

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO HIBERNAL EM SISTEMA DE
PRODUÇÃO DE SOJA: INFLUÊNCIA DO PASTEJO E DA ÉPOCA DE
REPOSIÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO**

Felipe Dalla-zen Bertol
(Dissertação de mestrado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO HIBERNAL EM SISTEMA DE
PRODUÇÃO DE SOJA: INFLUÊNCIA DO PASTEJO E DA ÉPOCA DE
REPOSIÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO**

FELIPE DALLA-ZEN BERTOL
Engenheiro-Agrônomo (UFSM)

Dissertação apresentada como um
dos requisitos à obtenção do Grau
de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Bertol, Felipe Dalla-zen
ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO HIBERNAL EM SISTEMA
DE PRODUÇÃO DE SOJA: INFLUÊNCIA DO PASTEJO E DA ÉPOCA
DE REPOSIÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO / Felipe Dalla-zen
Bertol. -- 2021.
76 f.
Orientador: Amanda Posselt Martins.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2021.

1. Fertilidade do solo. 2. nitrogênio. 3. adubação
de sistema. 4. SIPA. I. Posselt Martins, Amanda,
orient. II. Título.

FELIPE DALLA-ZEN BERTOL
Engenheiro Agrônomo - UFSM

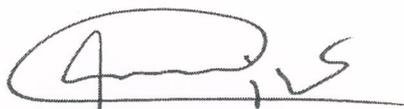
DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

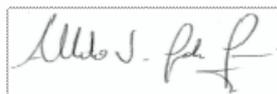
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 31.03.2021
Pela Banca Examinadora



AMANDA POSSELT MARTINS
Orientadora-PPG Ciência do Solo

Homologado em: 21.05.2021
Por



ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo

CIMÉLIO BAYER
UFRGS
(MConf UFRGS)

EDICARLOS DAMACENA DE SOUZA
UFR
(MConf UFRGS)



TANGRIANI SIMIONI ASSMANN
UTFPR
(MConf UFRGS)

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade
de Agronomia

" No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz."

Ayrton Senna

Dedico a minha mãe Abelair e ao meu pai Everaldo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, perseverança, vontade e todas as qualidades para correr por meus sonhos.

À minha mãe, Abelair Aparecida Dalla-zen, por ter sido a mulher mais forte do mundo e ter me criado com tanto empenho, sendo meu eterno exemplo de perseverança. Eu te amo!

Ao meu pai, Everaldo Bertol, por sempre entender e me apoiar nas minhas escolhas e sempre ser um exemplo de líder dentro de uma família.

À minha irmã, Bruna Danieli Bertol, por me tirar do sério diversas vezes, mas me mostrar que o mundo é de pessoas diferentes e que nem todos são ou devem ser iguais a mim.

Ao restante da minha família que sempre foi unida e nunca deixou de me apoiar.

Aos meus amigos, Mateus Scaravonatti, Yuri Veiga, Yuri Nunes, Michel Nathan, Kaue Fritz e Vinicius Amaral, por sempre ser meus fieis companheiros e ser meus irmãos em tudo.

Aos amigos e colegas de faculdade que foram meus companheiros na caminhada até o início do mestrado.

Aos amigos do IRGEB, que sempre me ajudaram em coletas de campo, análises e disciplinas.

À grande amiga Gabriela Naibo, que sempre foi uma baita companheira de mate e sempre andando no mesmo barco, encaramos o desafio do mestrado.

Aos amigos da fertilidade, em especial Adriano Garcia, Thamires Valle, Luciano Pinzon, Matheus Goulart, Gian Ghisleni, Leticia Piccinini e todos que se sentirem abraçados e que fazem parte desta caminhada.

Ao Adão Luis, pelas aulas de laboratório que ficaram eternizadas na minha carreira, nunca esquecerei as conversas sobre os mais diversos assuntos e aquela molaridade do ácido sulfúrico acertada no alvo.

À minha orientadora Amanda Posselt Martins, pelas discussões, ensinamentos, ajudas e que nunca me deixou faltar nada em nenhum momento, muito obrigado.

Aos amigos do apartamento 33, Danrlei de Menezes e Juliana Santos e os agregados do 32, Daniel Ferreira, Luan Cutti e Lucas Alves, pelo companheirismo, compreensão e parceria.

À Marcela Leal e a Fernanda Santos, pela companhia e pela grande amizade em tão pouco tempo.

Aos meus professores, desde o maternal até a última disciplina cursada na pós graduação, vocês foram essenciais na minha formação profissional e pessoal.

Aos colegas de PPGCS da UFRGS pelas mais diversas ajudas e interações.

O presente projeto foi desenvolvido com apoio do CNPq através da concessão de bolsa de estudo de Mestrado, nº de processo 133217/2019-1.

A Fundação Agrisus pelo apoio financeiro na condução de parte do experimento e com as análises de N¹⁵.

A todos os amigos da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em especial, o seu João, o Marcelo, as moças da cantina, o pessoal da Zootecnia – em destaque a pessoa da Loren Duarte, Daniel Gonçalves, Gustavo e a Professora Carolina Bremm. Muito obrigado.

À Fundação de Apoio a Pesquisa Agropecuária do Mato Grosso – Fundação MT – por me possibilitar colocar meus conhecimentos em pratica, adquirir novos conhecimentos e experiencias, me fazendo um profissional mais completo.

A todos que estão lendo estas palavras e se sentirem parte deste documento – muito obrigado.

ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PLANTA DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA: INFLUÊNCIA DO PASTEJO E DA ÉPOCA DE REPOSIÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO¹

Autor: Felipe Dalla-zen Bertol

Orientador: Prof^a. Dr^a. Amanda Posselt Martins

RESUMO

O sistema azevém-soja é um dos mais utilizados no subtropico brasileiro. Muitas vezes, a adubação nitrogenada nesse sistema é negligenciada, pois a planta de soja nutre-se através da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e o azevém não é rentabilizado. Contudo, quando a soja expressa o máximo potencial produtivo no ambiente, há maior exportação de N nos grãos do que fixado pela FBN, podendo haver uma depleção dos estoques de N no solo. Uma forma de rentabilizar a adubação nitrogenada do cultivo hiberna é a produção animal em sistema integrado de produção agropecuária. Outra prática que resulta no aumento da produção de massa seca (MS) do azevém, é a adubação de sistema, que neste caso seria a reposição no azevém do P e do K exportado pela soja. O pastejo e adubação de sistemas são ferramentas que associadas à adubação nitrogenada do azevém podem mitigar o balanço negativo de N na soja. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar ao longo das diferentes fases do sistema produtivo azevém-soja o impacto de diferentes doses de N em sistemas pastejados por ovinos ou não e diferentes épocas de reposição de P e K exportados pela soja. O experimento foi realizado em um Plintossolo Argilúvico, no sistema azevém-soja há 3 anos. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições, onde a parcela principal foi composta pelo bifatorial pastejo e época de reposição de P e K e as subparcelas foram as doses de N. No inverno de 2019, foram instaladas subparcelas com doses de N (0, 50, 100, 200 kg N ha⁻¹). O aumento da dose de N elevou a produção e o estoque de N na MS e no resíduo do azevém, proporcionando maiores teores de N mineral no solo e a contribuição do N derivado do solo na nutrição nitrogenada da soja, diminuindo o balanço negativo de N da soja. Em ambiente pastejado, houve maior estoque de N mineral no solo ao longo de todas as fases do sistema, além de produzir 14% mais grãos de soja. A adubação de sistemas aumentou a produção de MS do azevém em doses de N inferiores a 200 kg N ha⁻¹ e aumentou em 11% a produtividade da soja. Conclui-se que a adubação nitrogenada no azevém impacta no curto prazo todas as fases do sistema azevém-soja, nos parâmetros de solo e planta, obtendo diferentes respostas de acordo com o manejo da pastagem e da época de reposição de P e K. E ambiente pastejado necessita mais entrada de N no sistema, pois produziu mais soja e teve menor colaboração da FBN na nutrição nitrogenada da soja, em função de maior estoque de N mineral no solo.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, nitrogênio, adubação de sistema, SIPA

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (117 p.) Março, 2021.

NITROGEN FERTILIZATION IN THE WINTER COVER CROP IN SOYBEAN PRODUCTION SYSTEMS: INFLUENCE OF GRAZING AND POTASSIUM AND PHOPHORUS REPLACEMENT TIME²

Author: Felipe Dalla-zen Bertol

Adviser: Prof. Dr. Amanda Posselt Martins

ABSTRACT

The ryegrass-soybean system is one of the most used in the Brazilian sub-tropics. Often, nitrogen fertilization in this system is neglected, as the soybean plant is nourished through biological nitrogen fixation (FBN) and ryegrass is not profitable. However, when soybean expresses the maximum productive potential in the environment, there is a greater export of N in the grains than fixed by the FBN, and there may be a depletion of the N stocks in the soil. One way to make the nitrogen fertilization of winter farming profitable is animal production in an integrated agricultural production system. Another practice that results in increased production of ryegrass dry matter (DM), is the system fertilization, which in this case would be the replacement of ryegrass P and K exported by soybeans. Grazing and fertilization of systems are tools that associated with nitrogen fertilization of ryegrass can mitigate the negative balance of N in soybean. Thus, the objective of this work was to evaluate, during the different phases of the ryegrass-soybean production system, the impact of different doses of N in systems grazed by sheep or not and different times of replacement of P and K exported by soybeans. The experiment was carried out in an Argilúvico Plintossolo, in the ryegrass-soybean system for 3 years. The experimental design was a randomized block with three replications, where the main plot was composed by the bifactorial grazing and P and K replacement time and the subplots were the doses of N. In the winter of 2019, subplots were installed with doses of N (0, 50, 100, 200 kg N ha⁻¹). The increase in the dose of N increased the production and stock of N in DM and ryegrass residue, providing higher levels of mineral N in the soil and the contribution of N derived from the soil in the nitrogenous nutrition of soybeans, reducing the negative balance of N of soybean. In a grazed environment, there was a greater stock of mineral N in the soil throughout all phases of the system, in addition to producing 14% more soybeans. The fertilization of systems increased the production of DM of ryegrass at doses of N below 200 kg N ha⁻¹ and increased soybean productivity by 11%. It is concluded that nitrogen fertilization on ryegrass impacts in the short term all phases of the ryegrass-soybean system, on soil and plant parameters, obtaining different responses according to pasture management and P and K replacement season. grazed environment needs more N input in the system, as it produced more soy and had less collaboration from FBN in the nitrogen nutrition of soy, due to the greater stock of mineral N in the soil.

Keywords: Soil fertility, nitrogen, system fertilization, ICLS.

²Master dissertation in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (117p.) March, 2021.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. Dinâmica do nitrogênio no sistema produtivo azevém-soja	19
2.1.1 Nitrogênio na soja	21
2.1.2 Adubação nitrogenada na pastagem	22
2.2 SIPA no sistema azevém-soja	23
2.3 Adubação de sistema no sistema produtivo azevém-soja	25
3. HIPÓTESES	28
4. OBJETIVOS	29
4.1. Objetivo Geral	29
4.2. Objetivos Específicos	29
5. MATERIAL E MÉTODOS	30
5.1. Localização e solo da área experimental	30
5.2. Histórico, delineamento e condução do experimento	32
5.3. Avaliações e análises realizadas	33
5.4. Análises estatísticas	36
6. RESULTADOS	37
6.1. Fase de transição da soja do verão de 2018/2019 e antes da implantação do azevém do inverno de 2019	38
6.2. Fase cultivo do azevém	39
6.3. Fase de transição azevém-soja	45
6.4. Fase cultivo da soja	48
7. DISCUSSÃO	52
7.1. Resposta do azevém à adubação nitrogenada em diferentes épocas de adubação de reposição de P e K e pastejo do azevém	52
7.1.1 Pastejo do azevém	52
7.1.2 Estratégias de adubação de reposição de P e K	54
7.2. Parâmetros de solo ligados ao N no sistema soja-azevém	55
7.3. Os impactos na soja do pastejo hibernar, da época de reposição de P e K e da adubação nitrogenada no azevém	58
8. CONCLUSÕES	61
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química inicial da nova configuração do experimento no ano de 2016	30
Tabela 2. Níveis de significância das fontes de variação Pastejo do azevém, Épocas de reposição de P e K, Dose de N e suas interações para as variáveis analisadas, nas diferentes fases da safra 2019/2020	36
Tabela 3. Diferença entre o BPN na soja e o estoque de N na MS do azevém, com e sem pastejo, estratégias de adubação e doses de N	49

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições meteorológicas de precipitação e temperatura do ar da Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020) 29
- Figura 2.** Estoque de Carbono na Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS) (a) e Nitrogênio mineral (b) no solo Plintossolo Argilúvico Distrófico típico após a safra de soja 2018/2019 coletados em maio de 2019 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS), afetado pelo pastejo do azevém com ovinos, independentemente das épocas de reposição de P e K. Teste Tukey ($p < 0,05$) 37
- Figura 3.** Produção total de massa seca (PTMS) afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) (a) e épocas de reposição de fósforo e potássio (na média do pastejo do azevém) (b), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019)39
- Figura 4.** Teor de nitrogênio na massa seca do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019) 40
- Figura 5.** Estoque de nitrogênio na massa seca do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) (a) e épocas de reposição de fósforo e potássio (na média do pastejo do azevém) (b), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019) 42
- Figura 6.** Produção total de massa seca do resíduo do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernar no final de outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019) 43
- Figura 7.** Estoque de nitrogênio na massa seca do resíduo do azevém afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernar no final de outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019) 44
- Figura 8.** Estoque e N mineral no solo em Plintossolo Argilúvico Distrófico típico após o azevém afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio, em novembro de 2019 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS) 45

- Figura 9.** Produtividade da soja na safra 2019/2020 afetada pelo pastejo do azevém (independente da época de reposição de P e K) (a) e época de reposição de P e K (Independente do pastejo do azevém) (b) e independentemente das diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS) Teste Tukey ($p < 0,05$) 46
- Figura 10.** Porcentagem de colaboração da fixação biológica de nitrogênio (%FBN) na cultura da soja afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernal no final de outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020) 47
- Figura 11.** Contribuição na nutrição nitrogenada da soja do nitrogênio derivado do solo afetado pelo pastejo do azevém independente das épocas de reposição de P e K e das doses de nitrogênio aplicados no azevém. Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020) 48
- Figura 12.** Balanço parcial de nitrogênio na soja afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) condicionados as diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2018/2019) 49

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

%FBN – N derivado da atmosfera pela fixação biológica de nitrogênio

¹⁵N – Isótopo de nitrogênio 15

BPN – Balanço parcial de nitrogênio

B-valor – Discriminação isotópica de ¹⁵N

C – Carbono

C/N – Relação Carbono : Nitrogênio

Ca – Cálcio

C-BMS – Carbono da biomassa microbiana do solo

CTC – Capacidade de troca de cátions

DASP – dias após a semeadura do azevém

FBN – Fixação biológica de nitrogênio

ILP – Integração lavoura-pecuária

K – Potássio

Mg – Magnésio

MOS – Matéria orgânica do solo

MS – Massa Seca

N – Nitrogênio

N₂ – gás nitrogênio

N₂O – óxido nitroso

N-BMS – N da biomassa microbiana do solo

NH₄⁺ – Amônio

NO₃⁻ – Nitrato

P – Fósforo

pH-H₂O – pH em água

PR – Paraná

PRNT – Poder Relativo de Neutralização Total

PTMS – Produção total de massa seca

RS – Rio Grande do Sul

SC – Santa Catarina

SIPA – Sistemas integrados de produção agropecuária

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max*) do mundo, com uma participação de 37% do montante produzido e 30% da área produzida no total mundial (USDA, 2020). Os três estados localizados no subtropico brasileiro (Paraná – PR, Santa Catarina – SC e Rio Grande do Sul – RS) produzem 35 milhões de toneladas de grãos de soja, correspondendo a 28,3% do que é produzido no Brasil, sendo PR e RS com maior expressividade, contando com áreas de 5,5 e 5,9 milhões de hectares e produtividades médias de 3.112 kg ha⁻¹ e 3.379 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2020).

A região subtropical tem como principais cultivos estivais a soja (12 milhões hectares), o milho (*Zea mays* – 3,7 milhões hectares), o feijão (*Phaseolus vulgaris* – 0,5 milhões de hectares) e o arroz irrigado (*Oryza sativa* – 1,1 milhões de hectares). Nessa mesma região, os cultivos hibernais, como os cereais de inverno (como aveia – *Avena sativa* –, Trigo – *Triticum aestivum* –, Centeio – *Secale cereale* –, cevada – *Hordeum vulgare* – e triticale – *Triticosecale wittmack*) e a canola (*Brassica napus*), correspondem a 2,6 milhões de hectares. Ou seja, do total de cerca de 20 milhões hectares cultivados na região subtropical, 17,3 milhões são de cultivos estivais e apenas 2,6 milhões são destinados a produção de grãos e cereais no período hibernar (CONAB, 2020). O restante de cerca de 14,7 milhões de hectares que não são destinados a produção de grãos no inverno são deixados como áreas de pousio ou com cultivos de cobertura como gramíneas forrageiras de estação fria.

O subtropico brasileiro é caracterizado por temperaturas médias anuais entre 16 e 22 °C, com maiores temperaturas no verão e baixas temperaturas no inverno, podendo até gear em algumas regiões, e pluviosidade entre 1.200 e 2.000 mm sem estação seca definida, características de climas Cfa e Cfb na

classificação de Koeppen (Kottek et al., 2006). Nestas condições, forrageiras de clima tropical, tem diminuição de produção de matéria seca (MS) na estação fria, além da possibilidade de morte com geadas (Soares et al., 2005). Desta forma, é comum a utilização de plantas de cobertura como a aveia e o azevém (*Lolium multiflorum*), consorciadas ou não com leguminosas como trevos (*Trifolium spp.*) ou ervilhaca (*Vicia sativa*). Uma das mais utilizadas atualmente pelos agricultores é o azevém (Lima Filho et al., 2014), uma planta C3 que possui seu ciclo de 90 a 120 dias no período hibernar (meses de maio a outubro). O azevém tem como principais características a rusticidade, resistência a elevadas umidades e baixas temperaturas (Lima Filho et al., 2014). Somado a isto, também possui uma alta produção de MS com qualidade forrageira resistente ao pastejo e alta ressemeadura natural (Ribeiro Filho et al., 2009).

Quando bem manejado, o azevém tem um potencial produtivo superior a 10 toneladas de MS por hectare (Pellegrini et al., 2010). A adubação nitrogenada é um dos pontos mais importantes para atingir altos patamares produtivos em gramíneas forrageiras. Contudo, em sistemas produtivos em que o azevém e, também, a aveia é utilizado apenas como planta de cobertura de solo, geralmente a adubação é negligenciada, sobretudo a nitrogenada. Esse fato pode ocasionar uma baixa produção de MS e lento fechamento do dossel para cobertura do solo em relação a ambiente sem adubação nitrogenada, deixando espaço para o impacto da gota da chuva causando selamento superficial e processos erosivos e haja uma maior incidência de plantas invasoras.

Somado a isto, também se tem o fato dos sistemas produtivos de monocultivo de soja com altos patamares produtivos estarem exportando mais nitrogênio (N) no grão de soja do que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) está fornecendo (Ciampitti & Salvaggiotti. 2018). A longo prazo, as consequências disso são a diminuição dos estoques de N na matéria orgânica do solo e a deficiência deste nutriente tanto para a gramínea do período hibernar, quanto para os estágios iniciais de crescimento da soja, quando a planta necessita do N do solo.

Portanto, a adubação nitrogenada no azevém e/ou na aveia cultivados no período hibernar pode ser uma solução para diversos problemas de sistemas

produtivos, sobretudo os de monocultivo de soja, pois estimula o crescimento da planta, que pode acessar camadas mais profundas no solo e ciclar nutrientes para as camadas superficiais. E, também, pode ser uma forma de incrementar os estoques de N orgânico do solo, repondo o que é exportado pela soja e sem prejudicar a FBN. Contudo, há necessidade de buscar alternativas para remunerar financeiramente esta prática, sendo uma delas a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA).

O modelo de SIPA característico das terras altas do subtropico brasileiro é a integração temporal de bovinos ou ovinos pastejando gramíneas no período de outono-inverno e a produção de grãos em primavera-verão. Portanto, este tipo de SIPA é chamado de integração lavoura-pecuária (ILP). Desta forma, os agricultores têm mais uma opção de renda pela carne e/ou leite, em um período do ano em que falta alimento para os rebanhos no geral, devido à diminuição da produção de forragem de plantas de clima tropical (Oliveira et al., 2018). Somado a isto, muitas áreas do subtropico brasileiro, por seu histórico de anos de produção de grãos com adubação e calagem, tem solos com a fertilidade construída (CQFS-RS/SC, 2016). Ou seja, são solos que não possuem problemas de acidez, teores de matéria orgânica adequados e de macronutrientes em níveis alto ou muito alto – principalmente o fósforo (P) e o potássio (K). O pastejo animal proporciona a ciclagem destes nutrientes no sistema, fazendo com que os produtores também tenham ganhos na maior eficiência de uso dos fertilizantes.

Os solos com fertilidade construída também proporcionam adoção de estratégias de adubações visando o sistema produtivo como um todo. A adubação de sistema tem como base a ciclagem de nutrientes entre diferentes fases do sistema produtivo. Desta forma, no sistema produtivo de soja com azevém na entressafra, em solo com fertilidade construída, pode-se adubar o azevém com a adubação de reposição de fósforo e potássio exportados pela soja.

Os benefícios desta antecipação da adubação são de ordem produtivas, ambientais e econômicas, visto que pode haver uma maior produção da planta forrageira adubada, uma maior ciclagem e retenção dos nutrientes na forma orgânica (MS da pastagem) e um favorecimento da época de comercialização de fertilizante com menores preços e com maior margem de tempo para se

fazer uma aplicação de qualidade, dentre outros benefícios (Sandini et al., 2011; Vendramini, et al., 2014; Assmann et al., 2018a). No entanto, o grande desafio é demonstrar os impactos da adubação do cultivo hiberna e da consequente maior produção de MS destas plantas em monocultivo de soja, assim como avaliar os impactos desta prática em sistemas produtivos que possuem ou não o pastejo animal. Partindo do pressuposto que a adubação de sistemas está trazendo benefícios para o sistema soja-azevém, é importante investigar se o azevém que produz maiores quantidades de MS necessita de maiores quantidades de N, sobretudo quando submetido ao estresse da herbivoria.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dinâmica do nitrogênio no sistema produtivo azevém-soja

O N é fator crítico da produtividade das culturas, e também é o elemento mais dinâmico dentre os macronutrientes. Aproximadamente 95% do N presente no solo está na forma orgânica e os outros 5% na fração mineral, sendo esta última a absorvida pelas plantas (Galloway et al., 2004). Di & Cameron (2002) descreveram o balanço de N mineral pela seguinte equação:

$$N - Mineral = Np + Nb + Nf + Nu + Nm - Npl - Ng - Ni - Nl - Ne$$

Onde:

p – deposição atmosférica;

b – fixação biológica de N₂;

f – o N derivado de fertilizantes;

u – retorno do N via dejetos dos animais;

m – mineralização do N orgânico;

pl – absorção pelas plantas;

g – perdas por formas gasosas;

i – imobilização pelos microrganismos;

l – perda por lixiviação;

e – perda por erosão e escoamento superficial.

De acordo com estes autores, as entradas mais importantes para sistemas agrícolas são FBN, a entrada de N via fertilizantes e a mineralização do N orgânico. A dinâmica do N está diretamente relacionada à MOS. Segundo Reetz (2017), a capacidade produtiva dos sistemas agrícolas está relacionada com a velocidade com que os microrganismos transformam formas orgânicas de N em formas minerais de N, utilizadas pelas plantas, ou pelo aporte da FBN e adubação nitrogenada. Solos tropicais e subtropicais, onde naturalmente não há um acúmulo tão expressivo de MOS devido às condições de elevadas temperatura e umidade que favorecem a rápida decomposição (Lal, 2005; Lal, 2012), tem o N como fator crítico da produtividade das culturas, principalmente para plantas forrageiras gramíneas. Desta forma, o aumento do teor de MOS

através do manejo adequado do solo é uma prática importante para uma maior disponibilidade de N para as plantas. Porém, isto somente é obtido com planejamento a longo prazo, referente à rotação de culturas com leguminosas (Sá et al., 2013; Junior et al., 2016; Veloso, Cecagno & Bayer., 2019), aporte e manutenção de material vegetal em superfície (Marcelo et al., 2012) e mitigação da erosão do solo (Silva et al., 2010). Neste contexto, culturas com elevada exigência e/ou alto patamar produtivo necessitam de N via adubação, devido à falta de sincronia entre o que é mineralizado e o estágio que a planta mais necessita do nutriente.

Os adubos nitrogenados, ao serem dissolvidos, são convertidos em amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). A eficiência das plantas em absorver o N aplicado via adubo é em torno de 30 a 50%, dependendo da cultura, do clima, do solo e das práticas de manejo (Santos et al., 2016). Para fontes amídicas, como a ureia, em condições de alta temperatura, velocidade dos ventos, baixo pH do solo, baixa umidade e capacidade de troca de cátions (CTC), maiores são as perdas por volatilização na forma de amônia (NH_3). Por outro lado, após a passagem do NH_4^+ para NO_3^- também ocorrem perdas, porque a forma nítrica possui alta mobilidade no perfil e pode ser perdida por lixiviação (Ceretta et al., 2007). Além disso, quando há uma saturação de microssítios do solo com água, há o favorecimento da atividade de microrganismos anaeróbios que utilizam o NO_3^- como receptor final de elétrons, transformando-o em formas voláteis como o óxido nitroso (N_2O) e o gás nitrogênio (N_2) (Ehrhardt et al., 2018). Outro processo que diminui a disponibilidade de N é a imobilização, que ocorre quando o adubo nitrogenado é aplicado em solos que possuem baixas quantias de N orgânico e uma palhada de elevada relação C/N. Nessas situações, os microrganismos utilizam temporariamente a forma mineral de N aplicada para degradar os resíduos, a indisponibilizando para as plantas (Kaleem-abbasi et al., 2017).

Há diversas estratégias que devem ser visadas para aumentar a eficiência de adubos nitrogenados, como a aplicação com as melhores condições meteorológicas (Smith et al., 2000), umidade adequada do solo, estágio de maior necessidade da cultura alvo e parcelamento da aplicação (Carozzi et al., 2013). Uma estratégia é a adubação nitrogenada em plantas com maior eficiência de absorção do nutriente, como as plantas forrageiras

gramíneas (Sartor et al., 2011). Isto deve-se à maior ocupação do solo pelo sistema radicular fasciculado, sobretudo, quando submetidas ao estresse da herbivoria. Esta prática busca que, com a decomposição de seus resíduos, a forrageira disponibilize o N absorvido para os cultivos subsequentes (Assmann et al., 2003). Desta forma, é comum encontrar trabalhos que mostram benefícios em sistemas que tem o milho como cultivo subsequente (Assmann et al., 2003). Contudo, são raros os trabalhos que encontram influência desta prática na cultura da soja em sucessão, devido principalmente à eficiência da FBN na nutrição nitrogenada da soja. Logo, sistemas de sucessão azevém-soja, em que não aduba a pastagem com N, somente tem como entrada deste nutriente no sistema a simbiose entre a soja e as bactérias fixadoras de N podendo ser insuficiente para a sustentabilidade deste sistema produtivo.

2.1.1 Nitrogênio na soja

O cultivo da soja pode necessitar até de 500 kg N ha⁻¹ para concluir seu ciclo (Tamagno et al., 2017; Balboa; Sadras & Ciampitti, 2018; Ciampitti & Salvagiotti, 2018). As principais fontes deste nutriente para a soja é a FBN e o N mineral proveniente do solo (Tamagno et al., 2018), sendo a proporção de cada fonte variando conforme as condições de ambiente e solo. Herridge et al. (2008) estimaram a contribuição da FBN na soja em diferentes países, e observaram que em países como o Brasil e a Argentina a contribuição pode chegar a 80%, devido aos sistemas de manejos conservacionistas, a inoculação de sementes e a não aplicação de fertilizantes nitrogenados. Por outro lado, em países como os Estados Unidos, a porcentagem de contribuição chega a ser 60%. A diferença entre estes países deve-se principalmente pelas condições climáticas favoráveis aos microrganismos do solo ao longo do tempo, o sistema produtivo sem revolvimento do solo e o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de inoculação (Hungria et al., 2006)

A absorção de N via sua forma mineral presente na solução do solo tem um menor custo energético para a planta em relação àquele obtido via FBN (Kaschuk et al., 2009), o que leva a planta a inibir a simbiose com as bactérias fixadoras e, conseqüentemente, inibir a nodulação (Streeter & Wong, 1988). Mesmo com a economia energética da planta, suprir a necessidade total de N via adubação nitrogenada é economicamente inviável (Hungria et al., 2006).

Contudo, em sistemas produtivos de soja que alcançaram patamares produtivos elevados para as suas condições edafoclimáticas, deve-se promover a entrada de N via adubação em algum outro momento, principalmente para restituir o N exportado pela soja, que na maioria dos casos tem um balanço parcial negativo (Ciampitti & Salvagiotti, 2018; Ladriscini et al., 2019). O balanço parcial negativo de N indica que a soja está exportando mais do que está fixando e ocorre em 85% dos casos, segundo uma meta-análise de Ciampitti & Salvagiotti (2018), realizado em âmbito mundial. As consequências no longo prazo é a diminuição dos estoques de N na MOS e, conseqüentemente, o aparecimento de deficiência de N no desenvolvimento inicial da soja e em outros cultivos do sistema produtivo.

Desta forma, sistemas produtivos de soja podem estar perdendo N quando não há entrada de fontes externas de N ou rotação de cultura com plantas leguminosas de cobertura. A adubação nitrogenada na pastagem hibernal seria uma estratégia para suprir a porcentagem de N proveniente do solo que a soja necessita, maximizando a produção de MS da fase hibernal tanto para cobertura quanto para alimentação animal.

2.1.2 Adubação nitrogenada na pastagem

A produção de MS de uma espécie forrageira está ligada a fatores do solo, podendo ser aumentada com práticas como a correção da acidez e a adubação (Christie et al., 2018). No caso de gramíneas em geral, a adubação nitrogenada é uma das formas mais efetivas de aumentar a quantidade de MS produzida e elevar a qualidade da forragem através de um maior teor de proteína bruta (Pellegrini et al., 2010; Tambara et al., 2017), podendo inclusive reduzir custos de produção com outras fontes de proteínas (Christie et al., 2018). O Manual de Calagem e Adubação do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2016) recomenda, para gramíneas de estação fria como o azevém, que a dose de adubo nitrogenado seja definida por faixas de MOS e a adubação fosfatada e potássica pelo teor de argila e a capacidade de troca de cátions, respectivamente, além dos seus teores disponíveis, de acordo com a expectativa de rendimento em toneladas de MS ha⁻¹.

O potencial de resposta do azevém a adubação nitrogenada ainda é desconhecida. Timm et al. (2018), testando diferentes doses de N no azevém

simulando pastejo encontraram respostas produtivas em azevém até 450 kg N ha⁻¹ que produziu 8.5 t de MS ha⁻¹. Muitos autores encontraram respostas lineares na produção de MS ao adubar com N sistemas pastejados (Restle & Soares, 2002; Pellegrini et al., 2010; Timm et al., 2018), aumentando índices zootécnicos e justificando o investimento. Mas poucos estudos são encontrados em ambientes não pastejados, sendo este cenário a realidade da maioria dos sistemas produtivos.

A adubação nitrogenada no cultivo de cobertura potencializa os maiores benefícios das plantas de cobertura para os sistemas produtivos (Lima Filho et al., 2014). Os principais são a proteção contra a erosão do solo (Lima Filho et al., 2014), fonte de C para os microrganismos e o aumento ou manutenção dos teores de MOS do solo, que necessitam em torno de 10 t MS ha⁻¹ (Bayer et al., 2000).

Ao aumentar a complexidade do sistema com a inclusão do pastejo animal (SIPA), a adubação nitrogenada da pastagem também proporciona melhoras nos índices zootécnicos e maior quantidade de resíduo deixado em superfície para o cultivo subsequente (Pellegrini et al., 2010; Alves et al., 2015). Contudo, em SIPA a adubação nitrogenada da pastagem sem o manejo adequado da carga animal pode provocar a compactação do solo e menor produção de resíduo em superfície, deixando o solo exposto (Franchini et al., 2015). Kunrath et al. (2020) estudaram uma base de dados de altura da pastagem no sistema azevém/aveia-soja em experimento de 16 anos de duração e encontraram uma altura de pastejo em torno de 19 cm de altura do azevém que maximiza a produção animal e de planta sem impactos negativos ao solo.

Ou seja, em sistemas pastejados, a adubação nitrogenada é uma ferramenta que deve ser alinhado ao manejo adequado da altura da pastagem com balanço da carga animal, caso o contrário os benefícios aos sistemas produtivos de se adubar a pastagem não são economicamente e ecologicamente sustentáveis ao longo prazo (Carvalho et al., 2011)

2.2 SIPA no sistema azevém-soja

Os (SIPA) são sistemas conservacionistas de produção, que buscam maximizar as produções animal e vegetal na mesma área, de forma econômica e sustentável (Moraes et al., 2014). No Brasil, dos 209 milhões de hectares

ocupados com alguma atividade agropecuária, 11,5 milhões de hectares possuem algum arranjo de SIPA, sendo o RS responsável pela maior parte dessa área (2 milhões de hectares) (Skorupa & Manzatto, 2019). De acordo com estes autores, a integração da lavoura com a pecuária é o arranjo de SIPA mais adotado pelos produtores rurais, tanto no Brasil como um todo (83%) quanto na região subtropical (Sul) do Brasil (80%). Esse tipo de SIPA, no subtropico brasileiro, é caracterizado pelo cultivo de arroz, soja e milho no período estival e gramíneas forrageiras, como aveia e azevém no período hibernal.

O papel do animal está relacionado à ciclagem de nutrientes (Martins et al., 2014; Kunrath et al., 2015), pois poucos nutrientes minerais são incorporados em seu organismo na ingestão do material vegetal, com a grande maioria da proporção ingerida retornando ao solo na forma de excretas (Vendramini et al., 2014). Alves et al. (2019), analisando o balanço de nutrientes em um sistema integrado com soja e milho com pastejo das plantas de cobertura de inverno por ovinos, demonstraram que apenas 5% de P e K e menos de 1% de Ca e Mg foram exportados pela produção animal, em relação ao sem pastejo. Além da ciclagem de nutrientes, o animal impacta no ciclo biogeoquímico do C (Salton et al., 2014) e, conseqüentemente, na quantidade e na atividade da microbiota do solo (Legay et al., 2014, Soares et al., 2019). Portanto, nutrientes que tem seus ciclos ligados à MOS são impactados pelo SIPA, influenciando a sua disponibilidade e o seu manejo às plantas, como é o caso do N.

A dinâmica do N nos sistemas de produção é afetada pelo teor de MOS (Bayer et al., 2011) e o tipo e a quantidade de resíduo vegetal das espécies envolvidas na rotação de culturas. A presença de resíduos com relação C/N elevada gera imobilização de nutrientes pela microbiota, diminuindo a disponibilidade deste nutriente para o cultivo subsequente. Este cenário pode ser observado em sistemas puramente agrícolas com gramíneas como espécies de cobertura de solo no período hibernal (Giacomini et al., 2003). Em SIPA, há menor quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo em comparação a ambientes sem pastejo (Alves et al., 2015). Porém, há maior quantidade de resíduo vegetal no solo (raízes), que somadas à urina e ao esterco, podem se igualar e até ultrapassar o aporte de resíduos de ambiente sem pastejo (Assmann et al., 2014).

Além das diferenças quantitativas, resíduos de ambiente pastejado são de menor relação C/N que ambientes sem pastejo. Isto deve-se a maior variedade de resíduo – urina, esterco, raízes e massa verde em superfície (Assmann et al., 2014; Kunrath et al., 2015), maiores quantidades de estruturas novas e menos lignificadas (Quatrin et al., 2015) e a maior ativação na microbiota do solo (Soares et al., 2019). A menor quantidade de resíduo vegetal em superfície somado a menor relação C/N em ambiente pastejado impactam diretamente na velocidade de decomposição e, conseqüentemente, na mineralização dos nutrientes estocados no resíduo. Logo, ambientes pastejados mineralizam o N estocado na MS do azevém mais rapidamente, aumentando os estoques de N mineral no solo, principalmente na fase inicial da soja no sistema de monocultivo azevém-soja.

2.3 Adubação de sistema no sistema produtivo azevém-soja

Recentemente, em sistemas produtivos onde os níveis dos nutrientes se encontram altos, chamados de solos com fertilidade construída, novas estratégias de adubação vêm sendo adotadas. A antecipação da reposição de nutrientes exportados pela soja em um período mais favorável, como o hibernal, vem sendo chamada de “adubação de sistema” (Assmann et al., 2018). Em geral, as recomendações de adubação consideram as necessidades e a eficiência de uso dos fertilizantes apenas para a cultura a qual se realiza a adubação. Contudo, não avalia os impactos que a entrada de determinado nutriente causa nos cultivos subsequentes, nem a ciclagem e a reciclagem de nutrientes que diferentes sistemas radiculares e o componente animal podem proporcionar (Assmann et al., 2018a). Nesse contexto, Assmann et al. (2018a) sugerem o conceito de adubação de sistemas, que tem como base a ciclagem de nutrientes entre as fases de um sistema considerando a atividade microbiológica, buscando a máxima eficiência de uso de nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade do solo no longo prazo.

Na prática, a adubação de sistemas é feita com a adubação do cultivo hibernal – azevém – com o montante que seria adubado no cultivo estival – soja. Desta forma, deve se considerar que os níveis dos nutrientes no solo estejam acima do nível crítico, que tenha plantas para máxima absorção dos nutrientes e menor espaço possível entre dessecação da cobertura e

semeadura do cultivo subsequente (Assmann et al., 2018a). Um sistema de produção quando manejado com essa filosofia de adubação, desde que atenda os pré-requisitos citados, possui diversas vantagens, como: economia na compra de fertilizantes, maximização operacional da semeadura – aproveitando a melhor janela em relação a luminosidade, fotoperíodo e umidade do solo –, maior produção de forragem acarretando maior incremento da MOS, manutenção da umidade do solo e maximização da ciclagem e da reciclagem de nutrientes (Sandini et al., 2011; Vendramini et al., 2014; Soares et al., 2015; Carvalho, 2018).

Em relação à reposição dos nutrientes P e K no inverno visando a cultura da soja, há trabalhos que indicam uma elevação na produção de forragem sem decréscimo na produtividade da lavoura (Francisco, Camara & Segatelli, 2007). Desta forma, o aumento da produção de MS, aliado à maior produção de raízes, aumentam a demanda de N pela planta. Consequentemente, indiretamente a reposição dos nutrientes P e K no inverno também pode ajudar na ciclagem do N no sistema. Contudo, carece de estudos que comprovem tais benefícios.

O K não possui função estrutural no metabolismo vegetal e, conseqüentemente, após a senescência da planta, ele é liberado rapidamente do resíduo vegetal para o solo e, por isso, especial atenção deve ser dada em relação ao espaço de tempo e índice pluviométrico entre dois cultivos na disponibilidade deste nutriente (Marschner, 1995). Por outro lado, o P adubado no inverno, em teoria, teria mais tempo para ser adsorvido pelo solo e ser limitante para a cultura de verão. Vieira et al. (2015, 2016) constataram aumento da produção de cultivos de cereais de inverno, ainda em solos de fertilidade construída, quando foi realizada a adubação de reposição de P e K, respectivamente, visando os sistemas Trigo/cevada-soja, sem impactar a produção de soja no cultivo hibernal. A explicação dos autores a esta maior produção está relacionada à maior sensibilidade destes cultivos às condições de seca e baixa temperatura do período hibernal.

A antecipação da adubação nitrogenada para o cultivo de forrageiras hibernais possibilita mitigar as perdas, pois a janela de adubação é mais elástica do que os cultivos de grãos de verão, possibilitando a aplicação em condições meteorológicas mais apropriadas (maiores quantidades de chuva, temperatura amena e menor comprimento do dia no subtropical), com maior

densidade de plantas que proporciona maior absorção do N mineral do solo, minimizando as perdas (Carvalho, 2018). Além disto, o efeito residual da aplicação hiberna pode vir a reduzir ou até eliminar a necessidade de aplicação no cultivo subsequente comerciais (lavouras), o que é bem comum em gramíneas como o Milho (Assmann et al., 2018b). No caso de leguminosas como a soja, a FBN é a principal fonte deste nutriente, principalmente em solos argilosos, com alto teor de MOS e disponibilidade de água. Os fatores como textura, teor de MOS e disponibilidade de água são fatores que interagem entre si e impactam o ciclo do N, desde a quantidade de estoque de N no solo promovido pela MOS (Bayer et al., 2011) e, conseqüentemente, a dinâmica de retenção e perda de N (Vieira, 2017), até o ambiente mais propício a microbiota do solo atuar na decomposição dos resíduos (Soares et al., 2019), ligado a MOS e a disponibilidade de água. Conseqüentemente, em solos arenosos, com baixo teor de MOS e sob déficit hídrico, supõe-se que a adubação de N no inverno pode favorecer um maior desenvolvimento da soja, através do estímulo da produção de material vegetal, principalmente até os estádios V3 e V4, quando ainda não há uma FBN capaz de nutrir a planta suficientemente (Frache, Lindstrom & Elmerich, 2009). Todavia, os estudos relativos às contribuições da adubação de N no inverno no desenvolvimento da soja são escassos.

3. HIPÓTESE

A adubação nitrogenada do cultivo hibernar no sistema produtivo azevém-soja aumenta a produção de MS da pastagem, principalmente em sistemas que favoreça a ciclagem de nutrientes, como os pastejados (SIPA) e com adubação de sistema, aumentando os teores de N mineral no solo e, conseqüentemente, acarretando maior proporção de N proveniente do solo na nutrição nitrogenada na soja. Desta forma, a produção de soja pode ser aumentada com o aumento da dose de N e/ou favorecida por fatores que maximizem a ciclagem de nutrientes, como o pastejo e a reposição de P e K no inverno.

Os sistemas produtivos manejados com adubação de sistema, pastejados e com o aumento da dose de N aplicado no cultivo hibernar, diminuem o balanço parcial negativo de N do cultivo da soja. Assim como os sistemas produtivos com e sem pastejo se comportam de forma diferente ao aumento da dose de N aplicado no cultivo hibernar e justificam o manejo da adubação nitrogenada conforme o sistema adotado.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de doses de N aplicados no azevém nas diferentes fases do sistema soja-azevém, influenciados pelo pastejo ou não de ovinos e de épocas de reposição de P e K exportados pela soja.

4.2 Objetivos específicos

Em diferentes sistemas com pastejo ou não do azevém e diferentes épocas de reposição de P e K exportado pela soja (adubação de sistema ou adubação tradicional):

- Avaliar o impacto de diferentes doses de N nos aspectos nutricionais e produtivos do azevém;
- Avaliar o impacto de diferentes doses de N em parâmetros do solo;
- Avaliar a influência das diferentes doses de N aplicadas no cultivo hiberna no aspecto nutricional, produtivo, de captação e balanço de N pela soja, em sucessão.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e solo da área experimental

O experimento está localizado na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que fica no município de Eldorado do Sul, RS, Brasil (latitude 30°05'S, longitude 51°39'O e altitude de 46 m). O clima é classificado como subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Koeppen (Kottek et al., 2006). A precipitação acumulada média varia de 1.200 a 2.000 mm por ano e a temperatura média anual nos últimos 14 anos foi de 19°C. Na safra 2019/2020, onde as avaliações foram realizadas, houve uma precipitação acumulada de 929 mm (Figura 1). A pluviosidade média foi de 214 mm durante o ciclo da soja, caracterizando um ano de estresse hídrico na cultura (Cardoso et al., 2020).

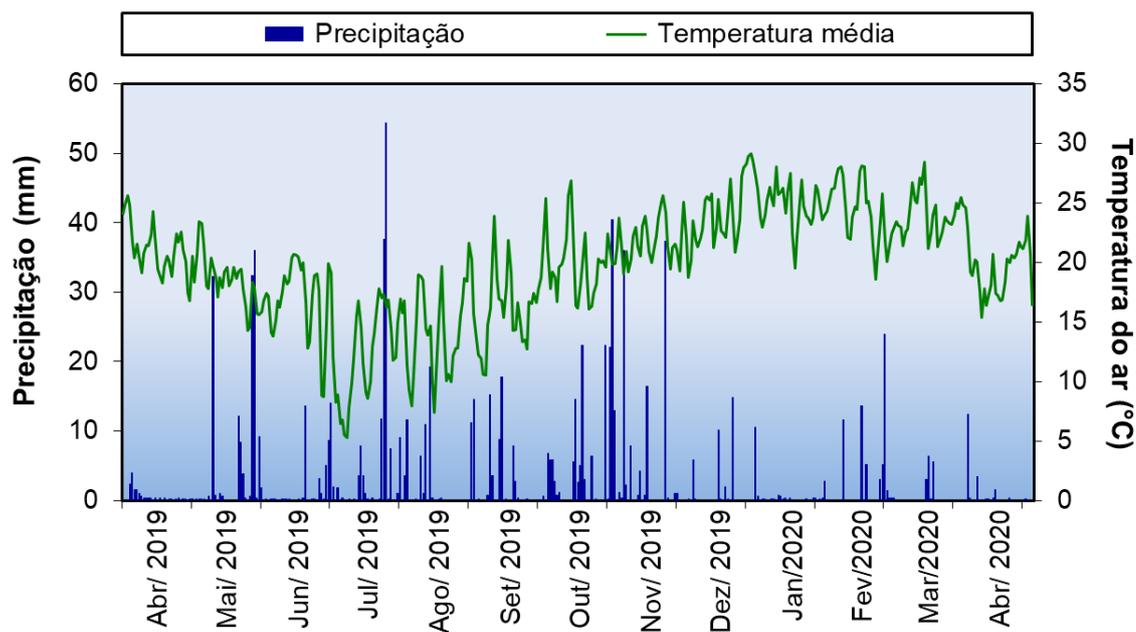


Figura 1. Condições meteorológicas de precipitação e temperatura do ar da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020).

O solo da área experimental é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (Streck et al., 2018), com relevo suavemente ondulado e 14% de argila na camada de 0-20cm. Os atributos químicos do solo antes da instalação das parcelas de N – maio de 2019 – no experimento são apresentados na Tabela 1. Após essa coleta, realizou-se a correção da acidez do solo para elevação do pH-H₂O da camada de 0-10 cm até 6,0, com a aplicação de 7,4 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 70%. Após esta intervenção, podemos verificar que os valores dos nutrientes e dos atributos estão acima do nível crítico e com presença de Alumínio trocável. Com exceção do alumínio, tem-se um solo com características químicas favoráveis para as plantas expressarem seu máximo potencial produtivo.

Tabela 1. Caracterização química inicial do experimento em maio de 2019.

Camada de solo	pH H ₂ O	COT ⁽¹⁾	Ca	Mg	Al	H + Al	P	K	Saturação da CTC		
									Bases	Al	
cm		g kg ⁻¹	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	---	mg dm ⁻³	---	-----	%	-----
0-5	5,2	16,7	3,7	3,4	0,05	9,05	87	99	44,7	0,7	
5-10	4,2	8,8	1,1	2,4	1,07	10,07	85	69	26,6	22,7	
10-20	4,2	6,4	0,9	2,2	1,14	9,86	38	64	25,0	25,7	

(1) Carbono orgânico total.

5.2. Histórico, delineamento e condução do experimento

Anteriormente à instalação da atual configuração do experimento, entre 2003 e 2017, a área era conduzida sob experimento de longa duração em que era avaliado duas intensidades de pastejo no cultivo hibernal – azevém (*Lolium multiflorum*) – por ovinos (2,5 e 5 vezes o potencial de forragem ingerida pelos animais) e dois métodos de pastejo (rotativo e contínuo) e, no verão, dois diferentes sistemas de produção de grãos (monocultivo de soja e rotação de culturas com o milho). Em agosto de 2017 foi instalada a configuração atual do experimento, em uma área de 4,8 ha.

O experimento é dividido em 16 parcelas com áreas variando de 0,23 a 0,41 ha as quais foram incluídas subparcelas de 20 m² com doses de N, em Junho de 2019. O delineamento experimental são blocos casualizados com 4 repetições. As parcelas são compostas por dois fatores: pastejo de ovinos ou não e de diferentes épocas de reposição dos nutrientes P e K para soja sendo feita no inverno - adubação de sistema - ou no verão - adubação tradicional (visando somente a adubação do cultivo comercial). As subparcelas são 4 doses de nitrogênio via ureia (0, 50, 100, 200 kg N ha⁻¹), que foram alocadas em 3 dos 4 blocos. Estas subparcelas foram alocadas em uma porção das parcelas maiores, e no ambiente com pastejo não teve isolamento destas parcelas, podendo ocorrer entrada de N via fezes dos ovinos, sobretudo na parcela com dose de 0 kg N ha⁻¹. No momento da adubação nitrogenada geral das parcelas, foram excluídos o local em que seriam alocados as subparcelas e posteriormente foram adubadas de forma individual. A adubação da soja é realizada em cobertura com 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O visando a reposição dos

nutrientes exportados e uma expectativa de produção de 4,0 Mg ha⁻¹ de grãos (CQFS-RS/SC, 2016). As fontes utilizadas tanto para adubação de reposição de P e K exportados pela soja no verão quanto no inverno foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio.

A soja da safra 2018/2019, foi colhida em 23 de abril 2019 e após a colheita iniciou o período de coleta de dados para esta dissertação. A semeadura do azevém (cultivar BRS Pompeio), na densidade de 30 kg de sementes puras viáveis ha⁻¹, foi realizada a lanço em 16 de maio 2019. A adubação nitrogenada (instalação das subparcelas) e a adubação de sistema foram realizadas em 17 de junho 2019, quando as plantas de azevém tinham três folhas, em média. Em 17 de julho 2019, os ovinos da raça Corriedale, com 10 meses de idade, começaram o pastejo nos respectivos tratamentos. Como não houve isolamento das subparcelas, a altura e regulagem era realizada conforme a altura da parcela por inteiro. O método de pastejo dos ovinos é contínuo, sendo a intensidade de pastejo moderada. Os animais entram quando as plantas atingem 18 cm de altura e deve ser mantido com 15 cm de altura com a entrada ou saída de animais – ajuste de cargas. Os monitoramentos das alturas são feitos com 150 leituras por semana por parcela, com bastão “*sward stick*”. Os animais permaneceram na área por um período de 113 dias, saindo no dia 26 de outubro de 2019. A dessecação do azevém foi realizada em 18 de novembro de 2019, com Glifosato (3 L ha⁻¹) e 2.4 D (2 L ha⁻¹). A adubação tradicional foi realizada em 21 de novembro 2019 e a soja (cultivar TMG 7063 IPRO) foi semeada em 25 de novembro 2019 e colhida em 13 de abril 2020.

5.3. Avaliações e análises realizadas

As avaliações da pastagem em ambiente pastejado foram realizadas com a implantação de gaiolas de exclusão de pastejo nas subparcelas para obtenção da MS produzida pela pastagem (kg MS ha⁻¹). As gaiolas de exclusão tinham uma área de 0,20 m² por 50 cm de altura, sendo amostrado 0,10 m². Juntamente, foram coletados pontos aleatórios fora da gaiola, seguindo a metodologia “Triplo Emparelhamento” (MORAES, et. al. 1990). As amostras vegetais, após os cortes, foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa

constante. Através da subtração do conteúdo da gaiola de exclusão com o corte realizado fora da gaiola da coleta anterior obteve-se a quantidade de MS produzida em determinado período. Para o cálculo de produção total de MS (PTMS) foram somados a produção de cada período, que neste caso foram 5 períodos (49, 77, 105, 133 e 161 dias após a semeadura do azevém - DASP) espaçados em 28 dias e realizados o teor de N na MS. Em ambiente pastejado, o estoque de N na MS é determinado pelo teor de N multiplicado pela MS em cada período e somado, e realizado a soma do N acumulado dentro deste período, de modo similar ao cálculo realizado com a MS. No último corte foi considerado como avaliação de resíduo, onde as amostras fora da gaiola de exclusão foram consideradas como resíduo vegetal para a soja em sucessão.

Em ambiente sem pastejo foram realizadas avaliações nos mesmos períodos das avaliações dos ambientes com pastejo e a PTMS foi definida pela média do período de máxima produção de MS, compreendido dos 105 DAPS até os 161 DAPS. O último corte realizado antes do fim do ciclo da pastagem foi considerado como resíduo para o cultivo subsequente, contudo não foi considerado o mantilho sobre o solo.

No dia 17 de maio de 2019 e 11 de novembro de 2019 foi realizado a coleta de solo na camada de 0-5 cm, para análise de N da biomassa microbiana (N-BMS) e C da biomassa microbiana (C-BMS) pela metodologia de irradiação adaptada por Ferreira et al. (1999) de Islam e Weil (1996), e na camada de 0-20 cm para a determinação de N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) descrito em Tedesco et al. (1995). Os resultados das análises foram transformados para estoque (kg ha^{-1}) utilizando as densidades do solo de 1,50 e 1,62 g cm^{-3} para as camadas 0-5 e 0-20 cm, respectivamente (Alves et al., 2019). A primeira coleta foi realizada com finalidade de caracterizar o ambiente após a colheita da soja da safra 2018/2019 e implantação das parcelas com doses de N, a segunda coleta foi após o período de pastejo e antes da instalação da safra de soja 2019/2020.

No estágio de desenvolvimento R6 (grãos cheios e folhas verdes) (Fehr and Caviness, 1977) foram coletadas aleatoriamente 7 plantas inteiras de soja por tratamento. Este estágio é o preferencial para esta análise devido ao maior acúmulo de massa seca da planta. Do mesmo modo, plantas espontâneas não

fixadoras de N (*Conyza bonariensis*, *Amaranthus hybridus* e *Brachiaria plantaginea*) foram coletadas em locais próximos das parcelas de soja, sendo estas plantas úteis para determinar a quantidade de N derivado da atmosfera (%FBN). A parte aérea da soja e das plantas espontâneas foram secas em estufa a 65 °C até atingir massa constante, pesadas e reservadas para determinar a $\delta^{15}\text{N}$.

A %FBN foi determinado pelo método de abundância natural ^{15}N (Shearer & Kohl, 1986), utilizando a abundância natural das plantas coletadas e a fórmula abaixo:

$$\%FBN = [(\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{soja}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}} - \text{B valor})] \times 100$$

Onde o $\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}}$ é a abundância natural de ^{15}N na planta referência. O $\delta^{15}\text{N}_{\text{soja}}$ é a abundância natural de ^{15}N na soja. O B-value é o valor de $\delta^{15}\text{N}$, ou a discriminação isotópica de ^{15}N , da planta leguminosa em condição de plena dependência da FBN para a obtenção de N para o seu desenvolvimento, em condições de casa de vegetação. Este valor pode ser retirado de diferentes artigos (Guimarães et al., 2008 e Pauferro et al., 2010) que testaram variedades de soja e inoculantes (*Bradyrhizobium elkanii* e *B. japonicum*) utilizados no Brasil, sendo o B valor utilizado -2,62 ‰. A porcentagem de N proveniente do solo foi calculada pela porcentagem restante da %FBN, para calcular o N total proveniente da FBN foi multiplicando o %FBN pela quantidade de N total da planta.

O balanço parcial de N forneceu a informação sobre a diferença entre o total de N incorporado (via FBN) e o exportado (via grãos) do sistema pela soja. O cálculo é realizado pela equação:

$$\text{BPN} = [(\text{QNc} \times \%FBN) / 100] - \text{QNg}$$

Onde QNc é a quantidade total de N acumulado pela soja e QNg é a quantidade de N total exportada pelos grãos.

A produtividade da soja foi determinada pela amostragem de 4 linhas de um metro dentro das subparcelas, 1.8 m². Cada amostra foi trilhada, pesada e corrigida a umidade dos grãos para 13%.

A diferença entre os valores de BPN e o estoque de N na MS do azevém foi realizado como forma de demonstrar possíveis benefícios da adubação nitrogenada realizada no cultivo hibernar pode suprir ou não a maior quantidade de N exportado junto a soja em relação ao que é fixado.

5.4. Análises estatísticas

A análise estatística foi realizada no programa estatístico R[®] e o banco de dados foi submetido ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias pelo teste Bartlett-test, ambos com o nível de significância de 5%. Quando as variáveis não supriram as necessidades de homogeneidade, normalidade ou independência dos resíduos, foram adotadas estratégias de retirada de outlier (não mais que 5% das observações) e/ou transformações por log, raiz quadrada ou boxcox. O modelo fatorial com parcelas subdivididas foi utilizado para todas as variáveis estudadas. As fontes de variação foram: efeitos do pastejo animal e das diferentes épocas de reposição de P e K exportados pela soja nas parcelas, com as doses de N em subparcelas e os blocos. Os blocos e suas interações foram considerados fatores aleatórios e os demais fatores foram considerados fixos.

Os resultados foram submetidos à ANOVA a 10% de nível de significância. As diferenças entre os tratamentos qualitativos (pastejo animal e épocas de reposição de P e K e a interação entre estes fatores) foram submetidas ao teste Tukey ($p < 0,10$). Em relação aos tratamentos quantitativos (dose de N e suas interações com os demais fatores), foi utilizada a regressão expressando a equação, R² e p-valor gerado pelo programa R[®].

6. RESULTADOS

Os resultados da ANOVA para cada variável estão descritos na Tabela 2. Para cada variável, será apresentado e discutido as interações que envolvam maior número de fatores.

As variáveis de solo C-BMS e N mineral antes da aplicação das doses de N no azevém foram significativas em relação ao pastejo do azevém.

As variáveis ao longo do ciclo do azevém apresentaram interações entre fatores estudados, sendo que PTMS, teor de N na MS, estoque de N na MS e Resíduo apresentaram interação entre as doses de N e pastejo do azevém ou épocas de reposição de P e K, e somente o N Resíduo apresentou interação tripla entre os fatores nesta fase. No período de transição entre o azevém e a soja a única variável do solo que foi significativa foi o N mineral do solo, sendo a interação tripla entre os fatores.

As variáveis ao longo do ciclo da soja que foram significativas somente para um fator foi a produtividade e o N derivado do solo, para a variável BPN houve interação entre os fatores dose de N e pastejo do azevém, enquanto que para %FBN houve interação tripla entre os fatores.

Os resultados serão apresentados na ordem cronológica dos acontecimentos de campo, sendo: 1) Fase de transição da soja do verão de 2018/2019 e antes da implantação do azevém do inverno de 2019, 2) Fase cultivo do azevém, 3) Fase de transição azevém-soja e 4) Fase cultivo da soja (Safrá 2019/2020)

Tabela 2. Níveis de significância das fontes de variação Pastejo do azevém, Épocas de reposição de P e K, Dose de N e suas interações para as variáveis analisadas, nas diferentes fases da safra 2019/2020.

Variáveis		P	A	N	P*A	P*N	A*N	P*A*N
Solo pré azevém	C – BMS	*	ns	-	ns	-	-	-
	N – BMS	ns	ns	-	ns	-	-	-
	N mineral	*	ns	-	ns	-	-	-
Azevém	PTMS	ns	ns	***	ns	*	.	ns
	TNMS	***	ns	**	ns	*	Ns	ns
	ENMS	*	ns	***	ns	*	.	ns
	Resíduo	**	ns	ns	ns	*	Ns	ns
	N Resíduo	ns	*	**	ns	***	Ns	*
Solo pré soja	C – BMS	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
	N – BMS	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
	N mineral	ns	ns	ns	ns	ns	.	.
Soja	Produtividade Soja	*	*	ns	ns	ns	Ns	ns
	Estoque de N Soja	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
	%FBN	ns	ns	*	ns	ns	*	*
	BPN	ns	ns	ns	ns	*	Ns	ns
	N-Solo	*	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
	N-FBN	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns

"ns" não significativo; "-" não entrou no modelo estatístico; "." p -valor < 0,10; "***" p -valor < 0,05; "****" p -valor < 0,001; "*****" p -valor < 0,0001. P – Pastejo do azevém; A – Épocas de reposição de P e K; N – Dose de nitrogênio; PTMS – produtividade total da MS; TNMS – Teor de N na MS; ENMS – Estoque de N na MS; C-BMS – Carbono na Biomassa Microbiana do Solo; N-BMS – Nitrogênio na Biomassa Microbiana do Solo; %FBN – Percentagem de N derivado da FBN; BPN – Balanço parcial de N; N-Solo – quantidade de N na planta de soja derivado do solo; N-FBN – quantidade de N na planta de soja derivada da FBN

6.1. Fase de transição da soja do verão de 2018/2019 e antes da implantação do azevém do inverno de 2019

Os parâmetros de solo C-BMS e N mineral foram afetados somente pelo pastejo do azevém, antes das diferentes doses de N no azevém (Figura 2). O N-BMS não foi influenciado por nenhuma fonte de variação.

O C-BMS do solo no ambiente sem pastejo foi 63 kg ha⁻¹ superior ao com pastejo. Por outro lado, o N mineral em ambiente com pastejo foi 17 kg ha⁻¹ superior ao ambiente sem pastejo. O N-BMS foi de 35,8 kg ha⁻¹ nas médias dos fatores, não diferindo significativamente. Contudo, numericamente, ambiente sem pastejo teve maior quantidade de N-BMS que ambiente com pastejo, sendo os valores 41,7 e 30 kg ha⁻¹.

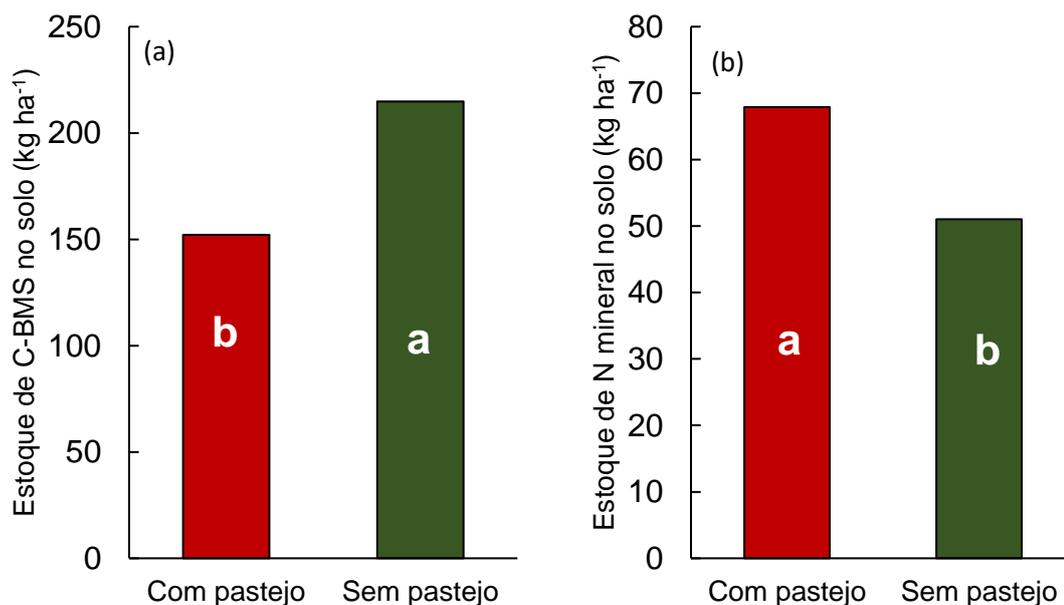


Figura 2. Estoque de Carbono na Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS) (a) e Nitrogênio mineral (b) no solo Plintossolo Argilúvico Distrófico típico após a safra de soja 2018/2019 coletados em maio de 2019 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS), afetado pelo pastejo do azevém com ovinos, independentemente das épocas de reposição de P e K. Teste Tukey ($p < 0,05$).

6.2. Fase cultivo do azevém

O aumento da dose de N se mostrou efetiva na produção de MS (Figura 3a). A produção de MS da parte aérea se comportou de maneira linear em ambiente com pastejo e quadrática sem pastejo, quando há o aumento da dose de N, independente das épocas de reposição de P e K. O aumento de 1 kg ha⁻¹ de N com pastejo aumentou 17,5 kg de MS ha⁻¹. O ponto de máxima respostas no sem pastejo é de 130 kg N ha⁻¹, sendo que a partir dos 146 kg N ha⁻¹ o pastejo ultrapassa a produção de MS em relação ao sem pastejo. Desta forma, os ambientes com pastejo apresentaram maiores produções de MS do azevém na dose 0 e 200 kg N ha⁻¹, sendo de 0,9 e 1,9 t MS ha⁻¹, respectivamente, em relação ao sem pastejo, sendo o sem pastejo superior em 1 t MS ha⁻¹ apenas na dose de 50 kg N ha⁻¹ em relação ao com pastejo.

As épocas de reposição de P e K também teve interação com as doses de N aplicadas no azevém, independentemente do pastejo ou não. Ambas as épocas de reposição de P e K tiveram uma relação linear com o aumento da dose de N

aplicada no azevém. Quando houve a adubação de sistema há menor resposta a aumento da dose de N em comparação a adubação tradicional. Portanto, 1 kg N ha⁻¹ aplicada no azevém com adubação de sistema representa um ganho de 13,2 kg MS ha⁻¹, enquanto em adubação tradicional representa 16,4 kg MS ha⁻¹. Portanto, a adubação tradicional se iguala a produção de MS à adubação de sistema quando há um aporte de 189 kg N ha⁻¹ via adubação, produzindo 7,6 t MS ha⁻¹ (Figura 3b).

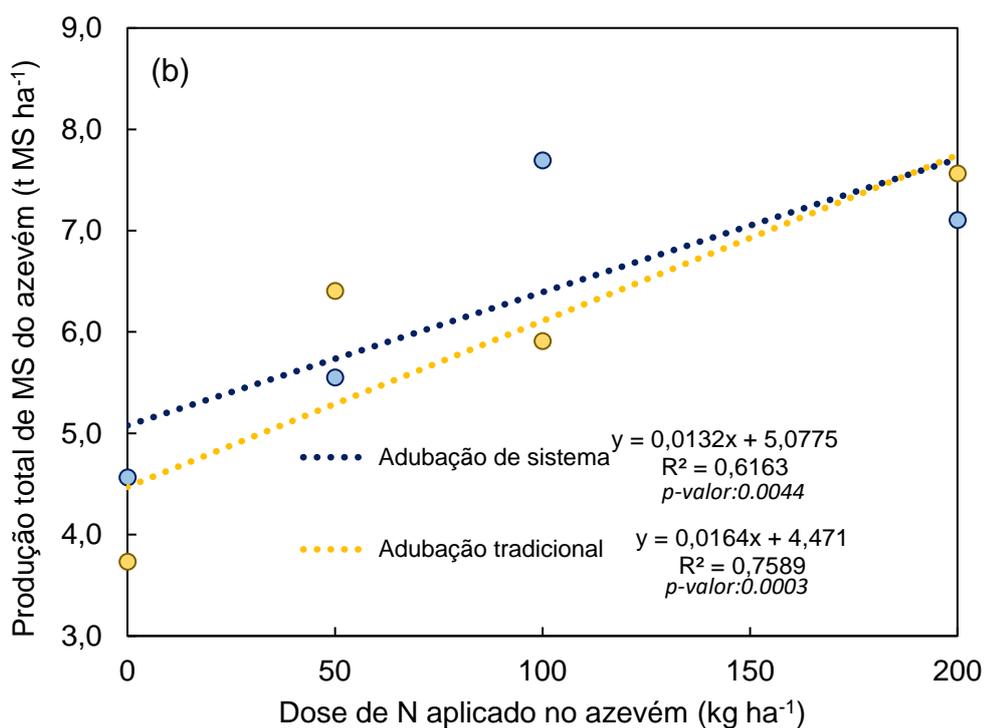
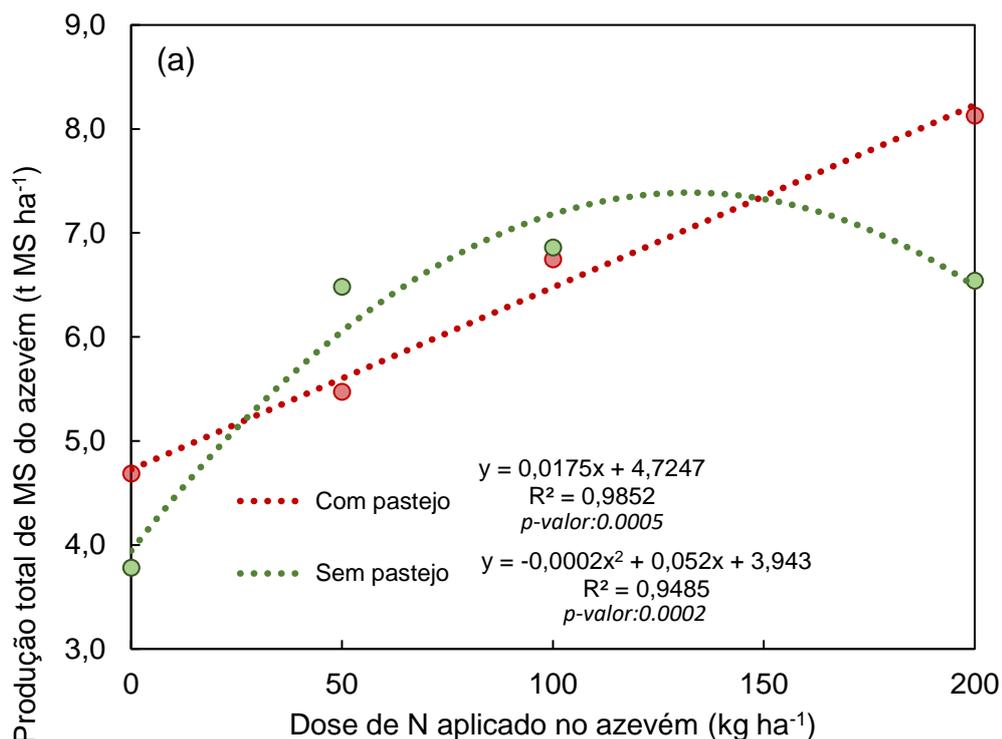


Figura 3. Produção total de massa seca (PTMS) afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) (a) e épocas de reposição de fósforo e potássio (na média do pastejo do azevém) (b), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019).

O teor de N na MS respondeu ao aumento da dose de N e ao pastejo do azevém, independente das épocas de reposição de P e K. O teor de N na MS foi superior em todas as doses de N testadas em ambiente pastejado. Contudo, o aumento da dose de N aplicado no azevém proporcionou maior incremento de N na MS em ambiente sem pastejo do que com pastejo, na ordem de 0,042 e 0,024 g N kg MS⁻¹, respectivamente.

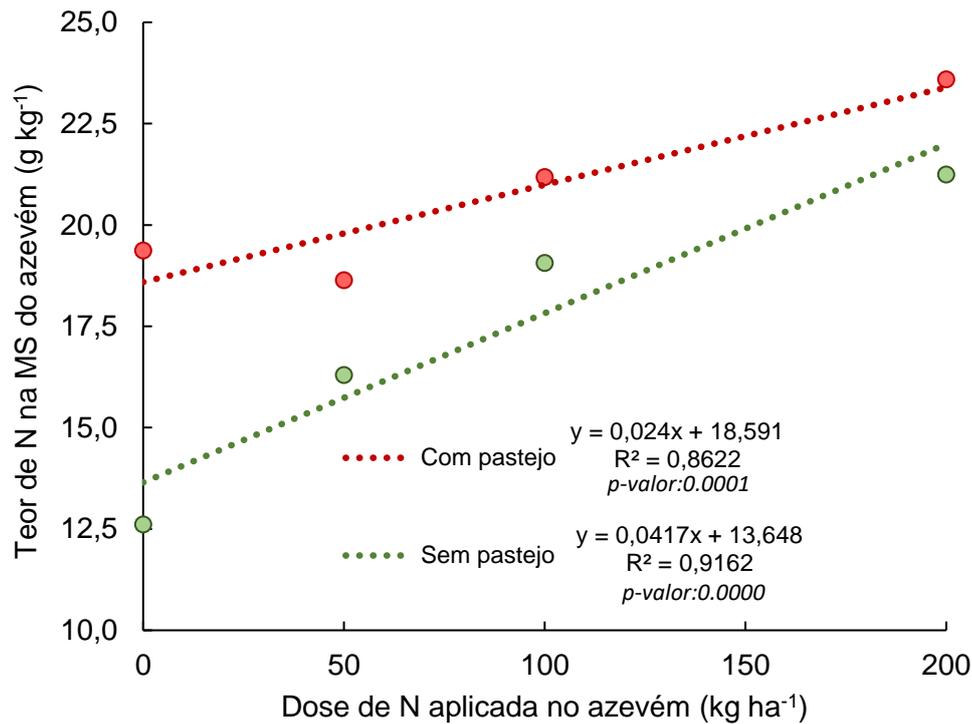


Figura 4. Teor de nitrogênio na massa seca do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019).

O estoque de N na MS sofreu efeito do aumento da dose de N tanto do pastejo do azevém (Figura 5a) quanto as épocas de reposição de P e K (Figura 5b). Como as unidades de estoque de N na MS e a dose de N são idênticas, é possível comparar as respostas de cada tratamento as doses de N em relação a uma reta 1:1. A reta 1:1 indica, de forma simplista, o ponto em que todo o N fornecido via fertilizante foi convertido em MS. Logo, os pontos que estão acima desta reta, indicam que há outra fonte de N que não seja do fertilizante, e se os pontos estão abaixo, indicam que o N do fertilizante não foi convertida em MS e,

provavelmente, foi perdida. Desta forma, pode-se observar que com pastejo há um maior fornecimento de N via solo do que sem pastejo, principalmente quando se analisa a diferença entre as doses de 0 e 200 kg N ha⁻¹. Nota-se que o ponto de intercepção da reta 1:1 em sistemas de cultivo sem pastejo é em torno da dose de 113 kg N ha⁻¹, enquanto com pastejo é 183 kg N ha⁻¹, independente das épocas de reposição de P e K (Figura 5a).

A adubação de sistemas foi superior a adubação tradicional nas doses testadas, tendo seu ponto de equilíbrio com a reta 1:1 em 152 kg N ha⁻¹, enquanto a adubação tradicional teve 141 kg N ha⁻¹. Mas, ao contrário do comportamento dos sistemas de pastejo do azevém, as épocas de reposição de P e K responderam semelhante ao aumento da dose de N. Desta forma, o aumento da dose de N diminui o efeito do aporte de P e K na pastagem – adubação de sistema – comparando a reposição destes nutrientes no verão, em relação ao estoque de N na MS do azevém (Figura 5b).

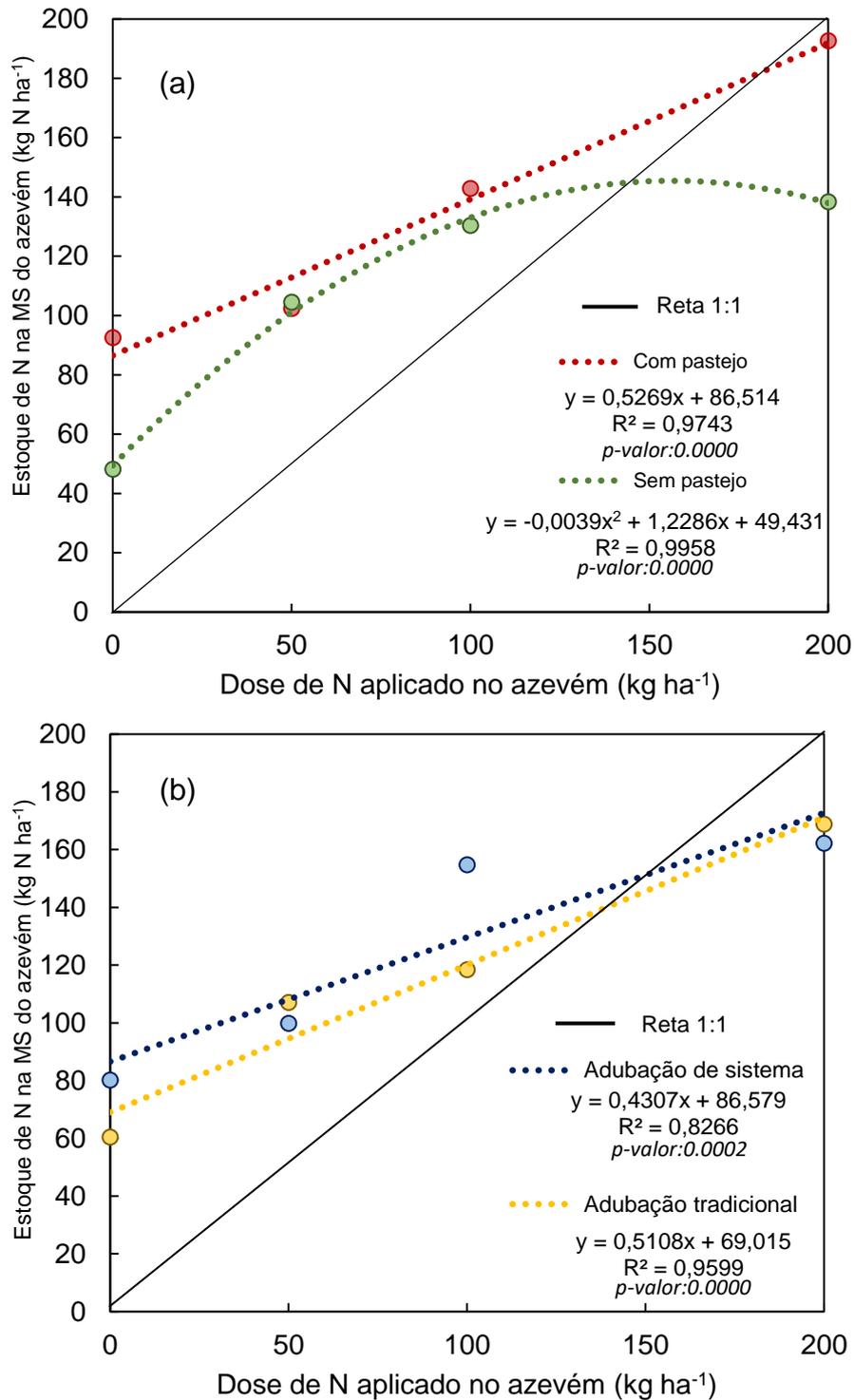


Figura 5. Estoque de nitrogênio na massa seca do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) (a) e épocas de reposição de fósforo e potássio (na média do pastejo do azevém) (b), condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca da parte aérea do azevém no período de julho a outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019). Reta 1:1 indica uma relação direta entre os eixos x e y, isto somente foi possível pelas variáveis nestes eixos serem de mesma unidade. Logo valores acima da reta representam quantidades de nitrogênio além do que foi colocado via fertilizante.

6.3 Fase de transição azevém-soja

Ao contrário da produção total de MS, o resíduo deixado para o cultivo subsequente não foi influenciado pelas épocas de reposição de P e K, sendo o fator predominante na produção de resíduo o pastejo do azevém (Figura 6). Contudo, é possível notar um acréscimo no resíduo com o aumento da dose de N em ambiente com pastejo, sendo que 1 kg N ha⁻¹ contribui com 10,3 kg MS ha⁻¹, enquanto em ambiente sem pastejo há uma redução na produção de resíduo com o aumentar da dose de N (Figura 6). É importante frisar que estes valores possam estar subestimados para ambos os tratamentos, pois em ambiente com pastejo não foi contabilizado o resíduo deixado na forma de esterco e em ambiente sem pastejo não foi contabilizado o mantilho deixado pela senescência e pelas maiores quantidades de palha dos anos anteriores.

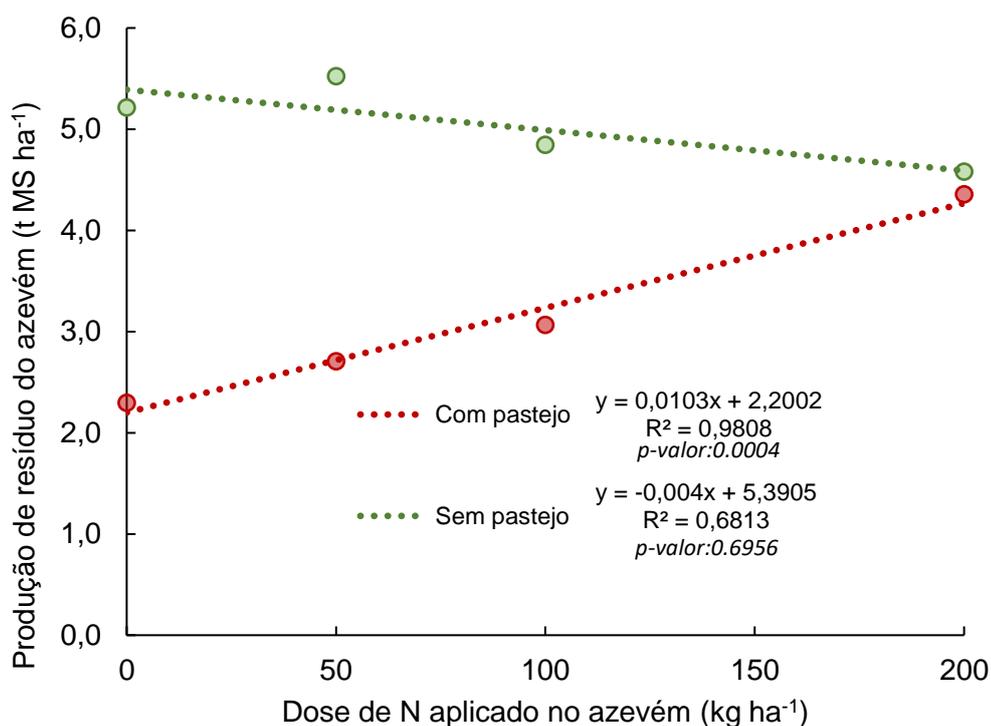


Figura 6. Produção total de massa seca do resíduo do azevém afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernal no final de outubro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019).

O estoque de N no resíduo foi influenciado pela interação dos fatores pastejo do azevém e época de reposição de P e K (Figura 7). Foi observado que

com pastejo, tanto manejado com adubação de sistema ou tradicional, houve menor quantidade de N na MS do resíduo do que sem pastejo. Também, nota-se que sistemas com adubação de sistema são superiores à adubação tradicional, somente quando não há adubação nitrogenada. Há uma tendência das diferentes épocas de reposição de P e K se igualarem ao aumento do aporte da dose de N, o que ocorreu de maneira mais expressiva com pastejo do que sem pastejo (Figura 7). Em relação a reta 1:1, nota-se que somente quando não foi realizada a adubação os pontos ficaram acima da reta 1:1, enquanto que com as doses de N testadas todo o N contido no resíduo foram inferiores as quantidades colocadas via fertilizante.

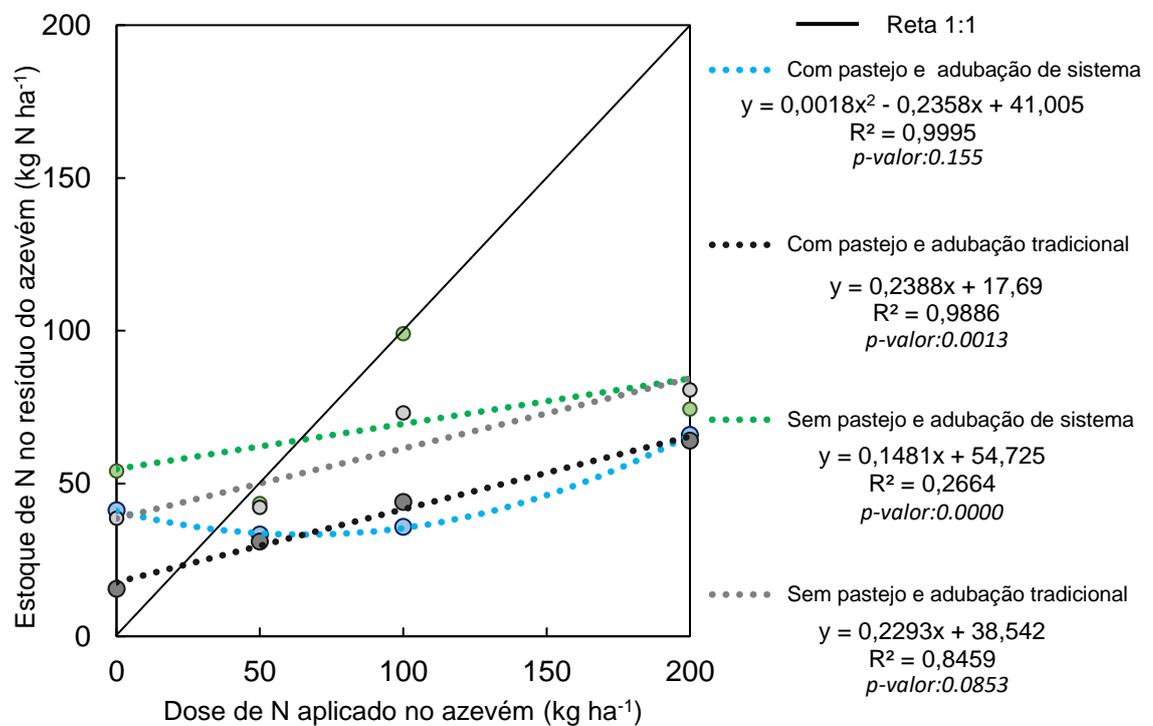


Figura 7. Estoque de nitrogênio na massa seca do resíduo do azevém afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernar no final de outubro na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, ano 2019). Reta 1:1 indica uma relação direta entre os eixos x e y, isto somente foi possível pelas variáveis nestes eixos serem de mesma unidade. Logo valores acima da reta representam quantidades de nitrogênio além do que foi colocado via fertilizante.

O N mineral do solo respondeu de forma linear ao aumento da dose de N para a interação dos fatores pastejo do azevém e época de reposição de P e K

(Figura 8). Quando não houve a entrada de N (dose 0 kg N ha⁻¹), o ambiente com pastejo correspondeu a 42% mais N mineral no solo em relação ao sem pastejo. Como o coeficiente da inclinação da reta é muito similar dentre os tratamentos, pode se dizer que esta diferença perdura entre as demais doses. Também é possível observar que a época de reposição de P e K se comporta de forma distinta nos diferentes sistemas com e sem pastejo, pois com pastejo há maiores quantidades de N mineral quando se faz a adubação tradicional e sem pastejo o comportamento é inverso. O N mineral no solo em relação ao fator pastejo ou não do azevém se comportou de forma inversa à quantidade de N estocado no resíduo (Figura 8). Se em ambiente pastejado foi observado menor quantidade de N estocado no resíduo em relação ao ambiente sem pastejo, o N estocado no solo foi superior no com pastejo em relação ao sem pastejo (Figura 8).

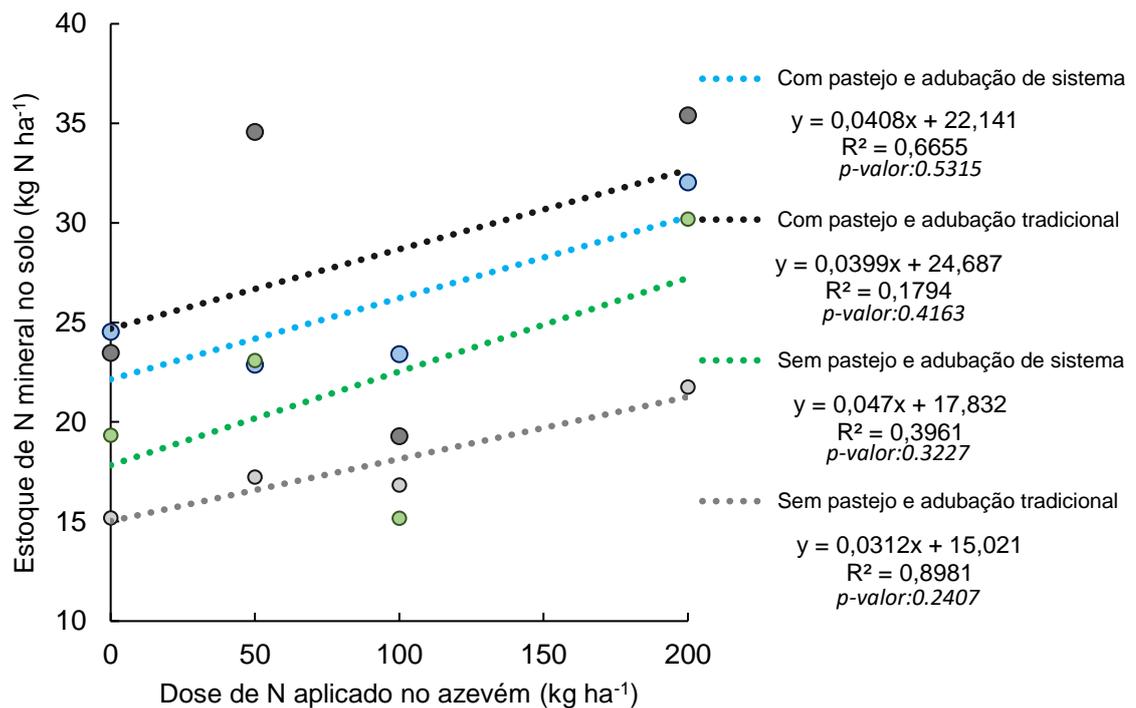


Figura 8. Estoque e N mineral no solo em Plintossolo Argilúvico Distrófico típico após o azevém afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio, em novembro de 2019 na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS).

Não houve diferença significativa em relação as variáveis de estoque C-BMS e N-BMS, sendo as médias de 263 e 24 kg ha⁻¹, respectivamente. Comparando estes valores com as quantidades de C-BMS e N-BMS da fase anterior a semeadura do azevém, houve um aumento de 42% nos estoques de C-BMS e uma diminuição 60% nos estoques de N-BMS, na média dos fatores.

6.4. Fase cultivo de Soja (safra 2019/2020)

A produtividade da soja foi afetada pelo pastejo do azevém (Figura 9a) e época de reposição de P e K (Figura 9b), independentemente da dose de N. O ambiente pastejado foi 14% superior ao sem pastejo (Figura 9) e a adubação de sistema foi 11 % superior à adubação tradicional. As doses de N não surtiram efeito sob a produtividade da soja, sendo a média de 2,9 t ha⁻¹. Numericamente, a soja produziu 3,1, 3,0, 3,0, 2,7 t ha⁻¹ nas doses 0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹, respectivamente.

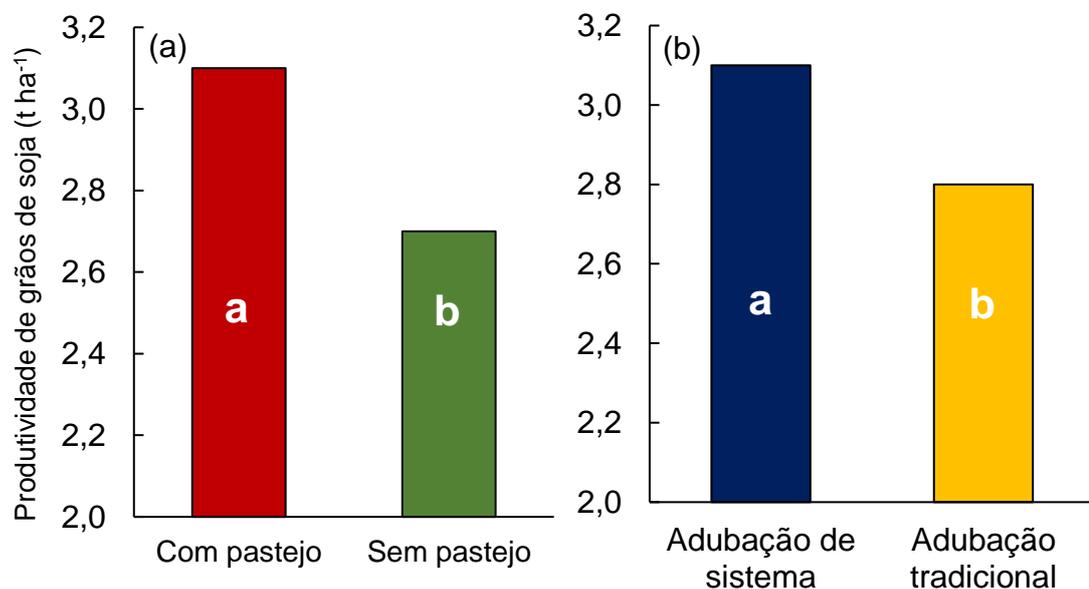


Figura 9. Produtividade da soja na safra 2019/2020 afetada pelo pastejo do azevém (independente da época de reposição de P e K) (a) e época de reposição de P e K (Independente do pastejo do azevém) (b) e independentemente das diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS) Teste Tukey ($p < 0,05$).

O estoque de N na soja não foi afetado pelas fontes de variação (Tabela 2), permanecendo, na média, em 190 kg N ha⁻¹. Numericamente, o estoque de N na MS da soja para os tratamentos com e sem pastejo foram de 197,1 e 179,5, respectivamente. A contribuição da FBN para a nutrição nitrogenada na soja foi afetada pela combinação das fontes de variação pastejo do azevém e época de reposição de P e K em função da dose de N (Figura 10). O único sistema que não diminuiu a %FBN com o aumento da dose de N foi com pastejo e adubação tradicional. Com pastejo e adubação de sistema dependeu menos da FBN em relação aos sistemas sem pastejo. Os sistemas com pastejo tiveram 5% menos contribuição da FBN em relação ao sem pastejo, quando não houve aporte de N no azevém. Contudo, com o aumento da dose de N no azevém as porcentagens praticamente se igualam (dose 200 kg N ha⁻¹), mantendo-se na média de 62,2 %.

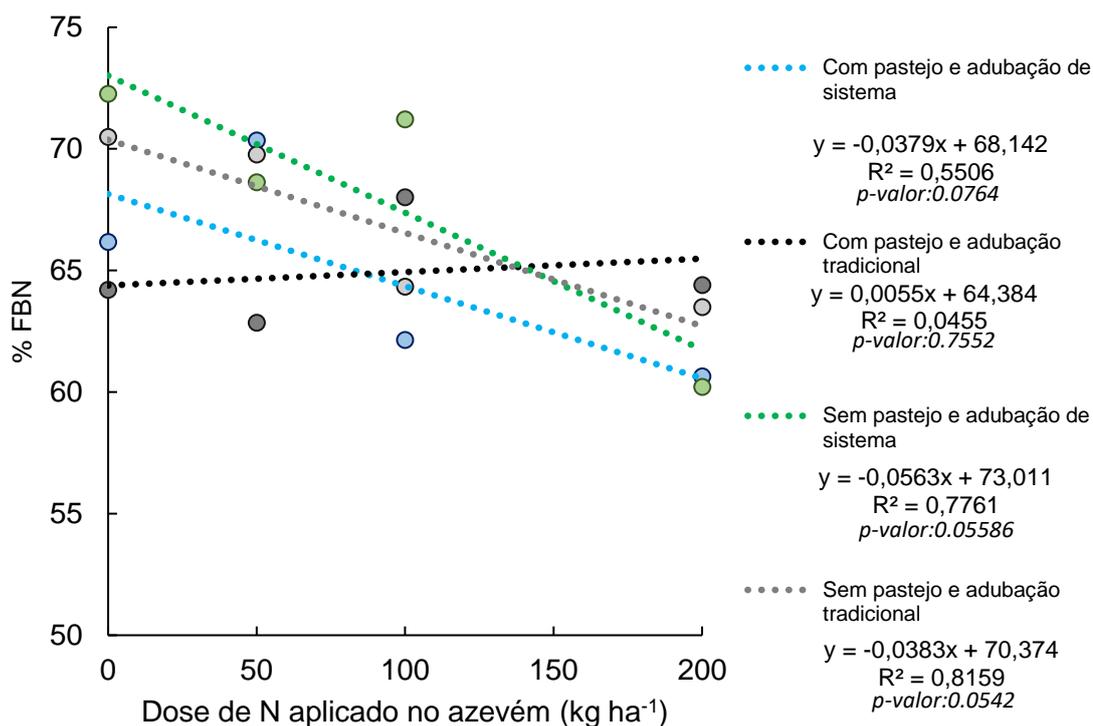


Figura 10. Porcentagem de colaboração da fixação biológica de nitrogênio (%FBN) na cultura da soja afetada pelo pastejo do azevém e épocas de reposição de fósforo e, condicionados as diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. Coletas de massa seca para resíduo realizadas no final do período hibernal no final de outubro na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020).

A quantidade de N (kg ha^{-1}) aportado pela FBN não foi afetada pelas fontes de variação, por mais que a %FBN tenha sido diferente significativamente. Desta forma, a quantidade de N proveniente da FBN ficou na média de 121 kg ha^{-1} . Por outro lado, a quantidade de N derivado do solo para a nutrição nitrogenada da soja foi afetado significativamente pelo pastejo do azevém, independente da época de reposição de P e K e das doses de N (Figura 11). O N derivado do solo na nutrição nitrogenada da soja em ambiente com pastejo foi $14,1 \text{ kg ha}^{-1}$ superior ao ambiente sem pastejo (Figura 11). A contribuição do N derivado do solo na nutrição nitrogenada da soja em relação a época de reposição de P e K e as doses de N foi na média de $62,5 \text{ kg N ha}^{-1}$.

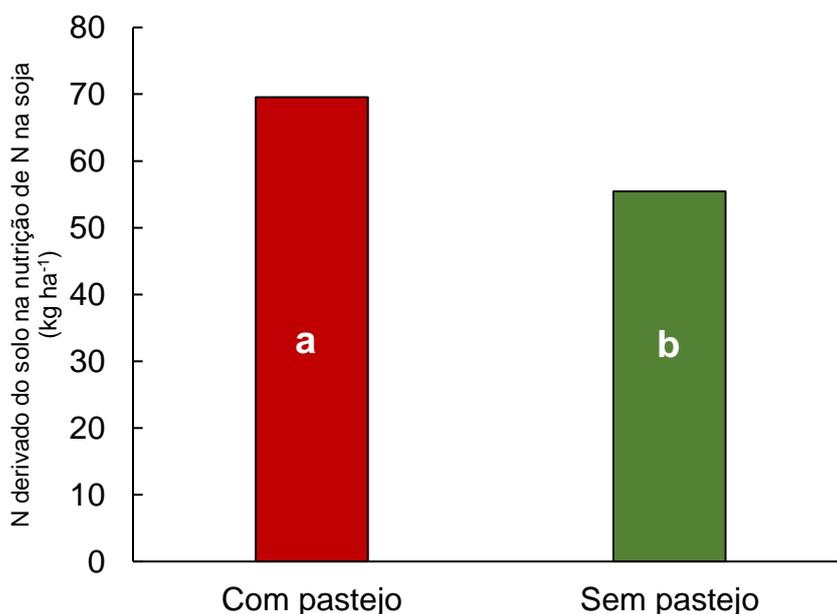


Figura 11. Contribuição na nutrição nitrogenada da soja do nitrogênio derivado do solo afetado pelo pastejo do azevém independente das épocas de reposição de fosforo e potássio e das doses de nitrogênio aplicados no azevém. Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2019/2020).

O balanço parcial de N foi afetado pelos pastejo do azevém e pelas doses de N, independente das épocas de reposição de P e K (Figura 12). Pode-se observar que sistemas sem pastejo foram menos negativos do que sistemas pastejados. A diferença de BPN entre os tratamentos foi de 35, 21, 9 e 18 kg N ha^{-1} para as doses 0, 50, 100 e 200 kg N ha^{-1} . A adubação de sistema e adubação tradicional permaneceram na média de -53 kg N ha^{-1} .

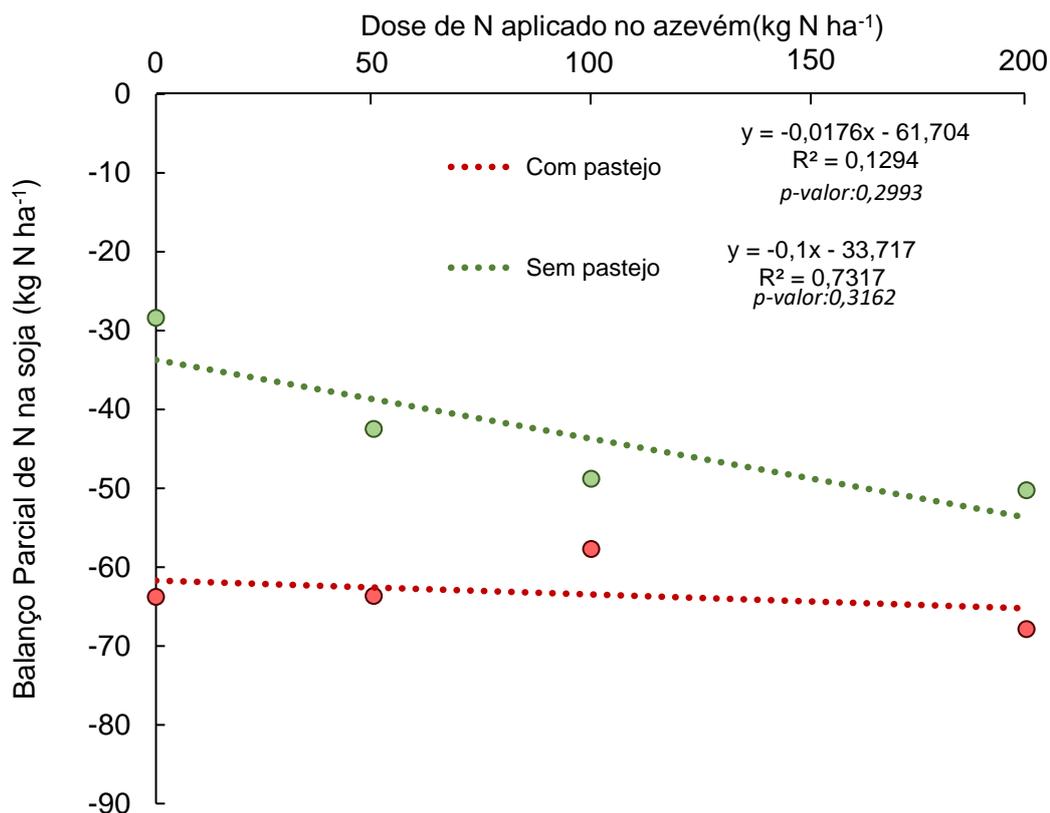


Figura 12. Balanço parcial de nitrogênio na soja afetada pelo pastejo do azevém (na média das épocas de reposição de fósforo e potássio) condicionados as diferentes doses de nitrogênio aplicados no azevém. Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, RS, safra 2018/2019).

A diferença entre o BPN e o estoque de N na MS do azevém representa a quantidade de N que foi estocada na MS do azevém, e pode suprir os valores negativos de BPN. Ambiente com pastejo, por mais que tiveram um BPN mais negativo, tiveram valores desta diferença semelhantes aos do ambiente sem pastejo, em praticamente todas as doses de N testadas.

Tabela 3. Diferença entre o BPN na soja e o estoque de N na MS do azevém, com e sem pastejo, épocas de reposição de P e K e doses de N.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Com pastejo			Sem pastejo		
	A.Sistema	A.Tradicional	Média	A.Sistema	A.Tradicional	Média
0	35	22	29	32	8	20
50	27	50	38	77	52	65
100	122	49	85	116	47	82
200	135	115	125	61	115	88
Média	80	59	70	76	55	67

7. DISCUSSÃO

7.1 Resposta do azevém à adubação nitrogenada em diferentes épocas de adubação de reposição de P e K e pastejo do azevém

7.1.1 Pastejo do azevém

O aumento da produção de MS do azevém em função do aumento da dose de N era um resultado esperado, por esta planta ser uma gramínea com potencial de resposta (Timm et al., 2019). O azevém utilizado como cultivo de cobertura – sem pastejo – atingiu sua máxima produção em 130 kg N ha⁻¹ (Figura 3a). Cinar et al. (2019), testando doses de N no azevém sem pastejo, encontraram respostas até a dose de 150 kg N ha⁻¹ e, também, tiveram diminuição da produtividade na maior dose testada, que foi de 300 kg N ha⁻¹. Qualquer adubação nitrogenada, sobretudo doses elevadas de N, em sistemas que utilizam o azevém como planta de cobertura não são a realidade da maioria dos produtores, em função do investimento necessário e a falta de um retorno financeiro em curto espaço de tempo. Desta forma, a resposta produtiva do azevém à menor dose testada (50 kg N ha⁻¹) é de fundamental importância no convencimento dos agricultores à adoção da adubação nitrogenada do azevém como cobertura, pelo aumento dos estoques de C e N no solo (Diekow et al., 2005) e melhor cobertura do solo (Ziech et al., 2015).

A resposta linear e crescente da produção do azevém sob pastejo ao N demonstra que as doses testadas neste experimento não foram suficientes para atingir o máximo potencial produtivo (Figura 3a). Pellegrini et al. (2010), testando diferentes doses de N em SIPA com pastejo de ovinos sob azevém, também encontraram resposta linear e crescente até a maior dose testada, de 225 kg N

ha⁻¹. Estes resultados demonstram o quão responsivo é o azevém sob pastejo a doses elevadas de N, sendo a adubação nitrogenada uma ferramenta importante, quando economicamente viável.

O teor de N na planta de azevém em ambiente com pastejo foi maior que em ambiente sem pastejo em todas as doses de N, que somado com a maior produção de MS, proporciona maior estoque de N na planta. O aumento do teor de N na planta com o aumento da dose N já era esperado (Timm et al., 2019; Abraha et al., 2016), principalmente pelo aumento do número de perfilhos por planta, que proporciona maior relação folhas/colmo, diminuindo o teor de fibras e aumentando o de proteína bruta, melhorando assim a palatabilidade e a digestibilidade da pastagem pelo animal (Cassol et al., 2011; Quatrin et al., 2015), além da maior produção de MS. Pereira (2019), estudando a composição bromatológica do azevém submetido a doses de N sob pastejo de cordeiros, obteve um acréscimo de 138% de proteína bruta com uma dose de 225 kg N ha⁻¹ em relação à testemunha (ausência de aplicação de N), atingindo um teor de proteína bruta de 219 g kg⁻¹. Esses resultados demonstram que, além de produção, há um aumento na qualidade da forragem oferecida.

O animal, ao ingerir a planta, altera o fluxo do N, que pode ser incorporado à carcaça do animal ou retornado ao solo. O maior estoque de N na planta de azevém em ambiente com pastejo deve ser interpretado como a quantidade de N que em algum momento constituiu tecido vegetal do azevém. Carvalho et al. (2011) estimaram, ao longo de um experimento de nove anos de integração soja-bovinos de corte, que para uma produção de 400 kg de peso vivo ha⁻¹ são exportados apenas 13 kg N ha⁻¹. Tomando como base este trabalho, os valores de estoque de N na planta podem estar um pouco superestimados, não tendo grande impacto no montante final. A maior produção de PTMS e estoque de N na MS do azevém, principalmente quando não houve aplicação de N, em ambiente pastejado pode ser explicado pelo maior estoque de N mineral no solo antes da semeadura do azevém (inverno 2019). Corroborando com este resultado, é possível notar que em ambiente pastejado também há maior quantidade de N proveniente de outras formas que não seja o fertilizante nitrogenado (Figura 5a). Contudo, poucos trabalhos fazem esta abordagem em relação ao aproveitamento da adubação nitrogenada pela planta de azevém e

da capacidade que esta tem de se nutrir com o N do solo e ciclar este nutriente. Isto pode ser observado quando não foi realizada a adubação nitrogenada e tanto com pastejo ou não apresentaram distintas PTMS e estoque de N na MS (Figura 5a). O N foi absorvido do solo e incorporado em frações orgânicas para, posteriormente, ser mineralizado e disponibilizado para o cultivo subsequente, diminuindo as chances de perda de N no sistema.

O aumento da dose de N no azevém não pastejado não aumentou a quantidade de resíduo vegetal deixado para o cultivo subsequente (Figura 6), contudo aumentou o estoque de N no resíduo (Figura 7). Desta forma, a relação do resíduo vegetal pode ter diminuído. Santi et al. (2003) estudaram diferentes dose de N aplicados em aveia preta (*Avena strigosa*) ao longo de três anos e as consequências na captação de nutrientes, observaram que o aumento de 10 kg N ha⁻¹ diminuiu uma unidade na relação C/N do resíduo de aveia preta. Por outro lado, há um aumento da produção de resíduo em ambiente pastejado e do estoque de N no resíduo vegetal com o aumento da dose de N aplicados no azevém. Esta variação na produção de resíduo tem impacto importante na fase de transição entre culturas num sistema produtivo, que será discutida no próximo tópico.

7.1.2 Estratégias de adubação de reposição de P e K

Os sistemas produtivos com solo de fertilidade construída proporcionam uma maior flexibilização da adubação de reposição dos nutrientes exportados. Muitos agricultores estão buscando estratégias que maximizem o operacional, traga maior economia na compra de fertilizantes e, se possível, resposta produtiva em uma fase sem impactar na produtividade de outra fase, em um sistema produtivo. Farias et al. (2020), na mesma área experimental, estudando diferentes épocas de reposição do P e K exportados pela soja no sistema azevém-soja pastejado ou não por ovinos, observaram um aumento na produção de MS do azevém de 19 e 16,5% em ambiente sem e com pastejo, respectivamente, quando foi realizada a reposição logo após a colheita da soja (adubação de sistemas), em comparação à reposição na semeadura da soja (adubação tradicional). Contudo, este estudo foi realizado com dose de 150 kg

N ha⁻¹, deixando dúvidas se ao alterar a dose de N, haveria alterações nestas respostas.

Em complemento ao trabalho de Farias et al. (2020), o presente estudo avaliou o efeito das doses de N combinados com as épocas de reposição. As menores doses de N aumentam a diferença na produção de MS do azevém entre os dois manejos de adubação. Com o aporte e/ou aumento da dose de N aplicada estes sistemas se equiparam cada vez mais em produção de MS do azevém, até serem iguais na maior dose de N testada (Figura 3b). Ou seja, o aporte de P e K no período hibernar se faz mais importante em locais que não se faz adubação nitrogenada na pastagem, pois o aporte de N com o passar do tempo pode aumentar a ciclagem de P e K (Santi et al., 2003) o que diminui a resposta a adubação. O estoque de N na MS do azevém também se comportou da mesma maneira (Figura 5b), principalmente devido à maior produção de MS. Uma provável explicação para a maior produção de azevém na média das doses de N é o sinergismo de absorção entre os nutrientes, principalmente em relação ao N e ao P. Schiegel & Havlin (2017), em experimento de 50 anos de duração, demonstraram sinergismo de absorção entre o N e o P, e consequente maior produção no milho.

7.2 Parâmetros de solo ligados ao N no sistema soja-azevém

O solo é o agente de transferência das ações realizadas em um período para o outro. Em um sistema produtivo composto por uma planta forrageira de período hibernar – azevém – e um cultivo de grãos, a realização de uma intervenção no azevém hibernar pode impactar na produção e/ou nutrição do cultivo subsequente, como a soja (Assmann et al., 2003). A adubação nitrogenada afetou produção total de MS, estoque de N na MS, na quantidade de resíduo e estoque de N no resíduo do azevém e as consequências da entrada de N no sistema, também impacta, o N mineral no solo. Os benefícios de maior produção de MS de resíduo do azevém se traduz em maior proteção do solo contra o impacto direto das gotas da chuva, diminuindo os riscos de erosão e aumentando a capacidade de infiltração de água no solo (Steele et al., 2012), favorecendo menor perda de água por escoamento superficial e aumentando a

retenção de água no solo (Lanzanova et al., 2013), podendo ser o fator preponderante no aumento da produtividade da soja em anos com déficit hídrico (Nicoloso et al., 2008).

Os principais fatores que impactam a disponibilidade do N no solo para as culturas é a quantidade de N inicial e a mineralização do N ao longo do tempo (Sadras & Lemaire, 2014; Reetz, 2017). A disponibilidade inicial de N depende da entrada via fertilizantes e da quantidade de resíduo aportado (Souza et al., 2009). Já a mineralização do N depende da relação C/N do resíduo, pois resíduos de relação C/N alta proporcionam a imobilização do N do solo para degradar as maiores quantidades de C e resíduos de relação C/N baixa não necessitam imobilizar o N do solo, aumentando a velocidade de decomposição e mineralização do N (Aita & Giacomini, 2003). A adubação nitrogenada somente afeta a velocidade de mineralização do N em ambiente sem pastejo, por elevar o estoque de N na MS do resíduo sem ter aumento a quantidade de MS do resíduo, conseqüentemente, diminuindo a relação C/N e podendo aumentar a velocidade de mineralização do N. Já em ambiente pastejado, a velocidade de disponibilidade de N para o cultivo subsequente é mais rápida do que em ambiente sem pastejo, devido à menor quantidade de resíduo (Assmann et al., 2013) e à maior labilidade do resíduo em superfície (Pitta et al., 2013).

O solo tinha maiores quantidades de C-BMS e N mineral quando manejado sem e com pastejo, respectivamente, após a colheita da soja da safra 2018/2019 (Figura 2). Estes resultados podem ser explicados pela dinâmica de decomposição dos materiais vegetais. Na safra 2018/2019, não houve diferenças na produtividade de soja entre os tratamentos (Alves et al., 2021), mas teve maior quantidade de MS residual do azevém no ambiente sem pastejo em relação com o ambiente pastejado, como já esperado (Farias et al., 2020). Conseqüentemente, não havendo diferenças de deposição de MS da soja no verão, os microrganismos do solo ainda estão decompondo a maior quantidade de resíduo do ambiente sem pastejo, o que explica a maior quantidade de C-BMS (Figura 2a).

Por outro lado, a menor quantidade de C-BMS e maior quantidade de N mineral em ambiente pastejado (Figura 2) deve-se a menor quantidade de

resíduo vegetal do azevém deixada no inverno (Souza et al., 2009, Pitta et al., 2013, Farias et al., 2020), somado ao aporte de resíduos de maior labilidade e estruturas menos fibrosas (Pitta et al., 2013) proporcionando maior velocidade na mineralização do N pelos microrganismos. Somado a isto, a maior quantidade de N mineral no solo promoveu aumento na produção do azevém, principalmente na ausência da adubação nitrogenada (Figura 3a). Sendo evidente a sua contribuição na diferença de quase 1 t MS ha⁻¹ produzida a mais em ambiente com pastejo, em relação ao sem pastejo

O azevém no inverno de 2019 apresentou maior produção de produção total DE MS, maior estoque de N na MS do azevém, menor produção de resíduo vegetal e menor estoque de N no resíduo em ambiente pastejado em relação ao não pastejado, como discutido no tópico anterior. E antes da semeadura da soja, os estoques de N mineral no solo também foram superiores em ambiente pastejado (Figura 8). Desta forma, pode-se considerar que a diferença no estoque de N mineral entre os sistemas pastejados ou não é contínua ao longo de toda a safra. A maior quantidade de N mineral no solo em ambientes com pastejo pode ser atribuída ao maior potencial de ciclagem de N (Carvalho et al., 2010) e maior teor de matéria orgânica (Assmann et al., 2014), associados à maior atividade da biomassa microbiana no solo (Souza et al., 2010).

As doses de N aplicadas no azevém hibernal via adubação aumentaram o estoque de N no solo após o azevém do inverno 2019 e antes da safra de soja 2019/2020 em todas as combinações dos tratamentos (pastejo do azevém e estratégias de reposição de P e K – Figura 8). Este aumento do estoque de N no solo após o azevém deve ser atribuído às consequências produtivas da adubação nitrogenada no azevém, visto que o N mineral proveniente do adubo não permanece no solo por longos períodos, em função da absorção pelas plantas e da grande mobilidade no solo (Cardoso et al., 2011). Concomitantemente, o azevém adubado com doses inferiores a 200 kg N ha⁻¹, acabou estocando na MS maiores quantidades de N do que foi disponibilizado via adubação (Figura 5). Ou seja, o N mineral do solo nas doses de N inferiores a 200 kg N ha⁻¹ tem grande participação no montante absorvido pela planta, sendo maior em ambiente pastejado devido a quantidade de N proveniente dos dejetos dos animais e maior teor de MOS (Assmann et al., 2014).

7.3 Os impactos na soja do pastejo hibernar, da época de reposição de P e K e da adubação nitrogenada no azevém

A maior produtividade da soja quando foi realizada a adubação de sistemas em relação a adubação tradicional não é um resultado comum (Figura 9b), principalmente por que em solos de fertilidade construída – caso da área experimental – normalmente não há probabilidade de resposta à aplicação destes nutrientes. Este resultado pode ser atribuído à maior produção de produção total de MS no azevém quando realizado a adubação de sistema, favorecendo uma maior retenção de água nestes tratamentos. A maior retenção de água no solo em anos de seca, como a safra 2019/2020, é de suma importância para a produtividade da soja. Nicoloso et al. (2008) atribuíram à maior cobertura do solo, obtida com o uso de plantas de cobertura no consórcio de aveia e nabo forrageiro, os maiores rendimentos de soja encontrados no seu estudo.

A soja tem duas formas de nutrir-se de N: a FBN e a absorção pelo solo (Sinclair & Nogueira, 2018). A FBN é a principal fonte de N, principalmente em países que desenvolveram tecnologias que favorecessem a simbiose entre as bactérias fixadoras de N e a planta de soja, como é o caso do Brasil e a Argentina (Hungria et al., 2005). A FBN pode corresponder a até 80% de todo o N absorvido pelas plantas (Herridge et al., 2008). Contudo, com o aumento dos patamares produtivos essa contribuição da FBN vem diminuindo e aumentando a demanda por N proveniente do solo (Ciampitti & Salvagiotti, 2018). Em todas as combinações entre os tratamentos houve maior contribuição da FBN onde não houve adubação nitrogenada no cultivo hibernar (Figura 10). A diminuição na contribuição da FBN com o aumento da dose de N aplicada no azevém é atribuída ao aumento do estoque de N mineral no solo (Figura 8). A planta de soja gasta menos energia ao absorver o N mineral do solo em relação a FBN (Câmara, 2014; Kaschuk et al., 2009), conseqüentemente, quando se tem maiores quantidades de N mineral disponível no solo este é preferido pela planta de soja, o que acaba inibindo a FBN (Mapope & Dakota, 2016).

A maior produtividade em ambiente pastejado em relação ao não pastejado vem se tornando recorrente em trabalhos que comparam com e sem

pastejo do azevém (Figura 9a) (Carvalho et al., 2010; Balbinot Junior et al., 2009; Soares et al., 2019). De modo geral, o ambiente pastejado em relação ao não pastejado produziu maior quantidade de produção total DE MS e estoque de N na MS do azevém (Figura 3a e Figura 5a), independentemente da dose de N. Consequentemente, obteve os maiores estoques de N no solo (Figura 8a). O que resultou em maior proporção de N derivado do solo na nutrição nitrogenada da soja (Figura 10 e Figura 11) e, possivelmente, impacto na produtividade da soja (Figura 9a). As possíveis explicações para menor produção em ambiente sem pastejo podem estar ligadas ao maior custo energético para a soja ao fazer simbiose com as bactérias fixadoras de N (Câmara, 2014; Kaschuk et al., 2009), que somado ao ano de déficit hídrico que impacta negativamente na FBN (Sinclair & Nogueira, 2018) e a lenta mineralização do N imobilizados nas maiores quantidades de resíduos em ambiente sem pastejo (Figura 6). Desta forma, ambiente pastejado teve maiores quantidades de N prontamente disponível, principalmente no início do desenvolvimento da soja, o qual a FBN ainda não tem atuação expressiva. Somado a isto, Cooper & Scherer (2012) estudando a aplicação de fertilizantes nitrogenados na soja, sugeriram que doses pequenas de N no início do desenvolvimento da soja em solos deficientes em N proporciona maior crescimento inicial da planta, sem impactar negativamente a FBN. De forma análoga a este estudo, o ambiente com pastejo forneceu maiores quantidades de N via solo no momento á qual a planta tinha carência de N, enquanto em ambiente sem pastejo houve imobilização do N e sua consequente indisponibilidade.

Os valores negativos de BPN indicam quanto de N esta sendo exportado junto a produção de grãos de soja em comparação ao fixado pela FBN (Figura 12). O BPN mais negativo em ambiente pastejado em relação ao ambiente não pastejado deve-se principalmente à maior produtividade da soja e da maior contribuição do N derivado do solo na nutrição nitrogenada da soja, em todas as doses de N aplicados no azevém (Figura 9 a e Figura 11). No ambiente sem pastejo, o aumento da dose de N aplicado no azevém fez com que o BPN fosse mais negativo, principalmente pela menor colaboração da FBN conforme o aumento da dose de N. Logo, alguma estratégia deve ser tomada para repor o

N exportado pela soja e pela carne, por mais que na carne as quantidades sejam pequenas.

Uma forma de suprir os valores negativos de BPN é estimulando a produção de MS do azevém através da adubação nitrogenada. Uma forma de demonstrar a colaboração da adubação nitrogenada na mitigação dos valores negativos do BPN é a diferença entre o BPN e o estoque de N na MS do azevém (Tabela 3). Os valores desta diferença ficaram positivos, mesmo quando não foi realizada adubação nitrogenada, em função do histórico da área ser de baixas produção de soja (Alves et al., 2021), abaixo da média do estado do RS e em função do déficit hídrico do ano (Cardoso et al., 2020). Contudo, o aumento da produção de MS proporcionado pelo aumento da dose de N contribuiu para todas as combinações de sistemas (época de reposição de P e K e pastejo animal) demonstrando a importância e o potencial da prática de adubação nitrogenada no azevém colaborando para o sistema produtivo ser sustentável.

8. CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada no azevém impactou tanto na produção de MS quanto na nutrição nitrogenada do azevém. O aumento da dose de N aplicado no azevém não foi suficiente para alcançar a maior produção de MS no ambiente pastejado, sendo que o aumento de 1 kg ha⁻¹ de N aumentou 17,5 kg de MS ha⁻¹. Por outro lado, em ambiente sem pastejo a maior produção é obtida em doses entre 100 e 200 kg N ha⁻¹. O aumento da dose de N também aumentou a quantidade de resíduo em ambiente pastejado, sendo que 1 kg N ha⁻¹ contribui com 10,3 kg MS ha⁻¹ de resíduo para o cultivo subsequente. E, apesar de em ambiente sem pastejo não haver incremento em quantidade de MS de resíduo, houve a melhora na qualidade do resíduo ao aumentar o estoque de N na MS.

A adubação nitrogenada no azevém não impactou a quantidade de N estocado na soja. Contudo, o aumento da dose de N aplicado no azevém aumentou o estoque de N no solo e, conseqüentemente, diminuiu a contribuição da FBN na nutrição nitrogenada na soja e aumentou a contribuição do N proveniente do solo. Por fim, o aumento do estoque de N na MS do azevém causado pela adubação nitrogenada repõe a maior quantidade de N exportado junto aos grãos da soja e não suprido pela FBN (valores de BPN negativos).

O ambiente pastejado proporcionou maiores estoques de N mineral no solo em relação ao ambiente não pastejado, tanto antes da semeadura do azevém quanto antes da semeadura da soja. Conseqüentemente, o pastejo promoveu maior participação do N derivado do solo na nutrição nitrogenada do azevém e da soja, sendo um dos motivos pelos quais houve 14% mais produção de grãos de soja no ambiente pastejado em relação ao não pastejado.

A adubação de sistema – reposição na semeadura do azevém do P e K exportado pela soja – foi superior em produção de MS do azevém em relação

à adubação tradicional – reposição na semeadura da soja do P e K exportado pela soja – somente em doses inferiores a 200 kg N ha⁻¹. Isto demonstra que há uma interação entre a adubação nitrogenada com os nutrientes P e K na produção MS e nutrição nitrogenada do azevém. A adubação de sistema, também, aumento em 11% a produtividade de soja.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação nitrogenada do azevém é uma ferramenta para os produtores e deve ser explorada de maneira economicamente e ecologicamente sustentável. Quando monetizada com o pastejo animal, a adubação nitrogenada traz diversos benefícios para o sistema de monocultivo soja-azevém. Dentre eles, o aumento da produção de MS, maior estoque de N na MS, aumento na produção de resíduo vegetal para o cultivo subsequente, maior estoque de N mineral no solo, maior produção de soja e maior colaboração do N derivado do solo na nutrição nitrogenada do azevém.

Em ambiente sem pastejo, que é a maior realidade dos produtores, a prática da adubação nitrogenada no azevém, também traz benefícios ao sistema, por mais que não seja economicamente viável. Os principais são o aumento da produção de MS para a manutenção dos teores de matéria orgânica no solo, menor relação C/N no resíduo vegetal e também o aumento do estoque de N mineral no solo, por mais que seja menores quantidades que sem pastejo. Mas também há outras alternativas economicamente viáveis para estas situações, como a inclusão de leguminosas em rotação de culturas ou mix de plantas gramíneas e leguminosa, sendo o objetivo o aporte de N no sistema.

Por fim, em ambos os sistemas a adubação nitrogenada do azevém é uma ferramenta de fundamental importância no suprimento do N exportado pela soja e não suprido pela FBN, evitando assim uma depleção dos estoques de N orgânico no solo e conseqüentemente, mantendo a sustentabilidade do sistema.

Em complemento, a adubação de sistema, reposição do P e K exportando na soja realizada no azevém, é outra ferramenta que vem a somar aos agricultores. Em relação a produção de MS do azevém, quando não se faz adubação nitrogenada, as respostas de produção são superiores na adubação de sistema do que sobre adubação tradicional. Assim, também, em ano com déficit hídrico houve maior produção de soja, podendo ser uma causa indireta da maior produção de MS e, possivelmente, maior retenção de água. Tirando os benefícios produtivos, a adubação de sistema traz diversos benefícios econômicos como melhor preço de compra de fertilizante, maior janela de aplicação e a presença de plantas mais eficientes na captação destes nutrientes – que no caso é o azevém.

Desta forma, o pastejo animal associado a adubação de sistema e a adubação nitrogenada do azevém no período hibernal são ferramentas que combinadas, ou não, trazem melhorias para um sistema de monocultivo. São formas de “diversificar” o sistema produtivo soja-azevem de maneira econômica e sustentável.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHA, A. B. *et al.* Forage yield and quality response of annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) to different water and nitrogen levels. **African Journal of Range & Forage Science**, Grahamstown, v. 32, n. 2, p. 125-131, 2015.
- 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**, Viçosa, MG, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALVES, R. C. *et al.* Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 1406-1415, 2015.
- ALVES, L. A. *et al.* Soil acidification and P, K, Ca and Mg budget as affected by sheep grazing and crop rotation in a long-term integrated crop-livestock system in southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 351, p. 197-208, 2019.
- ALVES, L. A. *et al.* Biological N₂ fixation by soybeans grown with or without liming on acid soils in a no-till integrated crop-livestock system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, [art.] 104923, [p. 1-16], 2021.
- ASSMANN, J. M. *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 52-59, 2014.
- ASSMANN, T. S. *et al.* Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 675–683, 2003.
- ASSMAN, T. S. *et al.* Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária. *In*: SOUZA, E. D. *et al.* **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018a. v. 1, p. 123-144.
- ASSMANN, T. S. *et al.* Effect of splitting nitrogen fertilization on Tifton 85: yield, nitrogen use efficiency, and nitrogen nutritional status of plants and soil. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 13, n. 22, p. 1154-1162, 2018b.
- BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPITTI, I. A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: a historical synthesis-analysis. **Crop Science**, Madison, v. 58, n. 1, p. 43-54, 2018.
- BAYER, C. *et al.* Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C. *et al.* Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, p. 55-118, 2011.

CÂMARA, G. M. S. **Fixação biológica de nitrogênio em soja**. Piracicaba: IPNI, 2014. (Informações Agronômicas, 147).

CARDOSO, L. C. *et al.* **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. 57 p. (Circular: divulgação técnica, n. 6).

CAROZZI, M. *et al.* Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 449, p. 126-133, 2013.

CARVALHO, A. F. G. **Adubação nitrogenada de sistema e ofertas de forragem sobre a produtividade de um sistema de integração lavoura-pecuária**. 2018. 194 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 259-273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

CASSOL, L. C. *et al.* Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 4, p. 438-443, 2011.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 851-872.

CIAMPITTI, I. A.; SALVAGIOTTI, F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, n. 4, p. 1185-1196, 2018.

CINAR, S.; OZKURT, M.; CETIN, R. Effects of nitrogen fertilization rates on forage yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) in central black sea climatic zone in Turkey. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 18, n. 1, p. 417-432, 2020.

CHRISTIE, K. M. *et al.* Simulated seasonal responses of grazed dairy pastures to nitrogen fertilizer in SE Australia: pasture production. **Agricultural Systems**, Barki, v. 166, p. 36-47, 2018.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de estudos da Conab**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>. Acesso em: 14 fev. 2020.

COOPER, J. E.; SCHERER, H. W. Nitrogen fixation. *In*: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic Press, 2012. p. 389–408.

DEISS, L. *et al.* Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 274, p. 88-96, 2016.

DI, H. J.; CAMERON, K. C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 64, n. 3, p. 237-256, 2002.

DIEKOW, J. *et al.* Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p. 87-95, 2005.

EHRHARDT, F. *et al.* Assessing uncertainties in crop and pasture ensemble model simulations of productivity and N₂O emissions. **Global Change Biology**, Oxford, v. 24, n. 2, p. e603-e616, 2018.

FARIAS, G. D. *et al.* The role of integrated crop-livestock system and fertilization strategies for food production. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, 2020. (No prelo).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special Report, 80).

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização do forno micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 991-996, 1999.

FRANCHE, C.; LINDSTRÖM, K.; ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 321, n. 1/2, p. 35-59, 2009.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, 2015.

FRANCISCO, E. A. B.; CÂMARA, G. M. S.; SEGATELLI, C. R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 259-266, 2007.

- GALLOWAY, J. N. *et al.* Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, The Hague, v. 70, n. 2, p. 153-226, 2004.
- GIACOMINI, S. J. *et al.* Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 325-334, 2003.
- GUIMARÃES, A. P. *et al.* Bradyrhizobium strain and the ¹⁵N natural abundance quantification of biological N₂ fixation in soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 5, p. 516–524, 2008.
- HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 311, n. 1/2, p. 1–18, 2008.
- HUNGRIA, M. *et al.* The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. *In*: WERNER, D.; NEWTON, W. E. **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 25-42.
- HUNGRIA, M. *et al.* Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, p. 927–939, 2006.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, p. 408-416, 1998.
- KALEEEM-ABBASI, M. *et al.* Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization–immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions, **Solid Earth**, Hoboken, v. 6, n. 1, p. 197-205, 2017.
- KASCHUK, G. *et al.* Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 41, n. 6, p. 1233–1244, 2009.
- KUNRATH, T. R. *et al.* Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 645-653, 2015.
- KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, p. 259–263, 2006.
- LAL, R. Climate change mitigation by managing the terrestrial biosphere. *In*: LAL, R. *et al.* (ed.). **Recarbonization of the biosphere: ecosystems and the global carbon cycle**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 17-39.

LAL, R. Soil carbon sequestration for sustaining agricultural production and improving the environment with particular reference to Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton, v. 26, n. 4, p. 23-42, 2005.

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

LANZANOVA, M. E. *et al.* Residual effect of soil tillage on water erosion from a Typic Paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1689-1698, 2013.

LEGAY, N. *et al.* Contribution of above- and below-ground plant traits to the structure and function of grassland soil microbial communities. **Annals of Botany**, v. 114, n. 5, p. 1011–1021, 2014.

LIMA FILHO, O. F. *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

MAPOPE, N.; DAKORA, F. D. N₂ fixation, carbon accumulation, and plant water relations in soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties sampled from farmers' fields in South Africa, measured using ¹⁵N and ¹³C natural abundance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 221, p. 174–186, 2016.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I – Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1553-1567, 2012.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macro-nutrients. *In*: MARSCHNER, H. (ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego: Academic, 1995. p. 229-312.

MARTINS, A. P. *et al.* Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18-28, 2014.

MORAES, A. *et al.* Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4–9, 2014.

MORAES, A.; MOOJEN, E. L.; MARASCHIN, G. E. Comparação de métodos de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990, Campinas. [Resumos]. Campinas: SBZ, 1990. p. 332.

NICOLOSO, R. S. *et al.* Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1735-1742, 2008.

OLIVEIRA, E. *et al.* Estado da arte e estudos de caso em sistemas integrados de produção agropecuária no sul do Brasil. *In*: SOUZA, E. D. *et al.* **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. p. 239-254.

PAUFERRO, N. *et al.* ^{15}N natural abundance of biologically fixed N_2 in soybean is controlled more by the *Bradyrhizobium* strain than by the variety of the host plant. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 42, n. 10, p. 1694–1700, 2010.

PELLEGRINI, L. G. *et al.* Produção e qualidade de azevém-anual submetido a adubação nitrogenada sob pastejo por cordeiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 9, p. 1894-1904, 2010.

PEREIRA, J. R. **Características nutricionais do azevém sob doses de nitrogênio e desempenho de cordeiros terminados em sistema integração lavoura pecuária**. 2019. 74 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2019.

PITTA, C. S. R. *et al.* Decomposition and nitrogen release in areas with and without grazing and its influence on corn. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 905-920, 2013.

QUATRIN, M. P. *et al.* Efeito da adubação nitrogenada na produção de forragem, teor de proteína bruta e taxa de lotação em pastagens de azevém. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 72, n. 1, p. 21-26, 2015.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

RIBEIRO FILHO, H. M. N. *et al.* Consumo de forragem e produção de leite de vacas em pastagem de azevém-anual com duas ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 10, p. 2038-2044, 2009.

SÁ, J. C. M. *et al.* Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation and Development**, Chichester, v. 26, p. 531-543, 2013.

SADRAS, V. O.; LEMAIRE, G. Quantifying crop nitrogen status for comparisons of agronomic practices and genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 164, p. 54-64, 2014.

SALTON, J. C. *et al.* Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70–79, 2014.

SANDINI, I. E. *et al.* Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 1315-1322, 2011.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SARTOR, L. R. *et al.* Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 899-906, 2011.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2016.

SCHLEGEL, A. J.; HAVLIN, J. L. Corn yield and grain nutrient uptake from 50 years of nitrogen and phosphorus fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 1, p. 335-342, 2017.

SEBEN JUNIOR, G. D. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Agregação do solo de acordo com a dinâmica de carbono e nitrogênio em solo sob diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1652-1659, 2016.

SHEARER, G.; KOHL, D. H. N₂-fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 13, n. 6, p. 699–756, 1986.

SILVA, A. P. *et al.* Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 119, p. 20-26, 2010.

SINCLAIR, T. R.; NOGUEIRA, M. A. Selection of host-plant genotype: the next step to increase grain legume N₂ fixation activity. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 69, n. 15, p. 3523–3530, 2018.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil. *In*: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. cap. 10, p. 340-379.

SMITH, K. A. *et al.* PA - Precision agriculture: reduction of ammonia emission by slurry application techniques. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 77, n. 3, p. 277-287, 2000.

SOARES, A. B.; CARVALHO, P. C. F.; NABINGER, C. Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1148-1154, 2005.

SOARES, A. B.; RESTLE, J. Adubação nitrogenada em pastagem de triticale mais azevém sob pastejo com lotação contínua: recuperação de nitrogênio e eficiência na produção de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 43-51, 2002.

SOARES, D. S. *et al.* How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 194, [art.] 104316, 2019.

SOUZA, E. D. *et al.* Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, E. D. D. *et al.* Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

STEELE, M. K.; COALE, F. J.; HILL, R. L. Winter annual cover crop impacts on no-till soil physical properties and organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, p. 2164-2173, 2012.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008.

STREETER, J.; WONG, P. P. Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 7, n. 1, p. 1-23, 1988.

TAMAGNO, S. *et al.* Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: a synthesis-analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 200, p. 18-27, 2017.

TAMAGNO, S. *et al.* Interplay between nitrogen fertilizer and biological nitrogen fixation in soybean: implications on seed yield and biomass allocation. **Scientific Reports**, London, v. 8, [art.] 17502, [p. 1-11], 2018.

TAMBARA, A. A. C. *et al.* Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 39, n. 3, p. 235-241, 2017.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. Departamento de Solos, 1995. (UFRGS. Boletim técnico; 5).

TIMM, L. C. *et al.* Ryegrass (*Lolium multiflorum*) BRS Ponteio and wheat (*Triticum aestivum*) BRS Tarumã pasture with different doses of ammonium sulfate as topdressing. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 41, [art.] e44026, [p. 1-10], 2019.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Brazil: exporter guide**. Whashington, DC, 2020. Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: 14 fev. 2021.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 190, p. 139-146, 2019.

VIEIRA, R. C. B. *et al.* Adubação fosfatada para alta produtividade de soja, milho e cereais de inverno cultivados em rotação em Latossolos em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 794-808, 2015.

VIEIRA, R. C. B. *et al.* Potassium fertilization for long term no-till crop rotation in the central-southern region of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, [art.] e0150193, [p. 1-16], 2016.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

VENDRAMINI, J. M. B.; DUBEUX, J. C. B.; SILVEIRA, M. L. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 2, p. 308–315, 2014.

ZIECH, A. R. D. *et al.* Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.