ns	0,9 ns
Prop. x Época	20	0,82ns	0,99ns	0,002**
Cons. x Prop. x Époc.	40	1,0ns	1,0ns	0,9 ns
Rep	3	0,001**	0,001**	0,001**
Erro	267	----	----	----
Total	359	----	----	----
Média		91	11,61	36,35
CV (%)		16,25	18,40	19,02

Se ($P < 0,01 = **$), ($P < 0,05 = *$) e (ns = não significativo).

As maiores quantidades de N foi ao longo do período de avaliações foram encontradas nas proporções que havia maior quantidade de aveia (Figura 2A). Esse resultado foi observado devido a aveia apresentar uma decomposição mais lenta de seus resíduos, fazendo com que as médias dos teores de N permanecessem mais altas ao longo dos períodos de avaliação, desta forma, os valores que foram submetidos à análise estatística eram mais altos, fazendo com que a média final dos tratamentos contendo aveia se destacasse dos demais e assim apresentando uma tendência de acordo com que as proporções de aveia diminuam em cada tratamento.

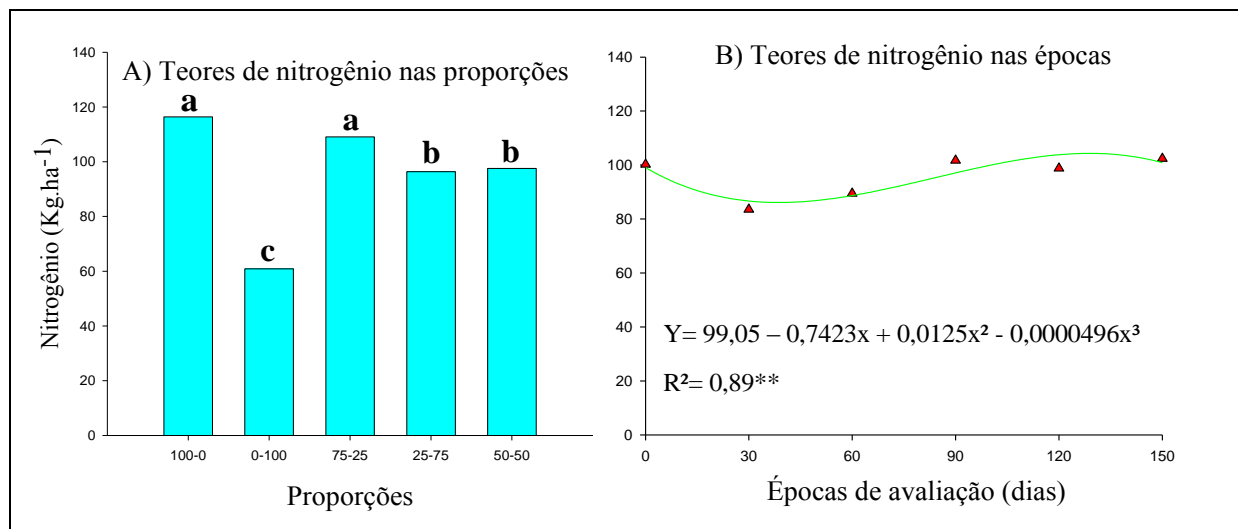
Outro fator que favoreceu para a manutenção do N foram os tratos culturais realizados na área, pois a mesma continha feijão entre o mês de novembro e fevereiro, data essa que coincidiu com grande parte do período de avaliação da liberação de nutrientes do experimento.

Na cultura do feijão foi realizada uma aplicação de N na forma de ureia, influenciando no incremento dos níveis de N após os 60 dias, como pode ser observado na Figura 2B

Porém, devido a alta taxa de decomposição, o nabo e a ervilhaca não conseguiram manter os níveis de N tão altos. É incontestável que os teores de N acumulados na massa dessas duas culturas sejam maiores que os teores de N da aveia, e devido a isso a relação C/N é menor e faz com que os resíduos se decomponham mais rapidamente e acelerando o processo de mineralizando desse nutriente no ambiente (DONEDA, et al. 2012). Como os teores de N se dissolveram já nos primeiros 60 dias, a partir dessa data os resíduos de N foram menores na massa remanecente dessas duas culturas, fazendo com que os valores submetidos na estatística apresentassem uma média final menor e assim demonstrando os menores teores de N para os resíduos de nabo e ervilhaca solteiros, essa decomposição acelerada em algumas culturas e mais lenta para outras foram diagnosticadas por Aita & Giacomini, (2003) (Figura 2A).

A confirmação desse resultado pode ser observada na Figura 2B, pois podemos notar que nos primeiros 50 dias ocorre uma diminuição nos valores de N para as épocas de avaliações, demonstrando que inicialmente os valores médios de N nos resíduos, tanto de aveia, como da ervilhaca e do nabo são altos, porém diminuem rapidamente devido a alta decomposição da ervilhaca e do nabo, resultados esses que concordam com resultados obtidos por Acosta, et al., (2014).

Figura 2 – Avaliação dos teores de nitrogênio nas diferentes proporções A) e nas diferentes épocas de avaliações B). Frederico Westphalen - RS.

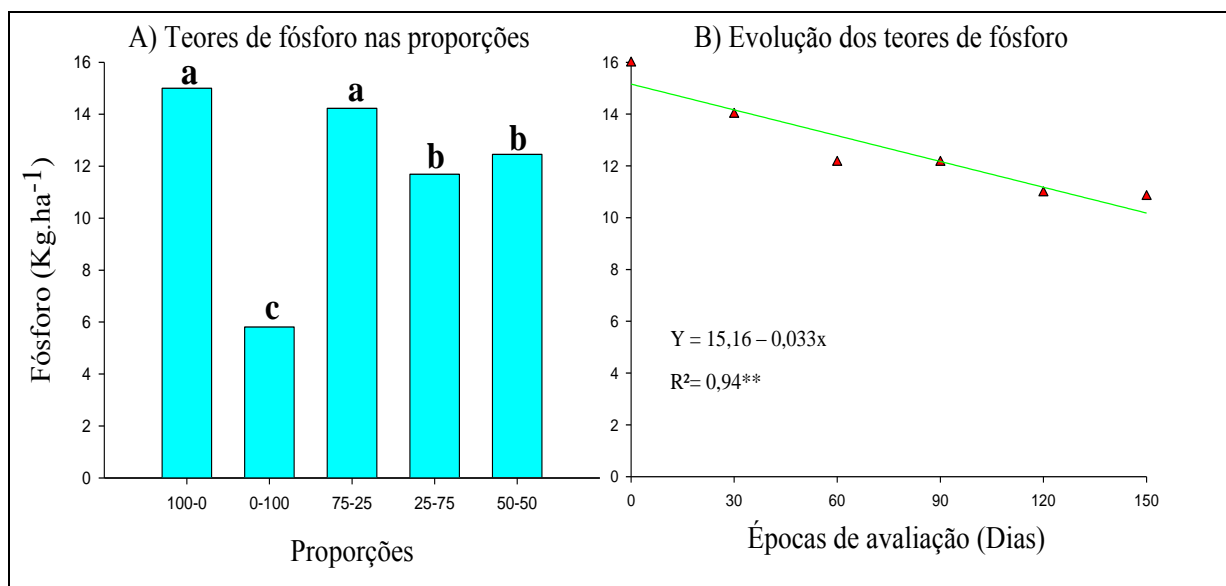


A decomposição do P (Figura 3A) demonstra as tendências similares as do N da (Figura 2A). Demonstrando que os tratamentos de monocultivo de ervilhaca ou nabo (0-100) foram os que apresentaram os menores teores de P devido a rápida decomposição e liberação para o ambiente. Essa elevada taxa de decomposição da ervilhaca e do nabo foi identificada por Da Ros, (1992), onde essas duas culturas ao final do primeiro mês de avaliação demonstraram uma decomposição de 43% da MS, contra 19% da MS da aveia.

A presença da aveia quando adicionada aos consórcios de ervilhaca ou de nabo proporcionou uma diminuição na velocidade de decomposição dos resíduos culturais em relação a ervilhaca e ao nabo solteiro (AITA & GIACOMINI, 2003). Com isso, os teores tanto de N como de P se mantiveram em patamares mais elevados ao observar os tratamentos que continham em sua composição maiores quantidades de aveia. Tais resultados, como comentado por Aita & Giacomini, (2003) podem ser atribuídos devido às alterações ocorridas na composição química da fitomassa dos consórcios em relação aos sistemas solteiros.

O aumento nas relações C/N da MS devido ao aumento na proporção de aveia também contribuíram para a diminuição da decomposição dos resíduos culturais em comparação com ervilhaca e o nabo solteiro. Essa redução induzida pelo aumento da aveia pode ser vista como uma vantagem do consórcio tanto de aveia e ervilhaca como de aveia e nabo, isso porque esses consórcios, como pode-se ver na Figura 2A e 3A irão proporcionar uma liberação gradual dos nutrientes como N, P, e também reservar uma maior quantidade de resíduos na superfície do solo, proporcionando proteção ao mesmo, diminuindo a incidência de plantas infestantes, incidências de efeitos erosivos a uma melhor manutenção da umidade do solo.

Figura 3 – Avaliação dos teores de fósforo nas diferentes proporções A) e nas diferentes épocas de avaliações B). Frederico Westphalen - RS.



Para os valores de K foram encontradas diferenças significativas para as interações entre consórcios e proporções e proporções e épocas (Tabela 2).

Para o consórcio de A+N, a proporção que apresentou o melhor resultados foi a 100/0, com 45 kg ha⁻¹, não apresentando diferença significativa dos consórcios 75/25 e 50/50 com valores de 41,34 e 44,81 kg ha⁻¹, respectivamente. Já a proporção 25/75 apresentou média intermediária entre os valores, proporcionando 36,98 kg ha⁻¹ de K para o sistema, logo as piores médias ficaram para a proporção de 0/100, apresentando um valor final de 20,68 kg ha⁻¹ (Tabela 3).

O consórcio A+N+N também apresentou a melhor média para a proporção 100\0 com 46,84 Kg Ha⁻¹, não diferenciando significativamente do tratamento 75/25 com 45,56 Kg Ha⁻¹. Logo, os piores valores de K para esse consórcio foram obtidos nas proporções de 50/50, 25/75, 0/100 com uma produção de 31,95, 32,07 e 31,19 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3).

Para o consórcio de A+E também foram observados os maiores valores de K para a proporção de 100/0, apresentando valor de 45,95 kg ha⁻¹, diferenciando significativamente dos demais. Os valores intermediários para esse consórcio ficaram para as proporções 75/25, 50/50 e 25/75 com valores de 41,10, 33,70 e 38,44 kg ha⁻¹, respectivamente. Já a pior média ficou para a proporção 0/100 com 18,24 kg ha⁻¹, diferenciando significativamente dos das demais proporções (Tabela 3).

Quando analisado como o K se comportou para cada proporção dentro dos consórcios, observa-se que para a proporção 100/0 não houve diferença significativa para os diferentes

consórcios, porém o maior residual de K foi observado para o consorcio A+N+N, com 46,84 kg ha⁻¹. O mesmo ocorreu para as proporções 75/25 e 25/75, onde os melhores resultados foram observados para o consórcio A+N+N e A+E, com residual de 45,56 e 38,44 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Para a proporção 50/50 foi observado diferença significativa entre os consórcios, onde o melhor resultado foi observado para A+N com um residual de 44,81 kg ha⁻¹. Já, para a proporção 0/100 o consorcio que apresentou o melhor residual de K foi A+N+N com 31,19 kg ha⁻¹, apresentando diferença significativa dos demais (Tabela 3).

Para as proporções 100/0, 75/25 e 25/75 não é observada a diferença significativa entre os consórcios, demonstrando que para essas combinações as diferentes culturas como o nabo, a ervilhaca e a adição de N não modificaram significativamente os teores de K nos resíduos. Esse resultado é justificado devido as culturas nas devidas proporções apresentarem uma boa eficiência no acúmulo de K, principalmente as proporções que continham aveia na mistura, demonstrando que as gramíneas tem grande influência no acúmulo de K (ESPINDOLA et al., 2006) (Tabela 3).

Já para as proporções 50/50 e 0/100 foram encontradas diferenças significativas entre os consórcios, onde na primeira situação o consórcio que continha em sua proporção apenas aveia e nabo os resultados se demonstraram superiores aos demais, mantendo os teores mais altos devido a menor decomposição, comparado aos tratamentos que continham a adição de nitrogênio ou a adição de ervilhaca no sistema. Outro fator que pode ter proporcionado uma maior quantidade de K no tratamento é a presença do nabo, pois se olharmos para o sistema com proporção de 0/100 nota-se que o melhor resultado obtido foi na proporção de nabo solteiro, comparado com a aveia e com a ervilhaca solteira. Isso demonstra que o nabo proporcionou um maior acúmulo de K nos sistemas. Essa característica de reciclar nutrientes em diferentes culturas utilizadas para adubação verde foi estudada por Calegari (1990) e na situação do estudo o nabo foi a cultura que mais se destacou na reciclagem de nutrientes como K, P, Ca e Mg (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores de potássio kg ha⁻¹ nos resíduos vegetais remanescentes das plantas de cobertura de acordo com as proporções dentro de cada consórcio. Frederico Westphalen - RS.

Consórcio	Potássio (K)					Média
	Proporções					
	100/0	75/25	50/50	25/75	0/100	
A+N	45,95 Aa	41,34 Aa	44,81 Aa	36,98 Ab	20,68 Bc	37,95
A+N+N	46,84 Aa	45,56 Aa	31,95 Bb	32,07 Ab	31,19 Ab	37,52
A+E	45,95 Aa	41,10 Ab	33,70 Bb	38,44 Ab	18,24 Bc	35,48
Médias	46,24	42,67	36,82	35,83	23,37	
CV (%)	5,12					

Letras maiúsculas idênticas não diferem entre proporções para cada consórcio de plantas, e letras minúsculas idênticas não diferem entre consórcios para cada proporção de plantas, ambos pelo teste de Scott-Knott com 5% de probabilidade de erro. Quadro A+N = Aveia + Nabo, A+N+N= Aveia + Nabo + Nitrogênio e A+E = Aveia + Ervilhaca. **T1** = 100 Aveia + 0 Nabo; **T2** = 0 Aveia + 100 Nabo; **T3** = 75 Aveia + 25 Nabo; **T4** = 25 Aveia + 75 Nabo; **T5** = 50 Aveia + 50 Nabo; **T6** = 100 Aveia + 0 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T7** = 0 Aveia + 100 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T8** = 75 Aveia + 25 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T9** = 25 Aveia + 75 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T10** = 50 Aveia + 50 Nabo + 75 Kg Nitrogênio; **T11** = 0 Aveia +100 Ervilhaca; **T12** = 75 Aveia + 25 Ervilhaca; **T13** = 25 Aveia + 75 Ervilhaca; **T14** = 50 Aveia + 50 Ervilhaca.

As curvas de liberação para os resíduos de K demonstraram diferença significativa tanto para as proporções como também para as épocas, apresentando interação entre as variáveis (Tabela 2). Em geral as épocas de avaliação tiveram uma tendência de diminuição dos resíduos de K na palhada das culturas no decorrer dos 150 dias.

As proporções onde continham uma menor quantidade de aveia e por consequência uma maior quantidade de ervilhaca ou nabo (Figura 2B e 2D) apresentaram uma diminuição mais acelerada dos resíduos de K na palhada remanescente. Pode-se notar que em ambas as figuras citadas, mais de 85% do K absorvido pela planta tinha sido liberado no ambiente já nos primeiros 30 dias, devido a rápida decomposição do material. Calonego et al., (2012) observaram que nas mais variadas espécies o K foi o elemento com maior liberação para o solo já nos primeiros 45 dias após o manejo das culturas. Segundo Spain & Salinas (1985), o aproveitamento do K proveniente dos restos culturais pode chegar a 100%, porém há grande possibilidade de ocorrer perdas por lixiviação em solos arenosos.

O K não é metabolizado na planta e forma complexos orgânicos que podem ser facilmente quebrados (ROSOLEM et al. 2003). Logo, a medida que a planta inicia o processo de decomposição a concentração desse nutriente no tecido começa a diminuir, pois é facilmente lavada da palha seca a medida que ocorre a chuva Khatounian, (1999), já que independente da mineralização dos resíduos orgânicos a chuva pode ser um fator importante na lixiviação do K nos restos vegetais Calonego et al. (2012). Klepker e Anghinoni (1995) constataram aumento

nos teores de K no solo, próximo a base das plantas de milho devido a lavagem do nutriente que estava retido na parte aérea no final do ciclo da cultura. Rosolem et al. (2003) quando submeteram restos culturais de espécies vegetais de plantas de cobertura e testaram diferentes quantidades de chuva, observaram que o K apresentou lixiviação de 7 a 24 Kg Ha⁻¹ antes mesmo de ocorrer decomposição da palhada.

Já Calonego et al. (2005) observaram que mais de 6% da quantidade de K acumulada na parte aérea de plantas de cobertura foi lixiviado da palhada com apenas 30 mm de chuva após 16 dias do manejo químico realizado no final do ciclo da cultura, mesmo sem ter ocorrido decomposição do material vegetal.

Quando adiciona-se culturas com uma relação C/N maior como as gramíneas, por exemplo, forçamos uma diminuição da taxa de decomposição do material vegetal presente na área, favorecendo com que a taxa de liberação de nutrientes seja mais lenta e proporcione liberação gradual dos nutrientes ao solo, diminuição que pode ser visualizadas na (Figura 4A, 4C e 4E) comparada as figuras (Figura 4B e 4D).

Houve uma liberação mais lenta do K quando predominou no tratamento a cultura da aveia, cultura essa que proporcionou liberação gradual de K até o último momento de avaliação, ou seja, aos 150 dias após o manejo, sendo essa liberação estabilizada a partir da terceira avaliação (90 dias). Na primeira avaliação (30 dias) após o manejo foi quantificada cerca de 35,5 % do total de nutriente acumulado pela cultura, seguida de 16,2% na segunda avaliação (60 dias) e estabilizando com 12,2% na terceira avaliação (90 dias) (Figura 4A).

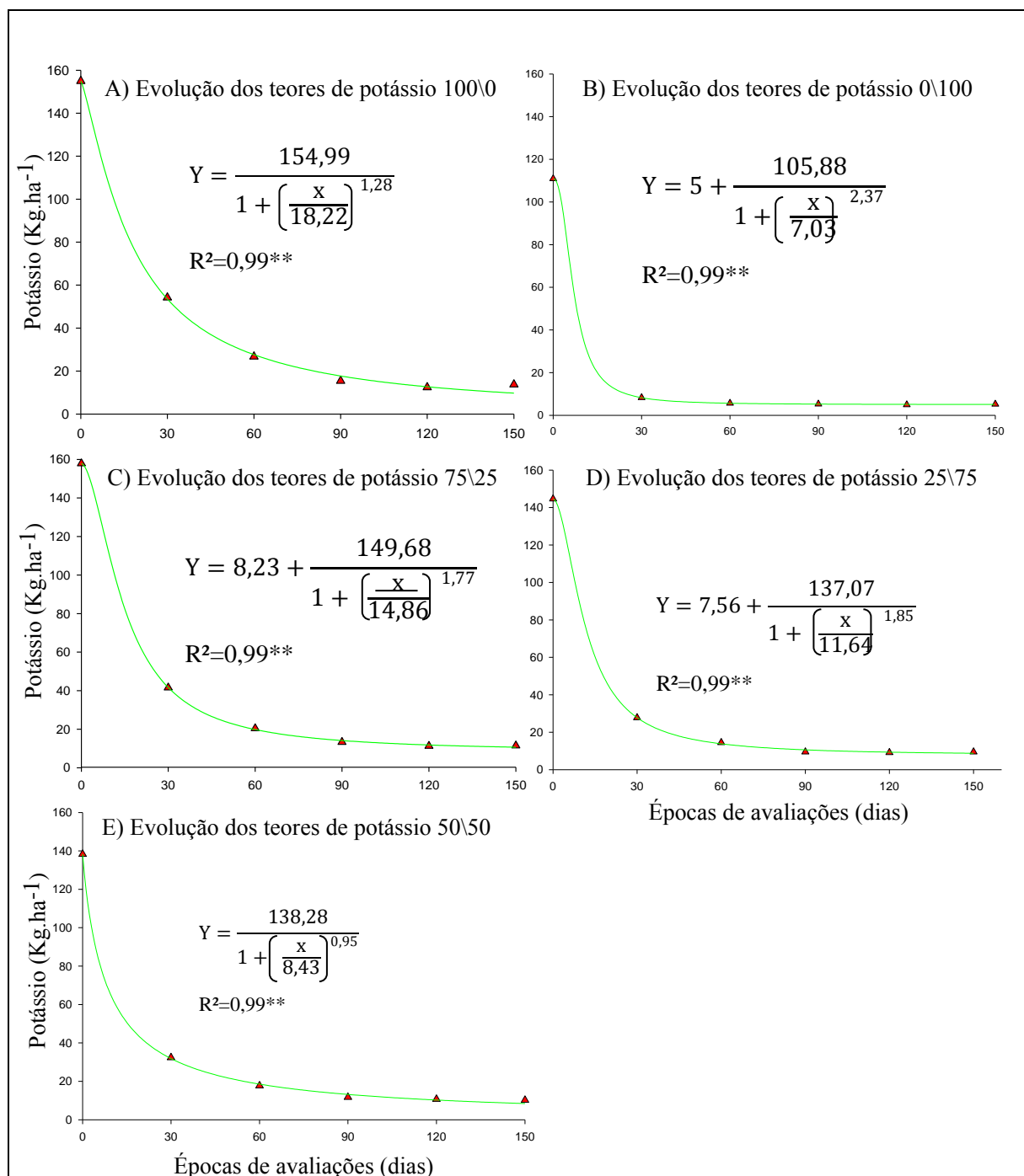
Essa liberação do K de uma forma mais constante como pode-se observar na (Figura 4A) já foi descrita por Heinrichs et al., (2001), onde os autores observaram uma diminuição ao adicionar proporções de aveia nos consórcios com leguminosas ocasionando aumento da relação C/N do resíduo da área e isso fez com que o material remanescente aumentasse seu tempo de permanência na superfície do solo. O aumento da relação C/N é uma das primeiras reações que o material vegetal demonstra quando misturado com resíduos de aveia, devido a mesma apresentar uma relação (C/N = 33,9) quando solteira Heinrichs et al. (2001).

Quando nivelada as proporções de 50% aveia + 50% de nabo ou ervilhaca (Figura 4E) houve uma liberação mais acelerada dos teores de K comparado com a (Figura 4A), onde já na primeira avaliação o material vegetal remanescente apresentou teores de 25% do nutriente total acumulado pela cultura, seguindo de 14,3% aos sessenta dias e estabilizando após os noventa dias com teores de 12,8% do nutriente acumulado. Para as proporções com 75% de aveia e 25 % de nabo ou ervilhaca (Figura 4C) os resultados dos teores de K nos resíduos culturais apresentaram valores muito parecidos com os da figura 4E, apresentando uma diferença apenas

nos teores iniciais de 160 kg.ha^{-1} comparado com o tratamento 50% aveia + 50 % de nabo ou ervilhaca (Figura 4E) que apresentou um valor de 140 kg.ha^{-1} .

Da Ros (1993) quando trabalhou com consórcio de aveia e ervilhaca, também notou um expressivo aumento da relação C/N e como consequência a diminuição da decomposição da palhada quando os consórcios apresentavam em sua composição resíduos de gramíneas.

Figura 4 – Curvas de liberação dos teores de potássio (A, B, C, D e E) em função das proporções de aveia, nabo e ervilhaca no decorrer dos dias de avaliações. Frederico Westphalen - RS.



Os resultados desse estudo evidenciam as diferentes concentrações de plantas de cobertura, podendo apresentar comportamento diferente para cada nutriente, mostrando que o N, P e K irão apresentar comportamentos diferentes um do outro, sendo essa variação justificada pelo resíduo remanecente que existir na área.

Como pode-se observar, as liberações dos nutrientes a partir dos resíduos vegetais tem um comportamento diferente, demonstrando que o seu comportamento no ambiente será

influenciado pelas culturas e proporções das mesmas, não apresentando similaridade entre os nutrientes.

3.6 CONCLUSÃO

A liberação dos nutrientes para o solo ou para o ambiente é influenciada principalmente pela relação C/N, relação essa que está inteiramente relacionada a composição da massa remanescente.

As misturas de aveia + ervilhaca ou aveia + nabo foram eficazes em promover a diminuição da velocidade de decomposição dos resíduos remanescentes e assim favorecendo com que os nutrientes contidos no material fossem liberados de forma mais gradual para o ambiente.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p. 801-809, mai, 2014.

AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.4, p.601 – 612, 2003.

ANTONIO AZEVEDO ESPINDOLA, J. et al. Decomposição E Liberação De Nutrientes Acumulados Em Leguminosas Herbáceas Perenes Consorciadas Com Bananeira (1) Seção Vi -Manejo E Conservação Do Solo E Da Água. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, n. 2, p. 7, 2006.

BUCHI, L. et al. Cover crops to secure weed control strategies in a maize crop with reduced tillage. **Field Crops Research**, July-2019.

BARBEDO, J. G. A. Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review, **Computers and Electronics in Agriculture**, v.162, p.482-492, May-2019.

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

CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná. Iapar, Londrina, 37 p. (Boletim Técnico 35) 1990.

CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.6, p.632–638, 2012.

CONCEIÇÃO, P. C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v.129, p.40-47, May-2013.

DA SILVA FILHO, J. L.; BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B. Dry matter decomposition of cover crops in a no-tillage cotton system . **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 264–270, 2018.

DA ROS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 85p. (Tese de Mestrado).

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, n.6, p. 1714 – 1723. 2012

FRANCHINI, J.C. et al. Nepomuceno **Root growth of soybean cultivars under different water availability conditions**. **Semina: Ciências Agrária**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 715-724, mar./abr. 2017.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.

HEINRICH, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade de milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 25:331-340.

HARGREAVES, P.R. Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. **European Journal of Agronomy**, v.109, 2019.

KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola. Londrina: **Iapar**, p.179-221. (Circular, 108), 1999.

KUNZE, A. et al. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35. nº3. Viçosa May/June-2011.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVA, P. M. DA. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico 1. v. 36, n. 1, p. 21–28, 2006.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 395-401, 1995.

MBUTHIA, L. W. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 89, p.24-3, 2015.

NUNES, M. R. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, 148, 2015, p. 119-126.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.

SPAIN, J. M. & SALINAS, J. G. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1984, Ilhéus. Anais... Ilhéus: **Comissão Executiva do Planoda Lavoura Cacaueira**, p. 259-299, 1985.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Revista visão agrícola**. Nº 9. Jul\Dez 2009.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p.888.

TIECHERiecher, T. et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol, *Geoderma*, Volume 308, 2017, Pages 78-85.

TEDESCO, M.J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 174, 1995.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da aveia preta proporcionou aumento de produtividade de MS na maioria dos tratamentos em que estava presente, mostrando a importância de ser utilizada sempre que possível nos sistemas de cultivo para fins principalmente de proteção do solo devido a sua alta produção de massa e lenta decomposição. Conseqüentemente com o aumento de produção de massa, há também o aumento da quantidade de carbono no sistema, sendo esse um dos elementos que teve um acréscimo de acordo com o aumento da proporção de aveia no sistema e da produção de massa que a mesma proporcionou.

As avaliações da relação C/N sofreram influencia tanto da cultura da aveia preta, como também da cultura do feijoeiro devido as avaliações terem sido realizadas na maior parte do tempo quando a cultura do feijão estava presente na área. O feijoeiro pode ter ocasionado uma liberação de folhas senescentes com resíduos de N, podendo ter esse nutriente influenciado nas concentrações de N e conseqüentemente na relação C/N do sistema.

A relação C/N, além de proporcionar uma velocidade maior ou menor da decomposição, também influencia na liberação mais acelerada dos nutrientes presentes nos resíduos vegetais. Logo, as misturas que continham uma maior quantidade de ervilhaca ou nabo apresentaram uma melhor liberação de N, P e K, onde essa liberação foi diferente entre esses nutrientes. Por outro lado, a liberação dos mesmos nutrientes foi afetada quando na composição dos resíduos vegetais existia uma maior concentração de aveia preta, essa que influenciou em um aumento da relação C/N e proporcionando uma liberação dos nutrientes de uma forma mais gradual.

Surge a necessidade de se repetir esse experimento, porém sem a interferência da cultura do feijoeiro na área, podendo ter sido a cultura culpada pela manutenção dos teores de N no decorrer das avaliações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. A. Fitomass decomposition and nitrogen release of cover crops in function of the level of residue input to soil under no-tillage system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.5, p.801-809, mai, 2014.

ALMEIDA, D. S. et al. Soil phosphorus bioavailability and soybean grain yield impaired by Ruzigrass. **Agronomy Journal**. v.110, p.654-663, Mar/Apr 2018.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.52, n.8, p.592-598, Aug/2017.

- CLARK, A. J. et al. Kill date vetch, rye a vetch-rye mixture: I. cover crop and corn nitrogen. **Agronomy Journal**. v.89, p.427-434, may/June 1997.
- DARYANTO, S. et al. Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. **Earth Science Reviews**. v.185, p.357-373. Oct/2018.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.9, p.1021-1030, 1985.
- KEESSTRA, S. et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of the Total Environment**. 610–611, p. 997–1009, 2018.
- LADAN, S. & JACINTHE, P. A. Nitrogen availability and early corn growth on plowed and no-till soil amended with different types of cover crops. **Journal of Soil Science and and Plant Nutrition**. v.17. p.74-90. 2017.
- LADHA, J. K. et al. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. **Advances in Agronomy**. v.87, p. 85-156, 2005.
- LAL, R. Soil carbono sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**. v.70, p. 329 – 339, 2015.
- LANDIS, D. A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. **Basic and Applied Ecology**. V.1, p.1-12, feb/2017.
- MATSON, P. A. et al. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**. v.277, p.504-509, 1997.
- MITCHELL, J. P. et al. Trade-offs between winter cover crop production and soil water depletion in the San Joaquin Valley California. **Journal of Soil and water**. v.70, p.430-440, Nov/Dec 2015.
- PRATT, O. J. & WINGENBACH, G. Factors affectiong adoption of green manure and cover crop technologies among Paaguayan smallholder farmers. **Agroecology and Sustainable Food Systems**. v.40, p.1043-1057, Nov/2016.
- SARE. Cover crop survery. Annual report. **Pesquisa e Educação em Agricultura Sustentável**, 2017.
- STAVI, R. & LAL. Achieving Zero Net Land Degradation: Challenges and opportunities. **Journal of Arid Environments**. v.112, p 44-51. 2015.
- SILVA, A. A. et al. Soil covering systems in the winter and its effects on maize grain yield grown in succession. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.37, n.4, p.928-935, jul-ago, 2007.
- SICZEK, A. & LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**. v.114, p.50–56, 2011.

TEASDALE, J. R. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. **Journal of Production Agriculture**. v.9, p. 475-479, oct/dec 1996.

TILLMAN, P.G. et al. Natural biological control of bed bug eggs (Heteroptera: Pentatomidae) in landscapes of corn, peanut and cotton farms in Georgia. **Environment Entomology**. V.40, p.303-314. 2011.