

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

SANDOVAL CARPINELLI

**CICLAGEM DE MACRONUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO CENTRO-SUL DO PARANÁ**

**PONTA GROSSA - PR
2017**

SANDOVAL CARPINELLI

**CICLAGEM DE MACRONUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO CENTRO-SUL DO PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de concentração: Agricultura. Linha de pesquisa: Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca
Co-orientadora: Dra. Laíse da Silveira Pontes

**PONTA GROSSA - PR
2017**

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

C298 Carpinelli, Sandoval
Ciclagem de macronutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária no Centro-Sul do Paraná/ Sandoval Carpinelli. Ponta Grossa, 2017.
61f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira Fonseca.
Coorientadora: Prof^a Dr^a Laíse da Silveira Pontes.

1.Glycine max L.. 2.Merrill. 3.Avena strigosa Schreb. 4.Lolium multiflorum L.. 5.Integração Lavoura-Pecuária. I.Fonseca, Adriel Ferreira. II. Pontes, Laíse da Silveira. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. IV. T.

CDD: 633.2



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "Ciclagem de macronutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária no Centro-Sul do Paraná".

Nome: Sandoval Carpinelli

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Prof. Dr. Tangriani Simioni Assmann

Dr. Josiane Burkner dos Santos

Data da Realização: 17 de março de 2017.

À minha mãe,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições, sem as quais não teria sido possível a realização do presente trabalho:

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na qual tive a oportunidade de realizar o curso de Mestrado em Agronomia.

Ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), pela concessão da área experimental.

Ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pelo estímulo, confiança, orientação e amizade.

À pesquisadora Dra. Laíse da Silveira Pontes, pelo apoio, sugestões, auxílio na condução do experimento e amizade.

À Fundação Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo no mestrado.

Ao Laboratório de Nutrição de Plantas e Laboratório Multiusuário da UEPG, e seus funcionários e técnicos: em especial ao Elias Luiz Meira e Rachel Govea pelo auxílio nas análises químicas de planta.

A todos estagiários e funcionários do IAPAR, pelos auxílios durante a condução do experimento. Ao suporte técnico de Giliardi Stafin e Bruno Silveira, bem como os bolsistas de iniciação científica do IAPAR.

Aos colegas e amigos (as) Juliano Garda de Oliveira, Jessica Alves dos Santos, Flávia Biassio Riferte, Keli Guera, Jasmine Jurich Pillati, Bruna Simone Siqueira, Julienne de Geus Moro, Thays Schneider, Emerson Homenchuk, Guilherme Ramon Moll, Pamela Scortegagna e Jheferson Gabriel do Carmo pelo companheirismo e auxílio nas amostragens de solo e planta e análises laboratoriais.

À minha família e aos meus amigos, pelo estímulo e companheirismo durante todo esse processo.

O presente trabalho faz parte de um acordo de cooperação (Nº 21500.10/0008-2) entre o IAPAR e a Embrapa Florestas e tem recebido apoio financeiro do CNPq.

RESUMO

CARPINELLI, S. **Ciclagem de macronutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária no Centro-Sul do Paraná**. 2017. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) possibilitam sinergismo entre as atividades agrícolas, pecuária e/ou florestal, realizadas na mesma área de cultivo, buscando maximizar os fatores de produção. Modificações no microclima, em SIPA, podem afetar a deposição e a decomposição do resíduo, bem como a liberação e a ciclagem dos nutrientes no sistema de produção. Os objetivos deste trabalho foram: (i) quantificar o aporte dos resíduos e de macronutrientes em SIPA, sob Cambissolo Háptico de textura média, nos Campos Gerais do Paraná; (ii) estimar a taxa de decomposição do resíduo e a liberação de macronutrientes da cultura de soja e da biomassa de forragem anual de inverno (consórcio de aveia preta e azevém anual), em SIPA. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos casualizados com três repetições. Os tratamentos consistiram de combinações de presença de componente arbóreo (eucalipto + grevilea) e doses (90 e 180 kg ha⁻¹) de nitrogênio mineral (ureia – 450 g kg⁻¹ de N) aplicado na pastagem anual de inverno. De modo a melhor representar o ambiente arborizado, foi feita a subdivisão da unidade experimental em cinco distâncias. O experimento foi implantado em 2006; no entanto, as avaliações inerentes a este trabalho foram realizadas no período compreendido entre os meses de dezembro/2014 a outubro/2015. Nesse período foram inseridos aleatoriamente *litter bags* de resíduo de forragem anual de inverno e de soja, nos tratamentos com ausência e presença do componente arbóreo, respectivamente. As amostragens do material contido nos *litter bags* foram realizadas aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura das culturas (tanto verão quanto de inverno). Foram realizadas as seguintes avaliações: quantidade e qualidade do resíduo vegetais, taxa de decomposição do resíduo vegetal remanescente e de liberação dos macronutrientes (nitrogênio - N, fósforo - P, potássio - K, cálcio - Ca, magnésio - Mg e enxofre - S) dos resíduos, tanto da fase de lavoura como da fase pastagem, ao longo do tempo. A interação entre os fatores avaliados afetou a liberação do S do resíduo do pasto e o K do resíduo de soja. O sistema arborizado, bem como a menor dose de nitrogênio, ocasionou menor massa de resíduo (tanto da pastagem como da lavoura) quando comparado aos demais tratamentos. A quantidade de resíduo da pastagem foi afetada pela distância das árvores. Maiores concentrações dos macronutrientes (K, Ca e Mg) no resíduo da pastagem, ao final do período de pastejo, foram observadas no sistema arborizado. A ausência do componente arbóreo ocasionou maiores concentrações de Ca e Mg no resíduo da soja. Além da maior quantidade de massa de resíduo da soja na maior dose de N, tal resíduo apresentava maior concentração em K e S do que a menor dose. Variações na taxa de decomposições de massa seca remanescente dos resíduos da pastagem e soja também foram influenciadas pela distância em relação aos renques arbóreos. A liberação de N, P, K e Mg do resíduo pasto e de P, Mg e S do resíduo da soja não foi influenciada pelos tratamentos. A decomposição do resíduo da pastagem e seu respectivo efeito proporcionou uma maior ciclagem de nutrientes para a soja do que o oposto.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill, *Avena strigosa* Schreb, *Lolium multiflorum* L, *litter bags*, Integração Lavoura-Pecuária, deposição de nutrientes, macronutrientes, resíduo remanescente.

ABSTRACT

CARPINELLI, S. **Nutrient cycling in integrated crop-livestock systems in the Paraná Southern-Central**. 2017. Dissertation of master degree in Agronomy - State University of Ponta Grossa.

Integrated crop-livestock systems (ICLS) enable synergism between agricultural, livestock and/or forestry activities carried out in the same area, focusing maximization of production factors. Changes in ICLS microclimates can affect the deposition and decomposition of plant residues, as well as macronutrient and nutrient cycling present in the system. The aims of this study were (i) to quantify the contribution of plant residues and macronutrients in ICLS, under loamy-sand Typic Distrudept, in the Paraná Campos Gerais area; and (ii) to estimate the decomposition of the residue and the release of macronutrients from the soybean crop and the biomass of annual winter forage (consortium of black oats and annual ryegrass) in ICLS. The experimental design was a randomized complete block with three replicates. The treatments consisted of combinations of the presence of an arboreal component (eucalyptus + *Grevillea*) and doses (90 and 180 kg N ha⁻¹year⁻¹) of mineral nitrogen (as urea - 450 g kg⁻¹ N) applied to the annual intercropped pasture. In order to better represent the forested environment, the experimental unit was subdivided into five distances. The experiment was implemented in 2006. However, the evaluations inherent to this study were carried out from December 2014 up to October 2015. During this period, litterbags of a consortium of black oat residues with ryegrass and soybean were randomly inserted in the treatments with the absence and presence of the arboreal component, respectively. Samplings of the material contained in the litterbags were carried out at 7, 15, 30, 60, 90 and 120 days after crop sowing (both in summer and winter). The following evaluations were performed: amount and quality of the plant residue, decomposition rate of the remaining plant residue and macronutrient release (nitrogen - N, phosphorus - P, potassium - K, calcium - Ca, magnesium - Mg and sulfur - S) of the residue, both in the tillage phase and in the pasture stage, over time. The forested system, as well as the lower nitrogen dose, presented lower residue mass (both in the pasture and in the crop) compared to the other treatments. Tree distances also affected the amount of grass residue. The highest mean macronutrient concentrations (K, Ca and Mg) in the pasture residue at the end of the grazing period was observed in the arboreal system. The no-tree system resulted in higher concentrations of Ca and Mg in the soybean residue when compared to the arboreal system. In addition to the greater amount of soybean residue mass at the highest N dose, this residue presented higher N, K and S concentrations compared to the lowest dose. Variations in the decomposition rate of remaining pasture and soybean residue dry mass also occurred as a function of distance from tree trunks. The evaluated factors did not affect the release of P, K and Mg from the pasture residue and P, Mg and S from the soybean residue. The interaction between the evaluated affected S release from the pasture residue and K from the soybean residue. The decomposition of the residue of pasture and its respective effect provided a greater cycling of nutrients for soybean.

KEYWORDS: *Glycine max* L. Merrill, *Avena strigosa* Schreb, *Lolium multiflorum* L, litter bags, Integrated crop-livestock systems, decomposition, macronutrient, residue.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Arranjo arbóreo e distância de avaliação entre renques arbóreos (D1 e D5, adjacentes aos renques; D2 e D4, posições intermediárias e D3, a posição central entre dois renques). 21
- Figura 2.** Croqui da área experimental localizada na Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa (PR). As distintas cores representam os três blocos. Linhas brancas indicam as divisões dos piquetes durante a fase de pastejo. Cores indicam blocos (N90: 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N180: 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio). 22
- Figura 3.** Precipitação (mm) e médias de temperatura mínima e máxima (°C) durante o período experimental para a cidade de Ponta Grossa - PR, 2015 (Fonte: Polo Regional de Pesquisa Ponta Grossa). 22
- Figura 4.** Sacola de decomposição ou litter bag. 25
- Figura 5.** Efeito das distâncias entre renques arbóreos (D1 até D5) para a massa de resíduo (A) e concentração de potássio (B) no resíduo de aveia preta consorciada com azevém anual em SIPA arborizado. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Coeficientes de variação: massa de resíduo 49,7% e Potássio 28,9%. 30
- Figura 6.** Efeito das distâncias entre renques arbóreos (D1 até D5) para os teores de potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C) no resíduo de soja em SIPA arborizado. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Coeficiente de variação: Potássio 25,5%; Cálcio 47,0% e Magnésio 20,7%. 32
- Figura 7.** Efeito da posição entre renques arbóreos na decomposição de massa seca remanescente da pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo. Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. 34
- Figura 8.** Liberação de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e magnésio (D) do resíduo de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos. 35
- Figura 9.** Liberação de cálcio (A) nos resíduo de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo; (B) Efeito da distância entre os renques arbóreos na liberação de cálcio de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos. 36
- Figura 10.** Liberação de enxofre do resíduo de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) em avaliações realizadas pelas combinações de ausência ou presença de componente arbóreo e doses de N ao longo do tempo. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos. 36
- Figura 11.** Efeito da posição entre renques arbóreos na decomposição de massa seca remanescente de soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo. Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7 m) posição central entre dois renques. 39
- Figura 12.** Modelo de regressão não linear para à liberação e acúmulo de N no resíduo de soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em dois sistemas integrados de produção agropecuária. 40
- Figura 13.** Modelo de regressão não linear para à liberação e acumulado de magnésio (A), enxofre (B) e fósforo (C) no resíduo de soja ao longo do tempo (fase com pastejo). 41
- Figura 14.** Modelo de regressão não linear para à liberação e acúmulo de Potássio do resíduo de soja em avaliações realizadas pelas combinações de ausência ou presença de componente arbóreo e doses de N. 42

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura (forragens) ou colheita (grãos).	19
Tabela 2. Aporte de nutrientes minerais na área experimental em cada cultura.	20
Tabela 3. Porcentagem (%) de restrição luminosa na subdivisão da unidade experimental no sistema arborizado, isto é, nas cinco distâncias entre os renques arbóreos.	23
Tabela 4. Resultados decorrentes da análise de variância (ANOVA) para as variáveis na quantidade (massa de resíduo) e concentrações de nutrientes no resíduo de pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual ao final do período de pastejo (17/11/2014).	28
Tabela 5. Médias de massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuário.	29
Tabela 6. Massa de resíduo e concentrações de fósforo no resíduo de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuário e submetido a duas doses de nitrogênio mineral no período de pastejo.	29
Tabela 7. Resultados decorrentes da análise de variância (ANOVA) para as variáveis da quantidade e concentração de nutrientes no resíduo de soja no início do experimento.	31
Tabela 8. Médias de massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de soja no início do experimento em dois sistemas integrados de produção agropecuária.	31
Tabela 9. Massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de soja com duas doses de nitrogênio mineral adubado no período de pastejo.	31
Tabela 10. Valores de F e significância (P) para as variáveis matéria seca e liberação de macronutrientes do pasto devido ao sistema de produção, doses de N, posição entre dois renques e interações.	33
Tabela 11. Parâmetros do modelo exponencial simples para massa seca remanescente dos resíduo da pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo.	33
Tabela 12. Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de decomposição dos resíduo de pastagem e as constantes de decomposição, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) e ajuste (R^2)	34
Tabela 13. Parâmetros do modelo exponencial simples para porcentagem de enxofre remanescente no resíduo de pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual durante a fase lavoura ao longo do tempo.	37
Tabela 14. Valores de F e significância (P) para as variáveis matéria seca e liberação de macronutrientes da soja devido ao sistema de produção, doses de N, posição entre dois renques e interações.	38
Tabela 15. Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de decomposição dos resíduo de soja e as constantes de decomposição, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) e ajuste (R^2).	39
Tabela 16. Parâmetros do modelo exponencial simples para porcentagem de nitrogênio remanescente no resíduo de soja ao longo do tempo durante a fase pastejo.	40
Tabela 17. Parâmetros do modelo exponencial simples para potássio remanescente dos resíduo soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	13
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1	Sistemas integrados de produção agropecuária.....	14
3.2	Ciclagem e dinâmica de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária.....	15
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1	Localização, caracterização do meio físico e histórico da área.....	18
4.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	20
4.3	Condução do experimento.....	23
4.4	Amostragem e análises laboratoriais.....	24
4.5	Análises estatísticas.....	26
5	RESULTADOS.....	28
5.1	Quantidade e concentrações de macronutrientes no resíduo da pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuária.....	28
5.2	Quantidade e concentrações de nutrientes no resíduo de soja em sistemas integrados de produção agropecuária.....	30
5.3	Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de aveia preta consorciada com azevém em sistemas integrados de produção agropecuária.....	32
5.4	Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de soja em sistemas integrados de produção agropecuária.....	37
6	DISCUSSÃO.....	43
6.1	Massa de resíduos e concentrações de nutrientes por ocasião da implantação das culturas de verão e inverno	43
6.2	Decomposição e liberação de macronutrientes de resíduo da pastagem em sistemas integrados de produção agropecuária.....	48
6.3	Decomposição e liberação de macronutrientes de resíduo da soja em sistemas integrados de produção agropecuária.....	54
7	CONCLUSÕES.....	58
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	59

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) caracterizam-se por interações planejadas em diferentes escalas espaço-temporais que abrangem a exploração de cultivos agrícolas e produção animal na mesma área (CARVALHO et al., 2014). Por exemplo, o uso de SIPA tem sido considerado uma opção viável para recuperar áreas de pastagens degradadas (CARVALHO et al., 2010b). Desde que devidamente planejados e executados, os SIPA podem trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais ao produtor rural, bem como para a sociedade em geral (MORAES et al., 2014).

Nos SIPA, os nutrientes necessários para o crescimento das plantas são fornecidos por diferentes meios: (i) adubação via fertilizantes minerais e orgânicos; (ii) resíduos vegetais (ASSMANN et al., 2008; ASSMANN et al., 2014; CARVALHO et al., 2010a); (iii) deposição atmosférica (ASSMANN et al., 2008; DUBEUX JR et al., 2007); e (iv) excrementos animais (DUBEUX JR et al., 2007).

A ciclagem de nutrientes pode ser definida como o fluxo de nutrientes entre os distintos componentes do ecossistema (DUBEUX JR et al., 2007). Entende-se como nutriente, todo elemento considerado essencial para o desenvolvimento do sistema de produção. Os SIPA são capazes de incrementar a resiliência ambiental, pelo aumento da diversidade biológica e pela efetiva e eficiente ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2010a). Como resultado, tem-se melhoria da qualidade do solo e oferecimento de serviços ecossistêmicos e mitigação das mudanças climáticas (ASSMANN et al., 2008).

A ciclagem de nutrientes é variável dentro de um ecossistema, podendo ocorrer perdas de nutrientes durante este processo (DUBEUX JR et al., 2007). O processo de ciclagem é influenciado por vários fatores, dentre eles, vegetação, animais em pastejo e componentes dos diferentes níveis tróficos do ecossistema (ASSMANN et al., 2014). Outros fatores podem influenciar a ciclagem de nutrientes, como por exemplo, decomposição da serapilheira, que é

governada pela temperatura e umidade, natureza dos organismos, qualidade da serapilheira, relação C:N e o conteúdo de lignina (DUBEUX JR et al., 2014). Portanto, em SIPA, deve-se considerar o componente animal, que recicla nutrientes via excreta animal (ASSMANN et al., 2008; CARVALHO et al., 2010a), além da presença do componente arbóreo, recicla nutrientes via serapilheira.

Em pastagens, a maior parte dos nutrientes retorna ao solo por meio da excreta animal (DUBEUX JR et al., 2007). Nos SIPA ocorre melhor aproveitamento dos nutrientes presentes nas pastagens, em virtude de as perdas por exportação serem menores, uma vez que o excremento dos animais fica na área pastejada e ocorre a ciclagem de nutrientes (ASSMANN et al., 2008).

A ciclagem de nutrientes assume papel fundamental em SIPA arborizados, pois há aumento desta e também, da eficiência de utilização dos nutrientes, quando em comparação com lavouras e/ou pastagens tradicionais e sem o componente arbóreo. Em sistemas naturais, o componente arbóreo promove aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes no solo (XAVIER; CARVALHO; ALVIM, 2003). Assim, as árvores podem aproveitar nutrientes de camadas mais profundas do solo e através da ciclagem biogeoquímica, tornam esses nutrientes disponíveis nas camadas superficiais (KARAM et al., 2013), proporcionando melhoria na fertilidade do solo (XAVIER; CARVALHO; ALVIM, 2003).

No entanto, a introdução do componente arbóreo pode alterar as características morfológicas das culturas associadas, bem como a quantidade e qualidade da palhada remanescente. Além disso, a presença do componente arbóreo pode afetar a velocidade de decomposição do resíduo pelo fato de proporcionar alterações microclimáticas no ambiente (KARAM et al., 2013).

Em situações onde não há limitação de disponibilidade de nutrientes, o N é o principal nutriente responsável pela produção de forragem e/ou de grãos (ASSMANN et al., 2008). A

adubação nitrogenada nas gramíneas aumenta a produção de massa de forragem, permitindo que a pastagem suporte maior carga animal (ASSMANN et al., 2008). Portanto, pode ser uma importante estratégia para aumentar o aporte de biomassa e conseqüentemente, proporcionar resíduos em quantidade e qualidade suficientes para o sistema de plantio direto (DUBEUX JR et al., 2014). As distintas doses de nitrogênio (N) alteram a resposta do crescimento das forrageiras, em geral, aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) nas diferentes posições entre os renques arbóreos (DEISS et al., 2014). Assim sendo, distintas doses de N afetam a quantidade e a qualidade no resíduo e conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes.

Há necessidade de se conhecer o processo de decomposição e liberação dos macronutrientes em SIPA, para aumentar a eficiência de uso dos nutrientes (DUBEUX JR et al., 2014). Em relação ao componente arbóreo, é de suma importância a escolha correta das espécies arbóreas que irão compor o sistema. Por exemplo, as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Grevillea robusta* têm sido indicadas para uso em SIPA nas condições subtropicais (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012).

A ciclagem de macronutrientes será dependente dos componentes do SIPA, por exemplo, com ou sem árvores, bem como do manejo destes (e.g. doses de N). Portanto, é importante conhecer os efeitos do manejo e dos diferentes componentes na ciclagem de nutrientes.

2 OBJETIVOS

Avaliar a ciclagem de nutrientes em SIPA, com presença e ausência do componente arbóreo (aos nove anos após o plantio), combinado com duas doses de N (90 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹), sob Cambissolo Háplico de textura média, nos Campos Gerais do Paraná.

Mensurar as concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) contido no resíduo da cultura de soja e da biomassa de forragem anual de inverno – consórcio de aveia preta com azevém anual.

Avaliar o efeito das combinações de doses de N e SIPA quanto ao aporte de resíduos vegetais, bem como sua respectiva qualidade

Estimar a decomposição e a liberação de macronutrientes dos resíduos de plantas (consórcio de aveia preta com azevém anual e soja), levando em consideração as combinações de doses de N e SIPA.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas integrados de produção agropecuária

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) associam solo, planta, árvores e/ou animais, que se integram em diferentes escalas espaço-temporais (MORAES et al., 2014). Tais sistemas podem viabilizar a produção de grãos, carne e madeira (FRANCHINI et al., 2014) como, por exemplo, promoção da conservação e maior qualidade do solo, graças à melhorias dos seus atributos físicos, químicos e biológicos, aumento da ciclagem de nutrientes, além de melhor conforto térmico e bem-estar animal (CARVALHO et al., 2010a).

Os SIPA são caracterizados por explorar sinergismos entre seus componentes e propriedades emergentes, frutos de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera de áreas que integram atividades de produção agropecuária (MORAES et al., 2014). Portanto, constituem práticas planejadas para se obter benefícios das interações biológicas entre os componentes do sistema (CARVALHO et al., 2010b; MORAES et al., 2014). Por outro lado, mudanças ocorrem no microclima em SIPA arborizado, pois há mudanças na qualidade e na quantidade da radiação solar, por exemplo, que atinge as plantas anuais e perenes associadas, interferindo diretamente no seu desenvolvimento e no crescimento vegetal (BALDISSERA et al., 2014; DEISS et al., 2014). Tais alterações podem modificar as características morfofisiológicas das plantas, influenciando diretamente o valor nutritivo e a produtividade final (BALDISSERA et al., 2014).

Além disso, o sombreamento provocado pela presença de árvores pode afetar o ciclo fenológico das forrageiras, por meio de sua interferência com o início do florescimento e o número de inflorescências formadas (BARRO et al., 2008), além de afetar a proporção dos componentes morfológicos na biomassa colhida como, por exemplo, o comprimento de lâminas e a densidade de perfilhos. O principal desafio é otimizar os SIPA através da seleção de espécies

forageiras com alto potencial para ambientes sombreados, além de determinar ferramentas de manejo para tais espécies (CARVALHO et al., 2010b).

Os SIPA, particularmente àqueles com gramíneas e/ou leguminosas anuais, têm intensificado e proporcionado resultados satisfatórios (PACHECO et al., 2011). Neste contexto de condições subtropicais, gramíneas como, por exemplo, as aveias, são ótimas opções para períodos de inverno, principalmente por apresentarem boa produtividade, qualidade nutricional e resposta a adubação, principalmente a nitrogenada (DEISS et al., 2014). O pastejo pode causar melhoria na fertilidade do solo, em razão do acúmulo de matéria orgânica, da alteração na ciclagem de nutrientes, da melhoria na eficiência do uso de fertilizantes e da capacidade diferenciada de absorção de nutrientes (BALBINOT et al., 2009). Em pastagens consorciadas em SIPA, a maior parte dos nutrientes retorna ao solo por meio da excreta animal ou serapilheira (DUBEUX et al., 2007). Todavia, é de fundamental importância o equilíbrio entre entradas e saídas de nutrientes, para a longevidade dos sistemas de produção (BALBINOT et al., 2009). A melhor compreensão desses ciclos é fator importante no estudo da sustentabilidade dos SIPA nos trópicos e subtropicais.

3.2 Ciclagem e dinâmica de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária

A ciclagem é entendida como um fluxo contínuo dos nutrientes (relação planta-solo-clima-atmosfera) do SIPA envolvendo a medição da quantidade e da velocidade de transferência de nutrientes de um compartimento para outro, visando a compreensão do seu balanço no sistema (ASSMANN et al., 2008). Quando se compara SIPA com outros sistemas de produção, verifica-se que, no primeiro, a ciclagem de nutrientes é aumentada, devido ao fato do animal se constituir como um fator acelerador (CARVALHO et al., 2010a). Além disso, em sistema integrados de produção, a adubação nitrogenada nas gramíneas aumenta a produção de massa de forragem, permitindo que a pastagem suporte um número maior de animais,

umentando o fluxo de nutrientes no sistema (DUBEUX et al., 2007; FRANCHINI et al., 2014; ASSMANN et al., 2008).

Além de influenciar na decomposição, outro fator preponderante que o SIPA arborizados favorece é a ciclagem de nutrientes e a exploração das diversas camadas do solo pelas raízes das diferentes plantas utilizadas no sistema. O sistema radicular das árvores explora camadas de solo mais profundas, uma vez que o nutriente absorvido nas camadas mais inferiores do solo será extraído para a parte aérea das plantas (ASSMANN et al., 2014). Esses nutrientes que são extraídos do solo e são deslocados novamente para superfície do solo através dos resíduos vegetais são responsáveis por fornecer nutrientes de uma maneira econômica afetando, a produção forrageira. A inclusão de árvores em sistemas integrados pode reduzir a entrada de adubos químicos, reduzindo o custo de produção.

Os animais são responsáveis pela aceleração da ciclagem de nutrientes em SIPA (DUBEUX JR et al., 2007), pois eles são responsáveis por vias de ciclagem e nutrientes que são fundamentais no funcionamento do SIPA. O aumento da produção de massa de forragem no período de inverno permite que a pastagem suporte um número maior de animais, conseqüentemente (CARVALHO et al., 2010b), proporcionando resíduo em quantidade e qualidade suficientes para o sistema de plantio direto, aumentando assim o conteúdo de matéria orgânica do solo, gerando melhoria na fertilidade do solo, privilegiando-se o sistema de produção como um todo (CARVALHO et al., 2010a).

As forrageiras semeadas durante o inverno, em sistema de plantio direto, apresentam capacidade de absorver nutrientes em camadas superficiais e posteriormente, liberá-los nas camadas superficiais por meio da decomposição e mineralização dos seus resíduos (PACHECO et al., 2011), o que pode contribuir para o uso eficiente de fertilizantes nas culturas anuais em sucessão, reduzindo, assim, problemas com a lixiviação de nutrientes. Além disso, a produção

de forragem na entressafra possibilita a alimentação animal, o que favorece o uso mais intensivo e integrado da propriedade rural (CARVALHO et al., 2010b).

O retorno e a distribuição dos nutrientes no sistema pastejado não ocorre de forma uniforme. Por exemplo, a maior parte do fósforo (P) retorna ao sistema via fezes animais (DUBEUX JR et al., 2014), evidenciando a complexidade e magnitude do SIPA. Em condições de maior carga animal, a excreta passa a ser a principal via de retorno, enquanto que, em baixa carga animal, a serapilheira é a principal via de retorno (DUBEUX JR et al., 2007). Essa distribuição heterogênea dos nutrientes nas duas vias de retorno (e.g. excreta animal e resíduo vegetal) aumenta a heterogeneidade de retorno dos nutrientes nos solos (ASSMANN et al., 2008).

O entendimento da dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais e animais em sistemas de produção é fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes. O processo de ciclagem é influenciado por vários fatores, dentre eles, vegetação, animais em pastejo e componentes dos diferentes níveis tróficos do ecossistema (ASSMANN et al., 2014). Outros fatores podem influenciar a ciclagem de nutrientes, como por exemplo, decomposição da serapilheira, que é governada pela temperatura e umidade, natureza dos organismos, qualidade da serapilheira, relação C:N e o conteúdo de lignina (DUBEUX JR et al., 2014). Portanto, em SIPA, deve-se considerar o componente animal, que recicla nutrientes via excreta animal (ASSMANN et al., 2008; CARVALHO et al., 2010a), além da presença do componente arbóreo.

É importante destacar que a produção de massa de resíduos nos SIPA possibilita a adição de nutrientes para a formação do equilíbrio da fertilidade do solo (DUBEUX JR et al., 2014; CASTRO et al., (2001). Entre os nutrientes, destacam-se os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização, caracterização do meio físico e histórico da área

O experimento foi conduzido na estação Experimental Fazenda Modelo (latitude: 25°07'24,3''S; longitude: 50°02'58,6''W; altitude média: 953 m, relevo plano a suave ondulado, com relevo entre 0,04 e 0,09 mm⁻¹ de declividade) do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, localizada no município de Ponta Grossa, na região fisiográfica dos Campos Gerais, região Centro-Sul do estado do Paraná. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb subtropical úmido mesotérmico, com verões brandos e inverno com geadas frequentes, com temperatura média anual de 17,6° C, com máximas e mínimas de 24,3° C e 8,5° C, respectivamente. A precipitação média anual situa-se entre 1600 e 1800 mm, distribuídos no decorrer do ano (CAVIGLIONE et al., 2000).

O solo é classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média (EMBRAPA, 2006). Por ocasião do início do presente estudo, o solo possuía os seguintes atributos na camada de 0-20 cm: pH (CaCl₂) de 4,8; concentrações de H+Al, Al, Ca, Mg e K de 48,0; 0,7; 19,3; 12,0 e 1,7 mmol_c dm⁻³, respectivamente; 15,7 mg dm⁻³ de P disponível (Mehlich-1); 12,9 g dm³ de C (Walkley-Black); 780 g kg⁻¹ areia, 30 g kg⁻¹ silte e 190 g kg⁻¹ argila, respectivamente.

O componente arbóreo do SIPA foi instalado no ano de 2006 pelo plantio das árvores de eucalipto (*Eucalyptus dunni* Maiden), aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.), dispostas em filas simples, com distância de 3 m entre árvores e 14 m entre linhas de árvores. Tais linhas foram equidistantes e dispostas transversalmente ao sentido da declividade do terreno para promover a diminuição do escoamento superficial da água das chuvas e para que o deslocamento de máquinas e de animais seja predominantemente transversal ao sentido da declividade do terreno (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2010). No início do ano de 2009 foi realizado desbaste das árvores de aroeira

de forma a reduzir a população inicial de 238 árvores ha⁻¹ para 79 árvores ha⁻¹ (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012). Além disso, desramas também foram realizadas no decorrer do desenvolvimento do componente arbóreo.

Desde 2010, as culturas de soja (*Glycine max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.) foram conduzidas alternadamente durante o verão e durante o inverno, pastagem anual de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) consorciada com azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é cultivada para cobertura do solo e pastoreio com bovinos de corte da raça Purunã, sendo todas as culturas implantadas sob sistema de plantio direto. Mais detalhes sobre as culturas e histórico da área podem ser observados na Tabela 1 e os aporte de nutrientes pela fertilizantes das culturas na Tabela 2.

Tabela 1. Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura (forragens) ou colheita (grãos).

Cultura	Semeadura	Espaçamento e densidade	Cultivar ou Variedade	Manejo da forragem e colheita (grãos)
Sorgo forrageiro (2009/2010)	19/12/2009	-	AG 2501C	-
Aveia preta e Azevém (2010)	05/05/2010	93 kg/ha de aveia e 40 kg/ha de azevém	Aveia IPR 61 e Azevém Comum	-
Soja (2010/11)	04/11/2010	0,40 m e 10,58 sementes m ⁻¹	COODETEC 202	~ Final de março
Aveia preta e Azevém (2011)	20/04/2010	0,17 m	Aveia IPR 61 e Azevém Comum	Dessecação 04/11/2011
Milho (2011/12)	18/11/2011	0,80 m e 4,8 sementes m ⁻¹	IPR 164	~ Início de maio
Aveia preta e Azevém (2012)	18/05/2012	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	Aveia IPR 61 e Azevém Comum	Dessecação 01/10/2011
Soja (2012/13)	15/11/2012	0,40 m e 11,0 sementes m ⁻¹	BRS 232	Colheita 17/04/2013
Aveia preta e Azevém (2013)	22/04/2013	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	Aveia IPR 61 e Azevém FEPAGRO São Gabriel	Dessecação aos 22 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2013/14)	12/11/2013	0,80 m e 5,8 sementes m ⁻¹	IPR 164	Colheita 07/05/2014
Aveia preta e Azevém (2014) ¹	19/05/2014	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	Aveia IPR 61 e Azevém FEPAGRO São Gabriel	Dessecação aos 32 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2014/15)	01/12/2014	0,40 m e 11,2 sementes m ⁻¹	Apollo – RR	Colheita 14/04/2015
Aveia preta e Azevém (2015) ¹	12/05/2015 à 14/05/2015	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	Aveia IPR 61 e Azevém FEPAGRO São Gabriel	Dessecação aos 8 dias após a retirada dos animais da área

⁽¹⁾ Proporção de Aveia preta consorciada com azevém anual: 45 kg de aveia preta ha⁻¹ + 15 kg de azevém ha⁻¹.

Tabela 2. Aporte de nutrientes minerais na área experimental em cada cultura.

Cultura	Nutrientes (kg ha ⁻¹)						
	N		P	K	Ca	Mg	S
	Base	Cobertura					
Sorgo forrageiro (2009/2010)	12,0	180,0	42,0	24,0	-	-	-
Aveia preta e Azevém (2010)	-	-	-	-	-	-	-
Soja (2010/11)	-	-	60,0	60,0	33,0	-	12,0
Aveia preta e Azevém (2011)	9,3	90 ou 180 ⁽¹⁾	69,9	23,3	16,8	2,4	-
Milho (2011/12)	40,0	92,0	120,0	40,0	28,0	-	-
Aveia preta e Azevém (2012)	16,0	90 ou 180 ⁽¹⁾	120,0	40,0	28,0	4,0	-
Soja (2012/13)	-	-	80,0	80,0	44,0	-	16,0
Aveia preta e Azevém (2013)	16,0	90 ou 180 ⁽¹⁾	120,0	40,0	28,0	4,0	-
Milho (2013/14)	40,0	124,2	120,0	40,0	28,0	4,0	-
Aveia preta e Azevém (2014)	16,0	90 ou 180 ⁽¹⁾	120,0	40,0	28,0	4,0	-
Soja (2014/15)	-	-	80,0	80,0	44,0	-	16,0
Aveia preta e Azevém (2015)	16,0	90 ou 180 ⁽¹⁾	120,0	40,0	28,0	4,0	-

⁽¹⁾ Referentes as combinações de acordo com os tratamentos (na forma de ureia – 450 g de N kg⁻¹ de ureia) aplicado na pastagem anual consorciada de inverno

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos casualizados com três repetições (Figura 2). Os tratamentos consistem de combinações de presença de componente arbóreo e doses de N mineral (na forma de ureia – 450 g de N kg⁻¹ de ureia) aplicado na pastagem anual consorciada de inverno:

T1: ausência do componente arbóreo combinado com 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N;

T2: ausência do componente arbóreo combinado com 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N;

T3: presença do componente arbóreo combinado com 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N;

T4: presença do componente arbóreo combinado com 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N;

Devido às possíveis diferenças na interceptação da radiação fotossintética entre renques arbóreos (14 m de distância entre dois renques), cada unidade experimental no sistema arborizado foi dividida visualmente em cinco distâncias entre os renques arbóreos (D1 e D5, adjacentes aos renques; D2 e D4, posições intermediárias e D3, a posição central entre dois renques) de modo a caracterizar o ambiente luminoso e a consequente ciclagem de nutrientes, tanto nas posições adjacentes às linhas de árvores, como na posição central entre renques de árvores (Figura 1).

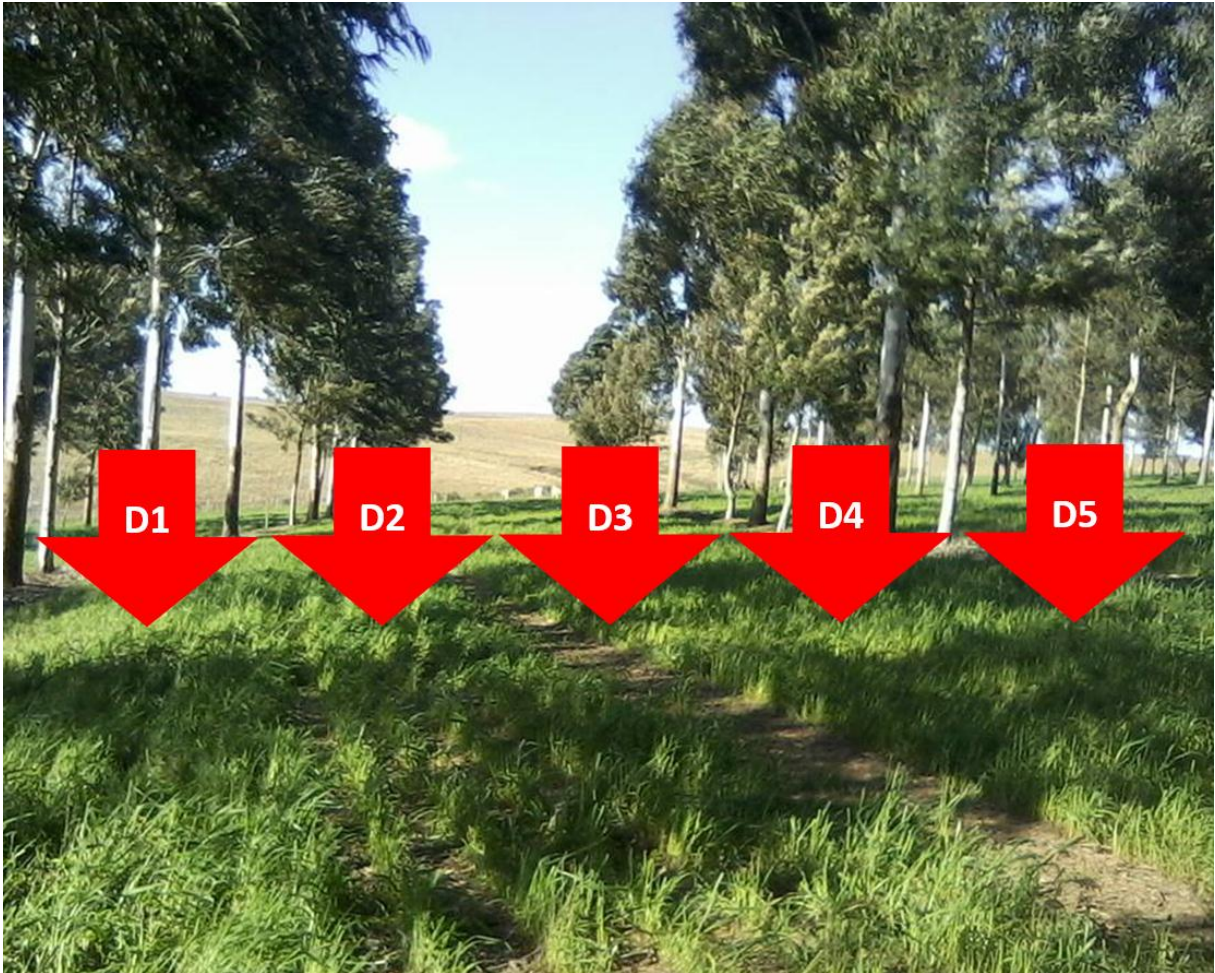


Figura 1. Arranjo arbóreo e distância de avaliação entre renques arbóreos (D1 e D5, adjacentes aos renques; D2 e D4, posições intermediárias e D3, a posição central entre dois renques).

A área total do experimento compreende 13,1 ha e está dividida em 12 piquetes (Figura 2), sendo que seis piquetes são conduzidos, desde 2009, em SIPA arborizado e seis piquetes em SIPA não arborizado. A fase experimental deste projeto compreende duas estações: uma com lavoura de soja, no verão 2014/2015 e outra com pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual durante o inverno de 2015.

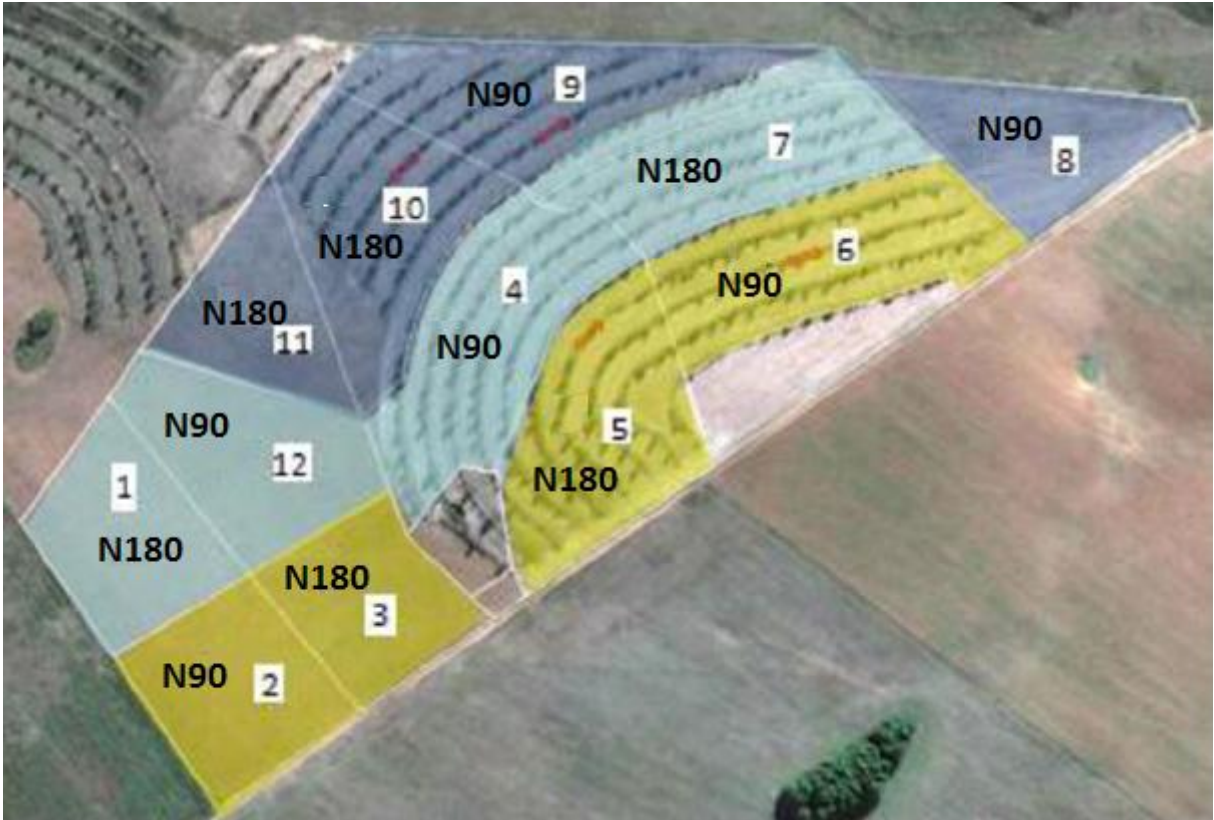


Figura 2. Croqui da área experimental localizada na Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa (PR). As distintas cores representam os três blocos. Linhas brancas indicam as divisões dos piquetes durante a fase de pastejo. Cores indicam blocos (N90: 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N180: 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio).

No decorrer deste estudo, os valores médios de temperatura em máxima e mínima (°C) e precipitações pluviiais (mm), estas podem ser observadas na Figura 3.

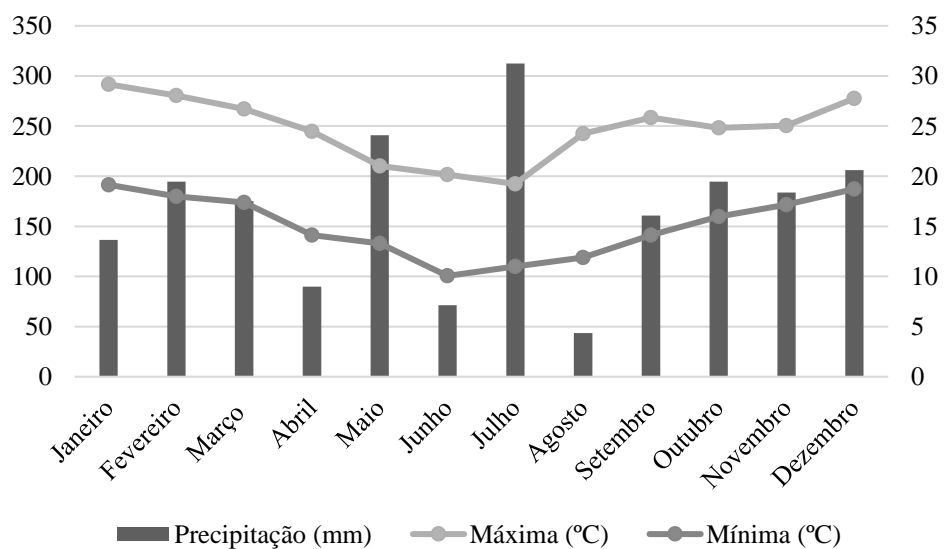


Figura 3. Precipitação (mm) e médias de temperatura mínima e máxima (°C) durante o período experimental para a cidade de Ponta Grossa - PR, 2015 (Fonte: Polo Regional de Pesquisa Ponta Grossa).

4.3 Condução do experimento

Durante o período experimental (01/12/2014 - 02/10/2015), a restrição de luz no SIPA foi avaliada em três ocasiões: janeiro, julho e agosto de 2015. Para tanto, foi utilizado dois ceptômetro (Decagon modelo AccPAR LP-80), cujas mensurações foram realizadas em área a pleno sol, próxima ao local do experimento, para medição da radiação fotossinteticamente ativa sem interferência do componente arbóreo. O outro ceptômetro foi utilizado para medição da radiação fotossinteticamente ativa em cada distância do experimento, sendo a leitura da radiação fotossinteticamente ativa realizada de minuto a minuto. Para o cálculo da intensidade de sombreamento, considerou-se a radiação fotossinteticamente ativa da área a pleno sol como 100%. Tal avaliação também foi realizada em função das cinco distâncias entre os renques arbóreos, de modo a caracterizar o ambiente luminoso tanto nas posições adjacentes às linhas de árvores, como na posição central entre renques de árvores (Tabela 3). As médias em cada distância e por turno estão apresentadas na Tabela 3. Nos períodos da manhã (9h00min às 11h40min) e tarde (13h30min às 15h10min). A restrição luminosa média nos períodos da manhã e tarde foi de 60 e 47%, respectivamente.

Tabela 3. Porcentagem (%) de restrição luminosa na subdivisão da unidade experimental no sistema arborizado, isto é, nas cinco distâncias entre os renques arbóreos.

Distâncias	Manhã (9:00 - 11:40)	Tarde (13:30 - (15:10)
D1	55,3	63,1
D2	52,6	55,4
D3	62,2	53,9
D4	66,7	31,7
D5	66,5	31,2
Média	60,6	47,1

Distância de avaliação entre renques arbóreos (D1 e D5, adjacentes aos renques; D2 e D4, posições intermediárias e D3, a posição central entre dois renques).

Aos 56 dias após a sementeira, quando a pastagem se encontrava com 24 ± 3.3 cm de altura, foi iniciado o pastejo (PONTES et al., 2017). Foram utilizados animais bovinos (de corte) da raça Purunã, empregando-se carga animal de $224 \pm 6,8$ e $240 \pm 6,1$ kg de peso vivo inicial por ha⁻¹. O método de pastejo utilizado foi o contínuo com carga variável, através da

técnica "put and take", mantendo-se 4 animais *testers* por unidade experimental e um número variável de animais reguladores, visando manter a altura da pastagem em torno de $20 \pm 3,0$ cm (CARVALHO et al., 2010b). O pastejo foi finalizado após 86 dias do seu início. Durante este período, receberam água e sal mineral à vontade. A adubação de base na pastagem foi feita com 400 kg ha^{-1} do formulado NPK (04-30-10) e a aplicação de N foi realizada na superfície, em área total, na forma de ureia, no início do perfilhamento da pastagem e de acordo com os tratamentos (Figura 2). A altura foi aferida semanalmente com o auxílio de um bastão graduado em 100 pontos aleatórios por unidade experimental. A média destes 100 pontos foi utilizada para a tomada de decisão pela entrada ou saída de animais reguladores conforme método sugerido por Carvalho et al. (2010b).

4.4 Amostragem e análises laboratoriais

Logo após a colheita da soja e término do pastejo (Tabela 1), procedeu-se a dessecação do resíduo com $2,5 \text{ l ha}^{-1}$ do herbicida de ingrediente ativo Glyphosate e a coleta de amostras para avaliação da quantidade de resíduo por unidade experimental. Foram cortadas, rente ao solo ($0,25 \text{ m}^2$), 15 e 10 amostras por unidade experimental nos tratamentos com e sem árvores, respectivamente. Em seguida, subamostras foram separadas de acordo com a origem do material (pastagem ou lavoura) para a confecção dos *litter bags*. Após cada coleta, as amostras foram secas em estufa por 48 h a 55° C e pesadas até a massa constante, conforme Assmann et al. (2014). As subamostras foram utilizadas para o preenchimento de bolsas de decomposição de $20 \times 20 \text{ cm}$ e malha de 2 mm (*litter bags*) contendo 20 g de matéria seca de resíduos vegetais (Figura 4). Foram inseridos, aleatoriamente, 18 e 30 *litter bags* por unidade experimental (u.e.) nos tratamentos de SIPA arborizados e não arborizados, respectivamente. Nos tratamentos de SIPA arborizados, os *litter bags* foram distribuídos considerando 5 distâncias entre renques arbóreos. Os *litter bags* foram inseridos no campo no momento em que as culturas foram

semeadas. A coleta do material contido nos *litter bags* foi realizada aos 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura das culturas.



Figura 4. Sacola de decomposição ou litter bag.

Os resíduos vegetais remanescentes nos *litter bags* foram secados a 55° C em estufa de ventilação forçada até a massa constante, tiveram sua massa avaliada, moídos em moinho do tipo Willey (peneiras de 1 mm) e armazenados em recipiente plástico até a realização das análises químicas. As concentrações de N foram determinadas por meio de digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações das concentrações de P, K, Ca, Mg e S foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) para P; espectrofotometria de emissão de chama (EEC) para K; espectrofotometria de absorção atômica (EAA)-chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S. Todas as análises químicas de plantas foram realizadas mediante o emprego dos métodos

sugeridos por Malavolta et al. (1997). A partir das quantidades de resíduo remanescente e de suas respectivas concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S, foram estimadas as liberações de macronutrientes nos SIPA.

4.5 Análises estatísticas

Os dados de quantidade de macronutrientes remanescentes foram ajustados a um modelo não-linear para cada unidade experimental, produzindo características de decomposição que foram analisados via análise de variância. O modelo exponencial foi:

$$Rem = res + act * e^{-kt} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Rem se refere à percentagem de nutriente (N, P, K, Ca, Mg e S) remanescente no tempo *t* (dias);

res é o tamanho da fração resistente;

act é a prontamente decomponível; e

k é a constante de decomposição da fração disponível.

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Efeitos foram consideradas significativas para $P < 0,05$.

A partir dos valores de *k*, calculou-se o tempo de meia vida ($t^{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para 50% da matéria seca ou dos macronutrientes ser decomposto ou liberado. Para tal cálculo, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$t^{1/2} = \ln(2)/k \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$\ln(2)$ é um valor constante (0,693); e

k é a constante de decomposição descrita anteriormente.

Dois análises preliminares foram realizadas. Primeira, foi feito o modelo de regressão não linear para cada unidade experimental. A partir destes modelos obtemos o prontamente disponível (g kg^{-1}) e a constante de decomposição da fração disponível, para cada unidade

experimental. Em seguida foi feita análise de variância (ANOVA) para o prontamente disponível e a constante de decomposição do prontamente disponível para ver os efeitos dos fatores bloco (aleatório), doses de N, SIPA, distância das árvores (fixos) e as suas interações (exceto com o bloco) que, quando não significativas, foram excluídas do modelo estatístico final. Quando necessário, para atender ao teste de normalidade, os dados foram transformados (e.g. raiz quadrada, logaritmo). Posteriormente, observou-se também os gráficos de interação entre os fatores categóricos tempo, doses de N, SIPA ou N vs. SIPA ou distância das árvores para as variáveis dependentes de massa de resíduo e nutrientes remanescentes ao longo do tempo de exposição no campo, ou seja, observou-se a sobreposição entre os intervalos de confiança pelo teste Tukey usando o procedimento Multifactor ANOVA (intervalo de confiança 95%). De acordo com tais resultados, os modelos não-lineares de regressão foram refeitos, visando sintetizar as informações em função dos fatores significativos. A quantidade liberada de nutrientes (kg ha^{-1}) ao longo de tempo foi calculada a partir da porcentagem de nutriente remanescente em cada data, obtida pelas equações do modelo de regressão não-linear, bem como pela quantidade de resíduo inicial e a proporção do nutriente neste resíduo.

Os dados de quantidade e concentração de nutrientes no resíduo foram também analisados usando o modelo GLM (Statgraphics Centurion XV), assumindo bloco como efeito aleatório e N*SIPA (i.e. presença ou não de árvores) e distâncias como fixos.

5 RESULTADOS

5.1 Quantidade e concentrações de macronutrientes no resíduo da pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuária

Foram observadas interações entre SIPA e doses de N apenas para o teor de P no resíduo remanescente do consórcio aveia preta com azevém anual no final do período de pastejo. Nesse caso, maior concentração de P no resíduo (4,6 g kg⁻¹ quando comparado à 3,2 g kg⁻¹) foi observado no SIPA arborizado e submetido à maior dose de N na pastagem. Em situação de menor dose de N na pastagem, foi observada maior concentração de P (5,0 g kg⁻¹ quando comparado à 4,8 g kg⁻¹) no resíduo nos tratamentos com SIPA não arborizado.

Para os SIPA estudados, todas as variáveis foram alteradas, exceto para a concentração de N, P e S no resíduo remanescente. Também foram verificados que as doses de N alteraram apenas os teores de P e a massa de resíduo remanescente. Quanto às distâncias entre o renque arbóreo, estas influenciaram a concentração de K e a massa de resíduo remanescente (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados decorrentes da análise de variância (ANOVA) para as variáveis na quantidade (massa de resíduo) e concentrações de nutrientes no resíduo de pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual ao final do período de pastejo (17/11/2014).

Fatores	GL	Massa de resíduo		Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Bloco	2	9,28	0,001	1,23	0,308	1,48	0,250	1,84	0,178	2,74	0,083	7,18	0,003	2,67	0,088
Nitrogênio	1	8,28	0,008	0,14	0,710	10,10	0,004	0,18	0,672	2,35	0,137	1,06	0,312	0,25	0,620
SIPA	1	70,46	0,000	1,15	0,293	3,75	0,066	6,73	0,015	11,91	0,002	13,01	0,001	3,12	0,088
Distâncias	4	5,00	0,004	1,42	0,255	2,23	0,099	5,94	0,002	1,48	0,235	1,27	0,308	1,07	0,393
SIPA*N	1	--	--	--	--	7,86	0,008	--	--	--	--	--	--	--	--

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns, não significativo.

Graus de liberdade (GL), valor de F (F) e significância (P).

A presença do componente arbóreo no SIPA diminuiu a massa de resíduo remanescente (Tabela 5). A concentração média dos macronutrientes no resíduo da pastagem de inverno, ao final do período de pastejo, foi maior no SIPA arborizado, com exceção dos teores de N, P e S (Tabela 5).

A menor dose de N diminuiu a massa de resíduo remanescente e também aumentou a

concentração de P (g kg^{-1}) no resíduo remanescente da forragem (Tabela 6). As demais variáveis não foram alteradas pelas doses de N (Tabela 4).

Tabela 5. Médias de massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de pastagem de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuário.

Sistemas	Massa de resíduo kg ha^{-1}	Nitrogênio g kg^{-1} (kg ha^{-1})	Fósforo g kg^{-1} (kg ha^{-1})	Potássio g kg^{-1} (kg ha^{-1})	Cálcio g kg^{-1} (kg ha^{-1})	Magnésio g kg^{-1} (kg ha^{-1})	Enxofre g kg^{-1} (kg ha^{-1})
SIPA não arborizado	2683 a	14,1 a (37,9)	4,1 a (10,9)	16,3 b (43,7)	2,8 b (7,5)	2,6 b (7,0)	1,3 a (3,6)
SIPA arborizado	1085 b	15,0 a (16,3)	4,7 a (5,1)	21,3 a (23,1)	4,2 a (4,6)	3,2 a (3,5)	1,7 a (1,8)
Coefficiente de variação (%)	58,3	13,4	24,8	28,9	31,3	16,5	27,6

Tabela 6. Massa de resíduo e concentrações de fósforo no resíduo de aveia preta consorciada com azevém anual em sistemas integrados de produção agropecuário e submetido a duas doses de nitrogênio mineral no período de pastejo.

Doses de Nitrogênio	Massa de resíduo		Fósforo	
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	g kg^{-1}
90 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	1215 b	4,9 a	5,89	
180 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	1487 a	4,3 b	6,40	
Coefficiente de variação (%)	58,3	24,8	--	

As massas de resíduo da pastagem de inverno foram menores nas distâncias próximas das árvores (D1 e D5), quando comparada à distância central (D3); entretanto, estas distâncias não diferiram das distâncias D2 e D4 (Figura 5A). As concentrações de K também variaram conforme a distância das plantas em relação aos renques arbóreos (Figura 5B). Maiores concentrações foram observadas nas posições próximas às árvores (D1 e D5), quando comparada à distância central (D3); entretanto, estas distâncias não diferiram das distâncias D2 e D4 (Figura 5B).

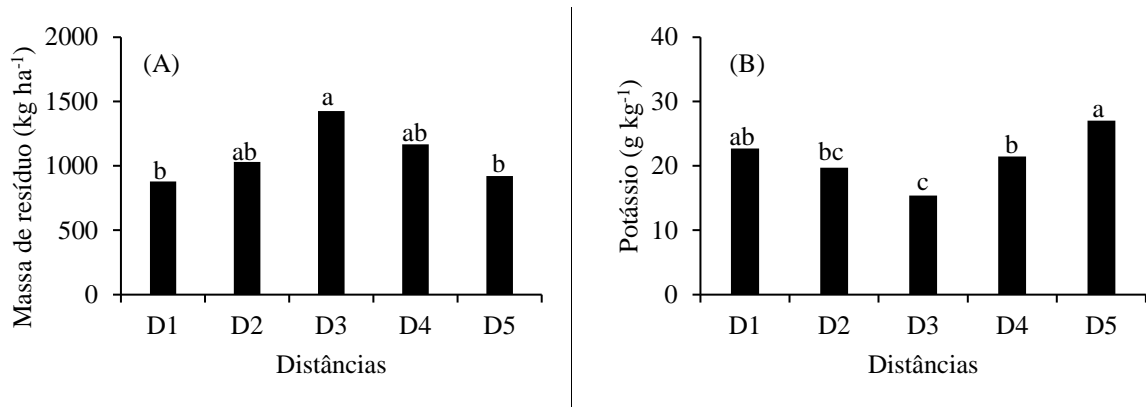


Figura 5. Efeito das distâncias entre renques arbóreos (D1 até D5) para a massa de resíduo (A) e concentração de potássio (B) no resíduo de aveia preta consorciada com azevém anual em SIPA arborizado. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Coeficientes de variação: massa de resíduo 49,7% e Potássio 28,9%.

5.2 Quantidade e concentrações de nutrientes no resíduo de soja em sistemas integrados de produção agropecuária

No final do período de lavoura (após a colheita dos grãos), foram observadas interações entre SIPA e doses de N para as variáveis massa de resíduo e as concentrações de P e Ca (Tabela 7). Maiores concentrações de P ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$ quando comparado à $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ de P) e Ca ($15,1 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca em relação à $7,9 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca) foram observados no sistema não arborizado submetido com doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} , respectivamente).

No sistema arborizado, com maior dose de N na pastagem, foram observados maior concentração de P ($2,58 \text{ g kg}^{-1}$ quando comparado à $3,21 \text{ g kg}^{-1}$) no resíduo de soja nos tratamentos submetido com doses de N (90 e 180 kg N ha^{-1} , respectivamente). Entretanto, a presença de árvores afetou a massa de resíduo de soja (3870 e 3362 kg ha^{-1} no SIPA com e sem árvores, respectivamente), provavelmente devido à alta restrição luminosa, 9 anos após o plantio das árvores. Diferenças significativas também foram observadas para a massa de resíduo entre as doses de N (3273 kg ha^{-1} e 3805 kg ha^{-1} com 90 e $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$, respectivamente).

Foram observadas diferenças entre as doses de N para as variáveis massa de resíduo, e as concentrações de K, Ca e S. A massa de resíduo e as concentrações de N, Ca e Mg foram alteradas pelos SIPA estudados (Tabela 7). Quanto às distâncias entre o renque arbóreo, estas

influenciaram a concentração de K, Ca e Mg de resíduo remanescente (Tabela 7).

Tabela 7. Resultados decorrentes da análise de variância (ANOVA) para as variáveis da quantidade e concentração de nutrientes no resíduo de soja no início do experimento.

Fatores	GL	Massa de resíduo		Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Bloco	2	6,13	0,003	0,31	0,732	1,66	0,204	1,98	0,152	1,38	0,265	1,68	0,199	4,57	0,017
SIPA	1	11,8	0,001	17,2	0,001	0,64	0,428	0,30	0,586	5,34	0,026	9,43	0,004	3,65	0,063
Nitrogênio	1	5,59	0,020	0,38	0,542	0,15	0,704	4,53	0,040	12,3	0,001	3,66	0,063	6,78	0,013
Distâncias	4	0,32	0,864	2,11	0,097	1,19	0,331	4,12	0,007	4,07	0,008	4,29	0,006	1,95	0,122
SIPA*N	1	9,39	0,003	--	--	5,54	0,024	--	--	5,57	0,024	--	--	--	--

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns, não significativo.

Graus de liberdade (GL), valor de F (F) e significância (P).

Maiores massa de resíduo de soja e concentrações de Ca e Mg foram observados no SIPA não arborizado (Tabela 8). Maior concentração de N foi observado no SIPA arborizado (Tabela 8). Com exceção da concentração de Ca, maiores quantidade de massa de resíduo e concentrações de K e S foram observadas nos tratamentos que receberam quantidade mais elevadas de N (Tabela 9).

Tabela 8. Médias de massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de soja no início do experimento em dois sistemas integrados de produção agropecuária.

Sistemas	Massa de resíduo	Nitrogênio		Cálcio		Magnésio	
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
SIPA não arborizado	3870 a	16,7 b	64,6	11,5 a	44,5	31,3 a	121,1
SIPA arborizado	3362 b	21,9 a	73,6	8,7 b	29,2	26,9 b	90,43
Coefficiente de variação (%)	28,7	26,4	--	47,0	--	20,6	--

Tabela 9. Massa de resíduo e concentrações de macronutrientes no resíduo de soja com duas doses de nitrogênio mineral adubado no período de pastejo.

Doses de Nitrogênio	Massa de resíduo	Potássio		Cálcio		Enxofre	
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	3273 b	10,8 b	35,3	11,7 a	38,3	1,1 b	3,6
180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	3805 a	12,3 a	46,8	7,9 b	30,0	1,3 a	4,9
Coefficiente de variação (%)	28,7	25,5	--	47,0	--	34,7	--

A concentração de K foi maior na distância próximas das árvores (D1 e D5), quando comparada à distância central (D3); entretanto, estas distâncias não diferiram das distâncias D2 e D4 (Figura 6A). A concentração de Ca foi maior na distância mais próximas às árvores (D1) quando comparada às demais distâncias D2, D3, D4 e D5 (Figura 6B). A concentração de Mg também foi alterada em relação aos renques arbóreos (Figura 6C). Maior concentração de Mg

foi observada na posição próxima às árvores (D1), quando comparada à distância central e intermediária (D3 e D4); entretanto, estas não diferiram das distâncias D2 e D5 (Figura 6C).

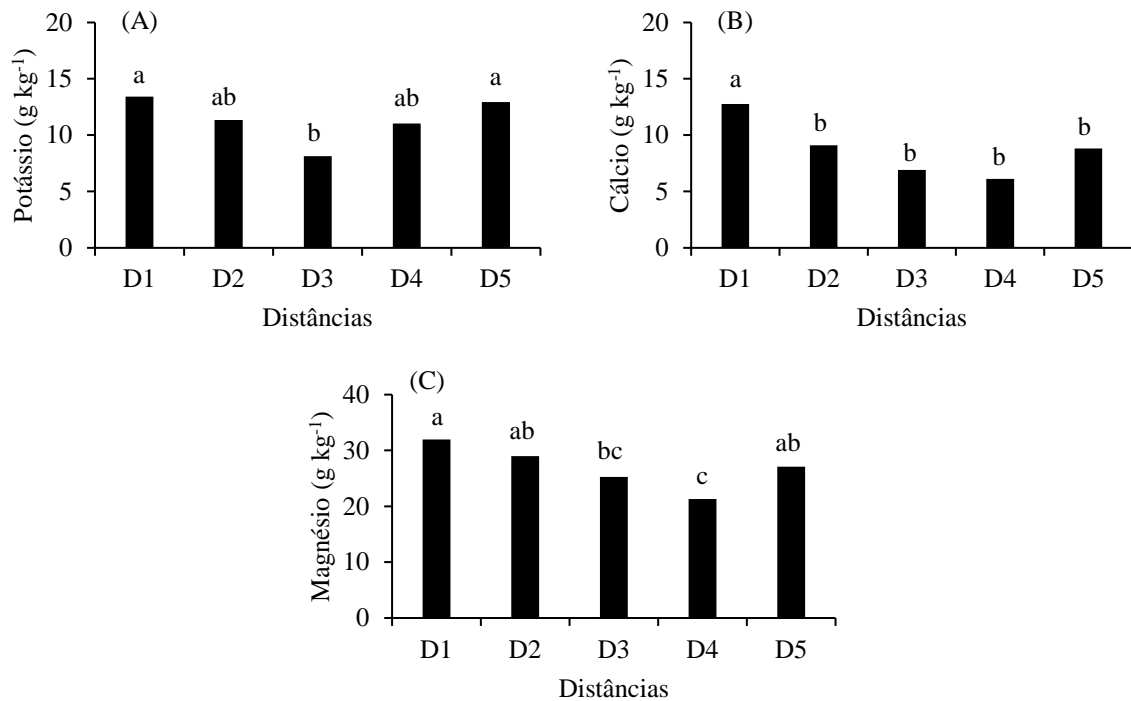


Figura 6. Efeito das distâncias entre renques arbóreos (D1 até D5) para os teores de potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C) no resíduo de soja em SIPA arborizado. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Coeficiente de variação: Potássio 25,5%; Cálcio 47,0% e Magnésio 20,7%.

5.3 Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de aveia preta consorciada com azevém em sistemas integrados de produção agropecuária

Foram observadas interação entre SIPA e doses de N (Tabela 10) na fração prontamente disponível para massa de resíduo e para a liberação de S, bem como na constante de decomposição da fração disponível da massa de resíduo. Foram observadas diferenças entre os SIPA na fração prontamente disponível da massa de resíduo de Ca, bem como entre as doses de N na fração prontamente disponível do S. Foram observadas diferenças entres os renques arbóreos para o Ca na fração prontamente disponível (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de F e significância (P) para as variáveis matéria seca e liberação de macronutrientes do pasto devido ao sistema de produção, doses de N, posição entre dois renques e interações.

Causa da variação	Matéria seca		Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
<i>Prontamente disponível</i>														
Bloco	1,55	0,233	0,74	0,492 ^{ns}	0,23	0,795 ^{ns}	0,09	0,918 ^{ns}	9,14	0,001 ^{ns}	2,35	0,127 ^{ns}	0,94	0,417 ^{ns}
SIPA	4,30	0,049*	0,12	0,733 ^{ns}	0,12	0,732 ^{ns}	0,14	0,714 ^{ns}	6,51	0,017*	0,19	0,668 ^{ns}	0,26	0,617 ^{ns}
Nitrogênio	0,10	0,751	0,51	0,485 ^{ns}	0,01	0,913 ^{ns}	0,14	0,716 ^{ns}	0,70	0,412 ^{ns}	1,17	0,295 ^{ns}	6,66	0,023*
Distâncias	2,10	0,114	0,63	0,647 ^{ns}	0,64	0,645 ^{ns}	2,24	0,098 ^{ns}	3,87	0,013*	0,67	0,621 ^{ns}	0,24	0,912 ^{ns}
SIPA*N	7,83	0,01*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	9,94	0,008**
<i>Constante de decomposição da fração disponível</i>														
Bloco	1,34	0,281 ^{ns}	0,64	0,537 ^{ns}	1,07	0,367 ^{ns}	3,33	0,055 ^{ns}	18,6	0,001***	9,52	0,002**	2,54	0,114 ^{ns}
SIPA	0,11	0,740 ^{ns}	0,37	0,551 ^{ns}	0,43	0,523 ^{ns}	0,74	0,398 ^{ns}	0,07	0,796 ^{ns}	0,21	0,654 ^{ns}	3,68	0,076 ^{ns}
Nitrogênio	0,02	0,886 ^{ns}	2,15	0,159 ^{ns}	0,24	0,631 ^{ns}	0,13	0,724 ^{ns}	2,29	0,142 ^{ns}	1,39	0,255 ^{ns}	0,20	0,664 ^{ns}
Distâncias	2,27	0,092 ^{ns}	0,64	0,638 ^{ns}	1,61	0,223 ^{ns}	2,68	0,059 ^{ns}	1,48	0,235 ^{ns}	1,36	0,290 ^{ns}	0,75	0,573 ^{ns}
SIPA*N	4,38	0,048*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns, não significativo

Valor de F (F) e significância (P)

Maior proporção do prontamente disponível da massa de resíduo foi observado no tratamento com ausência de árvores associado com a menor dose de N (Tabela 11), bem como maior tempo para decompor 50% da matéria seca (Tabela 11). A decomposição da matéria seca do resíduo da pastagem, ao longo do tempo, foi influenciada pelas distâncias em relação aos renques arbóreos (Figura 7). A D3 apresentou maior decomposição aos 120 dias (Figura 7). As distâncias D1 e D5, apresentaram uma decomposição mais lenta no mesmo período (Figura 7). Foi observado variação de até aproximadamente 10 dias entre as distâncias, no tempo de meia vida necessário para decompor 50% da massa de resíduo (Tabela 12).

Tabela 11. Parâmetros do modelo exponencial simples para massa seca remanescente dos resíduo da pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo.

Tratamentos	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias ⁻¹)	R ²	T ^{1/2} (¹) (dias ⁻¹)
Ausência de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	14,0	86,0	0,015	0,96	45,6
Ausência de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	27,8	72,2	0,024	0,97	29,3
Presença de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	34,3	65,7	0,022	0,94	31,0
Presença de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	26,1	73,9	0,019	0,93	37,2

(¹) Tempo necessário para 50% da matéria seca ser decomposta.

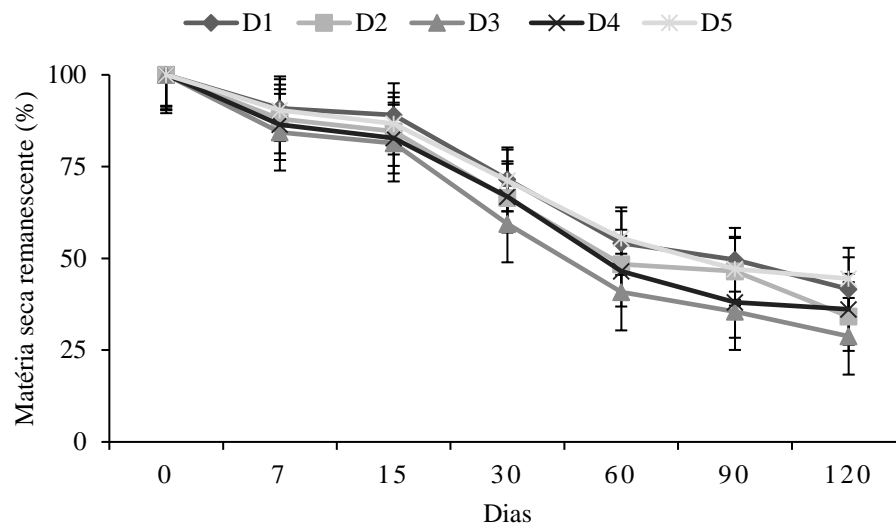


Figura 7. Efeito da posição entre renques arbóreos na decomposição de massa seca remanescente da pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo. Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques.

Tabela 12. Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de decomposição do resíduo de pastagem e as constantes de decomposição, tempo de meia vida ($T_{1/2}^{(1)}$) e ajuste (R^2)

Distâncias	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias^{-1})	R^2	$T_{1/2}^{(1)}$ (dias^{-1})
D1	33,9	66,1	0,018	0,95	38,9
D2	30,0	70,0	0,021	0,96	33,3
D3	25,8	74,2	0,025	0,96	27,6
D4	31,0	70,0	0,022	0,96	30,9
D5	37,7	62,3	0,020	0,95	34,8

Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques.

⁽¹⁾ Tempo necessário para 50% da matéria seca ser decomposto.

A quantidade de nitrogênio liberada foi estimada pela seguinte equação: $Rem = 35,8 + 64,2 \times e^{-0,0289t}$ ($R^2 = 0,74$). A quantidade de N foi aumentando com o tempo e os maiores incrementos foram entre 15 e 60 dias (Figura 8A). A quantidade de P liberada foi estimada pela seguinte equação: $Rem = 39,24 + 60,75 \times e^{-0,3886t}$ ($R^2 = 0,73$). A liberação do P foi contínua ao longo do tempo (Figura 8B). A quantidade de K liberada (Figura 8C) foi estimada pela seguinte equação: $Rem = 3,23 + 96,77 \times e^{-0,0469t}$ ($R^2 = 0,91$). De forma semelhante ao P, a liberação do Mg ($Rem = 41,36 + 58,64 \times e^{-0,1335t}$ ($R^2 = 0,51$)) também foi maior no início. Contudo, a estabilização da liberação do Mg ocorreu a partir dos 30 dias (Figura 8D).

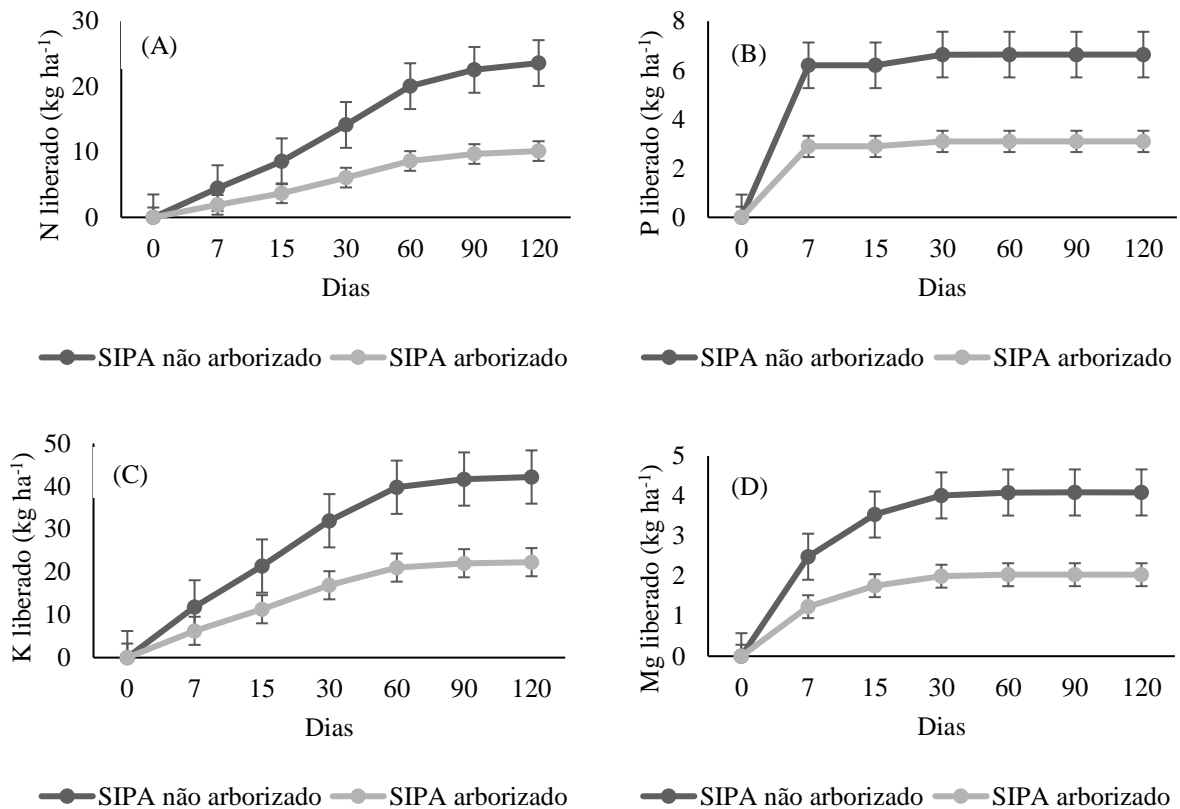


Figura 8. Liberação e acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e magnésio (D) do resíduo de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos.

A liberação do Ca foi distinta tanto para os SIPA (Figura 9A) quanto para as distâncias entre os renques arbóreos (Figura 9B). A liberação de Ca foi maior no SIPA não arborizado (Figura 9A). A quantidade de Ca liberada (kg ha⁻¹) por SIPA foi estimada pela seguinte equação: $Rem = 4,21 + 95,70 \times e^{-0,0836}$ ($R^2 = 0,78$) para SIPA não arborizado, e $Rem = 1,72 + 98,28 \times e^{-0,0710}$ ($R^2 = 0,67$) para o SIPA arborizado. A liberação do Ca foi maior na distância central (D3) entre dois renques arbóreos (Figura 9B).

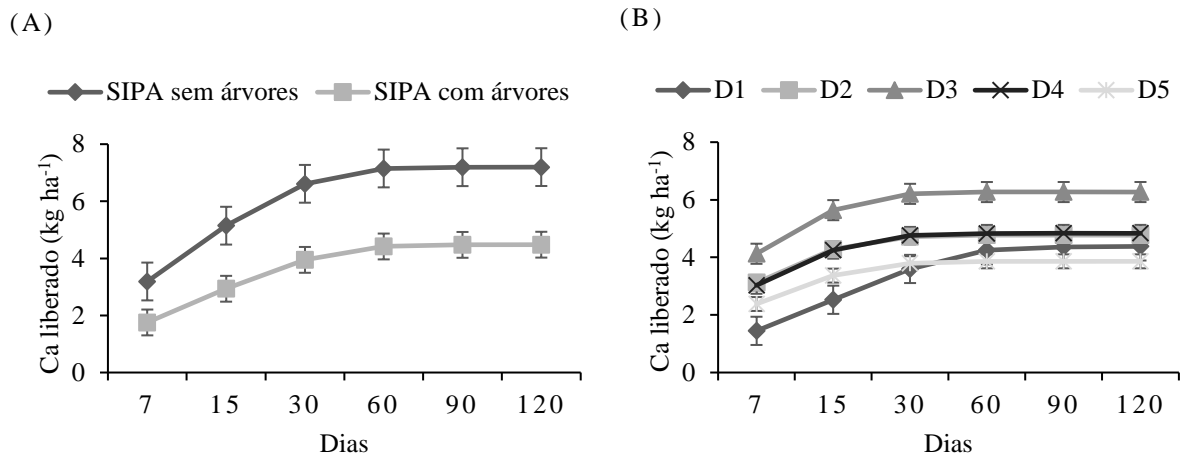


Figura 9. Liberação e acúmulo de cálcio (A) nos resíduos de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo; (B) Efeito da distância entre os renques arbóreos na liberação de cálcio de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) ao longo do tempo. Posição entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7,0 m) posição central entre dois renques. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos.

Menor proporção de resíduo no compartimento prontamente disponível para o S remanescente foi observado no tratamento com ausência de árvores associado com a maior dose de N (Tabela 13). A liberação de S foi menor no tratamento com ausência do componente arbóreo combinado com a maior dose de N (Figura 10).

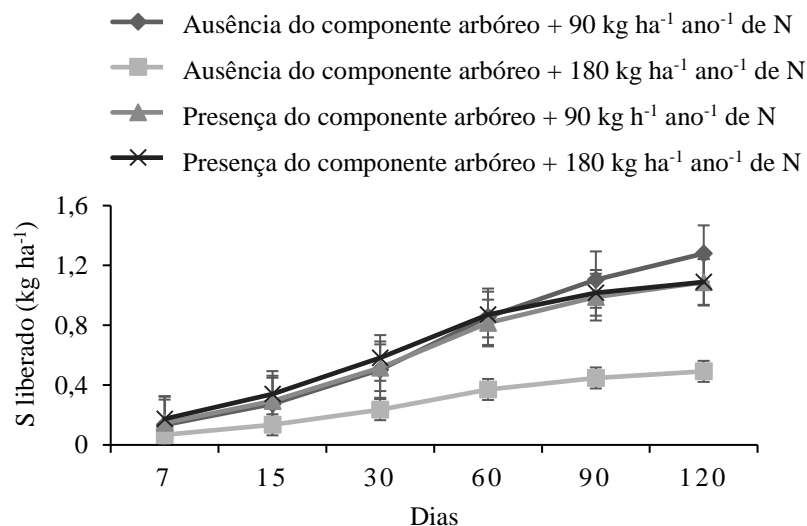


Figura 10. Liberação e acúmulo de enxofre do resíduo de pastagem consorciada (aveia preta + azevém anual) em avaliações realizadas pelas combinações de ausência ou presença de componente arbóreo e doses de N ao longo do tempo. Pontos são média de 03 repetições. Pontos são médias de todos os fatores confundidos.

Tabela 13. Parâmetros do modelo exponencial simples para porcentagem de enxofre remanescente no resíduo de pastagem anual de aveia preta consorciada com azevém anual durante a fase lavoura ao longo do tempo.

Tratamentos	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias⁻¹)	R²	T 1/2⁽¹⁾ (dias⁻¹)
Ausência de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	44,7	55,3	0,018	0,32	38,50
Ausência de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	80,7	19,3	0,019	0,06	36,47
Presença de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	49,8	50,3	0,018	0,27	38,50
Presença de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	47,0	53,0	0,023	0,48	30,13

⁽¹⁾Tempo necessário para 50% dos macronutrientes ser liberado.

5.4 Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de soja em sistemas integrados de produção agropecuária

Não foram observadas interações entre SIPA e doses de N para todas as variáveis analisadas da fração prontamente disponível (Tabela 14). No entanto, a fração prontamente disponível para K foi distinta entre as doses de N.

Não foram observados interação entre SIPA e doses de N para a constante de decomposição da fração disponível (Tabela 14). Houve também efeito dos SIPA para as constantes de decomposição do N. Foi observado diferenças na constante de decomposição do K entre as doses de N. Foi observada diferenças para a massa de resíduo da constante de decomposição da fração disponível para as posições entre renques arbóreo. Foram observados que a distância D3 apresentou decomposição mais rápida no decorrer dos 120 dias (Figura 11), e as D1 e D5, posições mais próximas às árvores, apresentaram decomposição mais lenta.

Tabela 14. Valores de F e significância (P) para as variáveis matéria seca e liberação de macronutrientes da soja devido ao sistema de produção, doses de N, posição entre dois renques e interações.

Causa da variação	Massa de resíduo		Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
<i>Prontamente disponível</i>														
Bloco	0,09	0,916 ^{ns}	0,83	0,451 ^{ns}	0,51	0,645 ^{ns}	14,77	0,001 ^{***}	0,49	0,624 ^{ns}	1,69	0,204 ^{ns}	0,61	0,601 ^{ns}
SIPA	0,56	0,467 ^{ns}	3,81	0,067 ^{ns}	0,01	0,939 ^{ns}	0,05	0,818 ^{ns}	0,13	0,720 ^{ns}	0,68	0,418 ^{ns}	0,00	0,980 ^{ns}
Nitrogênio	0,52	0,483 ^{ns}	0,02	0,902 ^{ns}	0,99	0,393 ^{ns}	12,74	0,001 ^{***}	0,07	0,800 ^{ns}	4,50	0,444 ^{ns}	0,16	0,714 ^{ns}
Distâncias	0,81	0,539 ^{ns}	0,21	0,928 ^{ns}	0,62	0,680 ^{ns}	1,83	0,153 ^{ns}	1,55	0,245 ^{ns}	1,46	0,244 ^{ns}	0,19	0,932 ^{ns}
N*SIPA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Constante de decomposição da fração disponível</i>														
Bloco	1,46	0,261 ^{ns}	0,19	0,826 ^{ns}	0,32	0,749 ^{ns}	3,67	0,040 [*]	0,14	0,873 ^{ns}	0,58	0,566 ^{ns}	0,06	0,942 ^{ns}
SIPA	0,64	0,620 ^{ns}	4,64	0,045 [*]	0,00	0,888 ^{ns}	6,16	0,072 ^{ns}	1,79	0,080 ^{ns}	1,24	0,687 ^{ns}	0,16	0,871 ^{ns}
Nitrogênio	0,26	0,436 ^{ns}	0,73	0,405 ^{ns}	0,02	0,994 ^{ns}	3,54	0,020 [*]	3,89	0,214 ^{ns}	0,17	0,276 ^{ns}	0,03	0,719 ^{ns}
Distâncias	4,42	0,014 [*]	0,31	0,866 ^{ns}	0,55	0,719 ^{ns}	1,04	0,407 ^{ns}	0,88	0,513 ^{ns}	1,62	0,200 ^{ns}	0,10	0,977 ^{ns}
N*SIPA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns, não significativo.

A decomposição da matéria seca do resíduo da soja ao longo do tempo foi influenciada pelas distâncias em relação aos renques arbóreos (Figura 11). A D3 apresentou uma maior decomposição aos 120 dias (Figura 11). As distâncias D1 e D5, apresentaram uma decomposição mais lenta no mesmo período. Maior proporção da massa de resíduo prontamente disponível foi observado nas distâncias D1 e D5 (Tabela 15) bem como maior tempo para decompor 50% da matéria seca (Tabela 15).

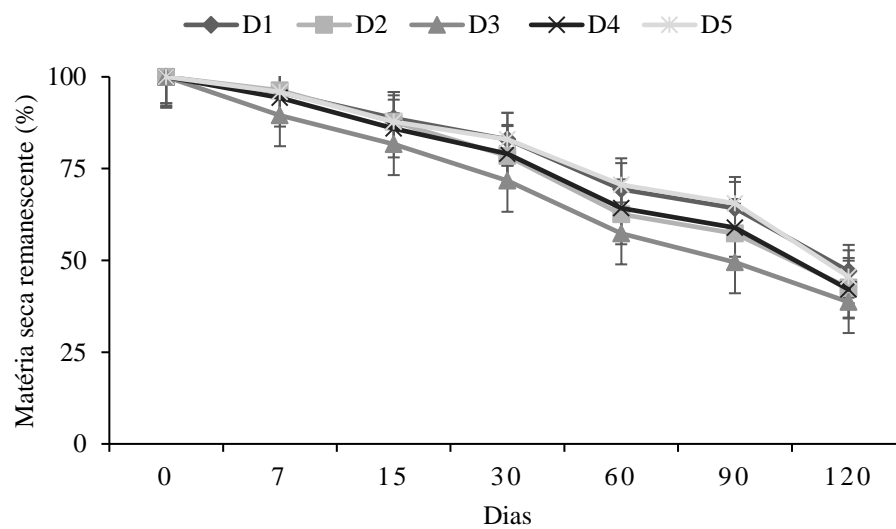


Figura 11. Efeito da posição entre renques arbóreos na decomposição de massa seca remanescente de soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo. Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7 m) posição central entre dois renques.

Tabela 15. Parâmetros do modelo exponencial simples ajustados aos valores medidos da taxa de decomposição dos resíduo de soja e as constantes de decomposição, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) e ajuste (R^2).

Distâncias	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias^{-1})	R^2	$T_{1/2}^{(1)}$ (dias^{-1})
D1	02,3	97,7	0,006	0,94	115,5
D2	21,8	78,2	0,010	0,94	68,0
D3	34,5	65,5	0,019	0,92	37,1
D4	21,1	78,9	0,010	0,92	70,7
D5	27,9	127,9	0,004	0,92	165,0

Distâncias entre os renques arbóreos: D1 e D5 (2,8 m), distâncias adjacentes aos renques; D2 e D4 (5,6 m) posições intermediárias e D3 (7 m) posição central entre dois renques.

⁽¹⁾ Tempo necessário para 50% da matéria seca ser decomposto.

A quantidade de N liberado no resíduo de soja foi influenciada pelo SIPA (Figura 12). Maior liberação de N ao longo do tempo ocorreu no SIPA arborizado (Figura 12). Maior proporção da fração prontamente disponível para N remanescentes foi observado no SIPA arborizado (Tabela 16).

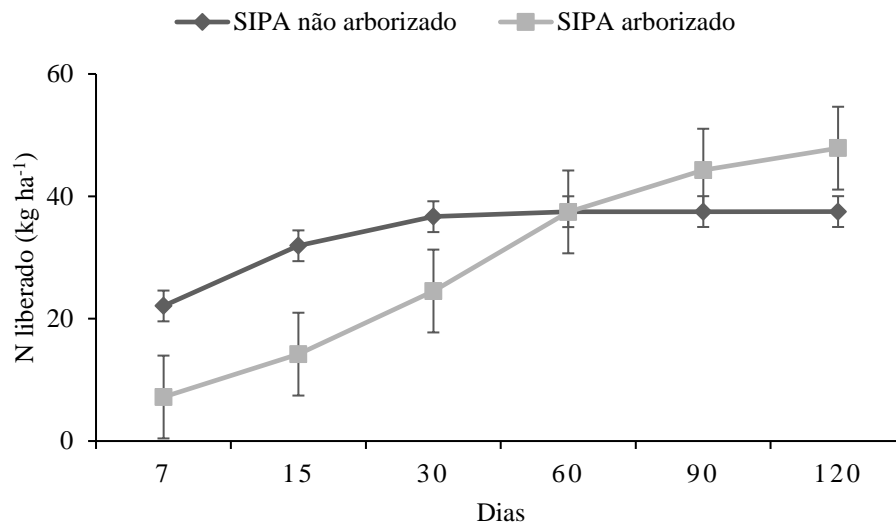


Figura 12. Modelo de regressão não linear para a liberação e acúmulo de N no resíduo de soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em dois sistemas integrados de produção agropecuária.

Tabela 16. Parâmetros do modelo exponencial simples para porcentagem de nitrogênio remanescente no resíduo de soja ao longo do tempo durante a fase pastejo.

Sistemas	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias ⁻¹)	R ²	T 1/2 ⁽¹⁾ (dias ⁻¹)
SIPA não arborizado	42,1	57,9	0,020	0,62	35,2
SIPA arborizado	29,5	70,5	0,021	0,48	32,5

⁽¹⁾ Tempo necessário para 50% dos macronutrientes ser liberado.

A quantidade liberada de P ao longo de tempo foi calculada a partir da porcentagem de P remanescente em um único tratamento, obtida pelas equações do modelo de regressão não-linear. A liberação do P: $Rem = 57,69 + 42,31 \times e^{-113,35t}$ ($R^2 = 0,24$) foi constante e linear ao longo do tempo (Figura 13C). A liberação do Mg: $Rem = 03,43 + 96,57 \times e^{-00853t}$ ($R^2 = 0,90$) foi maior no início, contudo, a estabilização ocorreu a partir dos 30 dias (Figura 13A). A liberação do S: $Rem = 61,64 + 38,36 \times e^{-0,20923t}$ ($R^2 = 0,19$) foi maior até os 30 dias e após, constante (Figura 13B).

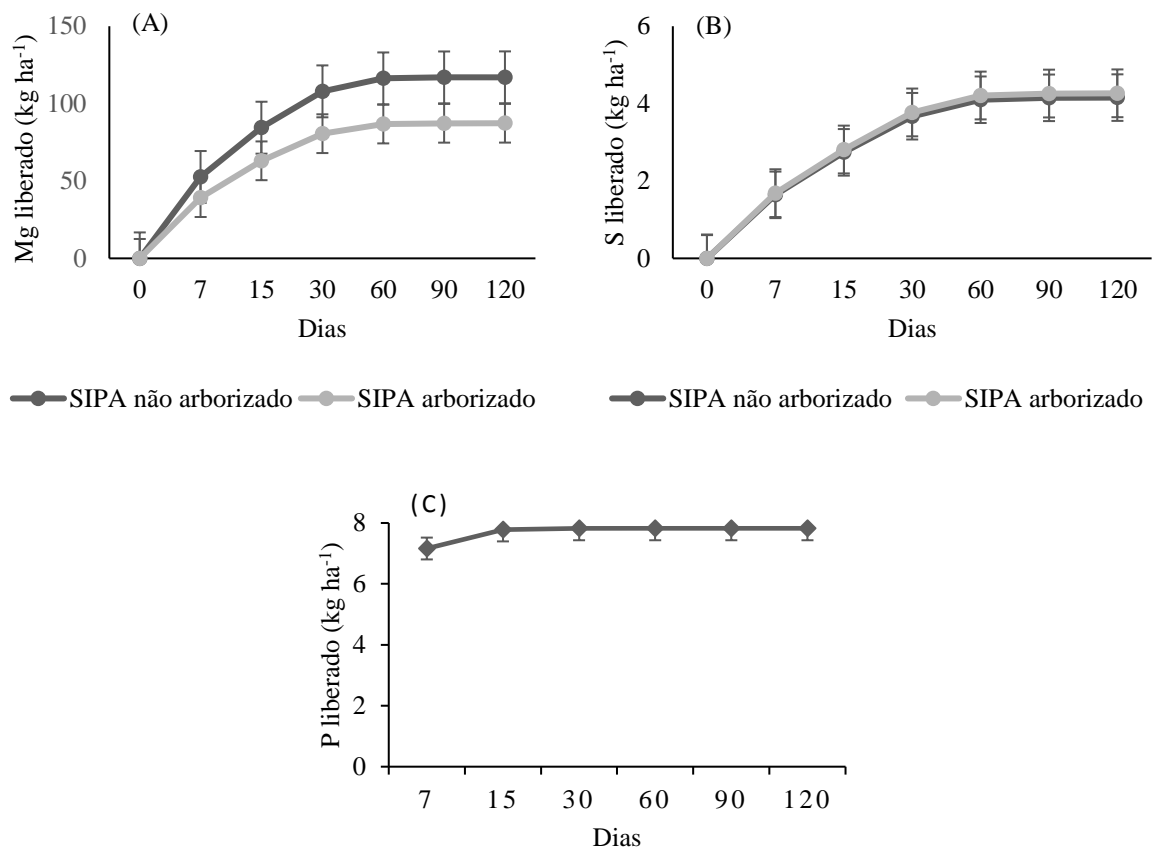


Figura 13. Modelo de regressão não linear para a liberação e acumulado de magnésio (A), enxofre (B) e fósforo (C) no resíduo de soja ao longo do tempo (fase com pastejo).

Maior liberação de K ocorreu no tratamento com ausência do componente arbóreo combinado com maior dose de N (Figura 14). Maior proporção de K na fração prontamente disponível foi observado no tratamento com presença de árvores associado a maior dose de N (Tabela 17).

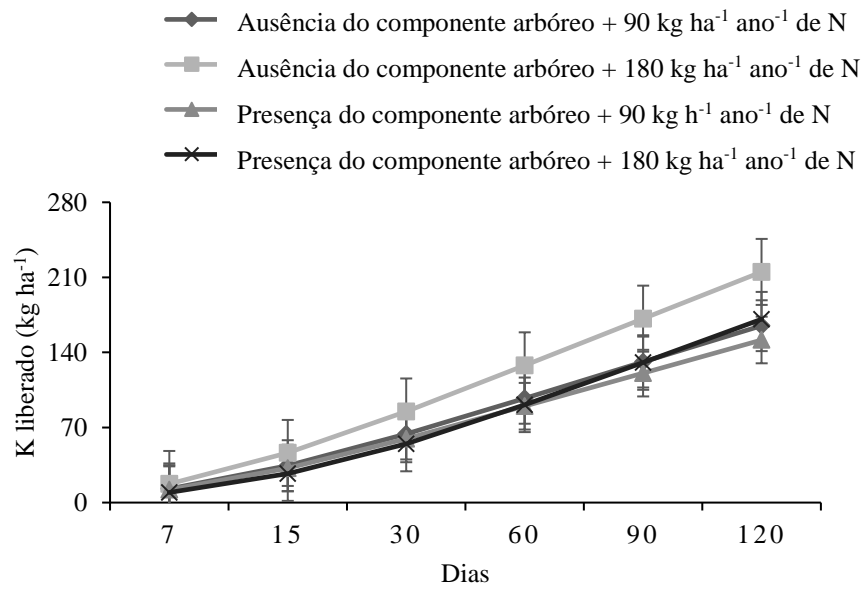


Figura 14. Modelo de regressão não linear para a liberação e acúmulo de Potássio do resíduo de soja em avaliações realizadas pelas combinações de ausência ou presença de componente arbóreo e doses de N.

Tabela 17. Parâmetros do modelo exponencial simples para potássio remanescente dos resíduo soja em avaliações realizadas ao longo do tempo em bolsas de decomposição na superfície do solo.

Tratamentos	Recalcitrante (%)	Prontamente disponível (%)	Constante de decomposição da fração disponível (dias ⁻¹)	R ²	T ^{1/2} (¹) (Dias)
Ausência de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	12,1	87,9	0,068	0,82	10,2
Ausência de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	07,7	92,4	0,072	0,90	9,6
Presença de árvores + 90 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	13,7	86,3	0,070	0,86	9,8
Presença de árvores + 180 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	07,3	92,7	0,070	0,87	9,8

⁽¹⁾Tempo necessário para 50% dos macronutrientes ser liberado.

6 DISCUSSÃO

6.1 Massa de resíduos e concentrações de nutrientes por ocasião da implantação das culturas de verão e inverno

A massa de resíduo de forragem (Tabela 5) e soja (Tabela 8), na presença do componente arbóreo, foi influenciada negativamente devida à alta restrição luminosa (Tabela 3). Em SIPA arborizado, tem sido observado que, ao longo do tempo, a restrição luminosa é aumentada. Nessa mesma área experimental, aos quatro anos após a introdução do componente arbóreo, a restrição luminosa começou a ser expressiva e afetar negativamente o rendimento das forrageiras (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012). No presente estudo, aos nove anos após a introdução do componente arbóreo, diferenças na massa de forragem entre os SIPA tem apresentado maior magnitude (PONTES et al., 2017).

A redução da radiação fotossinteticamente ativa é uma das principais causas das mudanças na composição e na dinâmica de crescimento da pastagem (PONTES et al., 2017). O sombreamento pode influenciar o crescimento e o desenvolvimento das espécies forrageiras pela elevação de colmos, modificação da área foliar e comprimento de folhas, permitindo que as plantas atinjam a altura requerida para realizar as atividades fotossintéticas (PONTES et al., 2017). Isso aparenta sustentar boa produção; entretanto, plantas estioladas possuem menor produção de perfilho, quando comparando com ambientes sem restrição luminosa e, desse modo, reduz rendimento de massa seca.

Os ajustes de carga animal, durante o período experimental, foram realizados de acordo com as mudanças na altura da pastagem, visando manter-se em torno de 20 cm. No entanto, mesmo as alturas médias sendo semelhantes entre os dois sistemas, diferenças importantes ocorreram em termos de massa de forragem (PONTES et al., 2017). A restrição luminosa em sistemas arborizados resulta em alterações na estrutura da pastagem (e.g. densidade de perfilhos), alterando a relação entre massa de forragem e altura da pastagem (PONTES et al.,

2017). Portanto, essas observações reformam a necessidade de desbaste de árvores para minimizar tais efeitos negativos do elevado sombreamento (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012).

Outro fator interessante do rendimento da biomassa aérea é o aporte de resíduos no sistema, visando manter ou renovar o plantio direto (PD). Segundo Denardim e Kochhann (1993, apud KUNRATH et al., 2015) adição anual de resíduo de 6.000 kg ha⁻¹ na superfície do solo é necessária para a manutenção do sistema PD. A partir dos resultados do presente estudo, apenas no SIPA não arborizado foi possível alcançar adição anual de resíduos (2683 kg ha⁻¹ de resíduo do pasto + 3870 kg ha⁻¹ de resíduo de soja) que proporcionaram manutenção do PD. Portanto, os resíduos obtidos no SIPA arborizado (1085 kg ha⁻¹ do pasto + 3362 kg ha⁻¹ de soja) foram muito baixos para a manutenção do PD. A quantidade de palhada sobre o solo e a uniformidade de sua distribuição podem servir de referência para uma avaliação preliminar sobre as condições em que o PD se encontra (NUNES et al., 2006). O aumento do aporte de biomassa em SIPA não arborizado proporcionou resíduo em quantidade e qualidade suficientes para o SIPA.

Maior concentração dos macronutrientes (K, Ca e Mg) no resíduo da pastagem, ao final do período de pastejo, ocorreu no SIPA arborizado (Tabela 5). Por exemplo, foi observado maior teor em K no resíduo do pasto no SIPA arborizado (21,3 g kg⁻¹) e ao SIPA não arborizado (16,3 g kg⁻¹). Segundo Dubeux Jr et al. (2014), concentrações de K entre 15 e 25 g kg⁻¹ de matéria seca é frequentemente observado na literatura.

Por outro lado, a presença do componente arbóreo reduziu as concentrações de Ca e Mg (g kg⁻¹) no resíduo de soja (Tabela 8). Resultados distintos tem sido observado em outros trabalhos. Nesse contexto, Castro et al., (2001) observaram aumento nas concentrações de Ca e Mg na massa forrageira de pastagens perenes sombreadas.

A ciclagem de P pode ser considerada como a fonte mais importante para as plantas, devendo ser bem manejada para elevar a eficiência de reciclagem de P no SIPA (ASSMANN et al., 2017). Maior concentração de P nas folhas de diferentes gramíneas em ambiente sombreado ($4,69 \text{ g kg}^{-1}$ de P no SIPA arborizado; Tabela 5) e mais elevada concentração deste nutriente provavelmente se deve à menor produção de matéria seca pelas plantas sombreadas (CASTRO et al., 2001).

As maiores concentrações de K nas folhas de forrageiras cultivadas na sombra ($21,3 \text{ g kg}^{-1}$ de K no SIPA arborizado; Tabela 5), provavelmente se devem ao menor rendimento de matéria seca obtido nesta condição (CASTRO et al., 2001). A tendência geral das concentrações de Ca, nas diferentes frações das plantas, aponta para a sua elevação com o declínio da luminosidade, concordando as observações de Castro et al., (2001). A elevação das concentrações de Ca em algumas espécies forrageiras (e.g. *B. brizantha* e *P. maximum*) tenha sido acentuada na época fria, ocasião em que as plantas apresentaram menor taxa de crescimento (CASTRO et al., 2001).

As concentrações de Mg no resíduo do pasto, foram afetadas pelo sombreamento (Tabela 5). Maiores concentrações de Mg nas folhas ocorrido pelo sombreamento intenso, se deve à maior concentração de clorofila nas plantas sombreadas, uma vez que o Mg é um dos elementos que compõem a sua molécula e a intensidade luminosa afeta as folhas (CASTRO et al., 2001).

Outro fator determinante no rendimento de massa seca, no SIPA, foi o aporte de N. Nas gramíneas de inverno (e.g. aveia-preta, azevém anual), que normalmente apresentam alta produção durante a primavera, a aplicação de N no início do desenvolvimento da pastagem permite rápido crescimento e rendimentos mais elevados, ao longo da estação de crescimento (ASSMANN et al., 2008). A adubação nitrogenada nas gramíneas forrageiras, associada ao manejo adequado dos animais, tem sido importante estratégia para aumento do aporte de

biomassa e conseqüentemente, da qualidade e quantidade de resíduo para manutenção do PD (CARVALHO et al., 2010b).

A adubação nitrogenada nas gramíneas aumenta a produção de massa de forragem permitindo que a pastagem suporte maior carga animal (ASSMANN et al., 2008). Entretanto, a restrição na radiação luminosa é mais importante sobre o rendimento das plantas que a adubação nitrogenada da forrageira (PONTES et al., 2017). Portanto, a associação entre presença de árvores e menor dose de N resultou em menor massa de resíduo quando comparada aos demais tratamentos (Tabelas 6 e 9).

As doses de N aplicadas na fase pastagem também afetaram as concentrações de P em resíduo do pasto (Tabela 6), e K, Ca e S no resíduo de soja (Tabela 9). Na Tabela 6, foram observados maiores quantidades de massa de resíduo e menor concentração de P na maior dose de N. A diminuição da concentração de P deve-se ao efeito diluição desse nutriente na planta (CASTRO et al., 2001), e.g. 5,89 kg ha⁻¹ de P com a menor dose de N, e 6,40 kg ha⁻¹ de P na maior dose de N, basicamente não há diferenças para o P acumulado (Tabela 6). Tal resultado pode ser atribuído ao resíduo proveniente das excretas animais (DUBEUX JR et al., 2007).

O efeito das distâncias das árvores também afetou a quantidade de resíduo do pasto (Figura 5A). Em geral, foram observados menores massa de resíduo nas linhas mais próximas às árvores (D1 e D5) quando comparada à distância central (D3), provavelmente pelo aumento da competição por luz, água e nutrientes, resultando num padrão de resposta tipo parábola (Figura 5A), como observado por Franchini et al., (2014). A redução de produtividade ocasionada pela interferência do eucalipto foi mais intensa nas proximidades das árvores. O componente arbóreo (eucalipto) com quatro anos reduz em 29,2% a produtividade de massa de resíduo da forragem (FRANCHINI et al. 2014). Portanto, o nível de sombreamento exercido sobre a pastagem (após 9 anos de plantio das árvores), foi considerado elevado, afetando negativamente a produtividade do sistema.

Variações na concentração de K no resíduo do pasto (Figura 5B) e concentrações de K, Ca e Mg no resíduo de soja (Figura 6A, 6B e 6C), também ocorreram devido às distâncias em relação aos renques arbóreos. De um modo geral, foram observadas maiores concentrações de K, Ca e Mg (Figura 6A, 6B e 6C) nas áreas mais próximas às árvores, ou seja, nas áreas mais sombreadas. Castro et al., (2001) também observaram aumento nos teores de K, Ca e Mg com o aumento do sombreamento.

Maiores concentrações de nutrientes nas distâncias D1 e D5 estão associado à maior contribuição da ciclagem de nutrientes oriunda do resíduo do componente arbóreo. A decomposição inicial da serapilheira total de eucalipto libera em torno de 17,97 kg ha⁻¹ de K, 55,39 kg ha⁻¹ de Ca e 10,99 kg ha⁻¹ de Mg para as plantas (CORRÊA et al., 2013).

Há necessidade de desbaste das árvores para reduzir o efeito negativo do sombreamento na quantidade de resíduo para o PD. Além disso, a introdução do componente arbóreo em SIPA pode favorecer a paisagem da agricultura e da pecuária, agregando valor aos produtos (e.g. selo "Carne Carbono Neutro" ALVES et al., 2015).

A presença das árvores pode afetar em termos de umidade e temperatura do solo pelo fato de proporcionar alterações microclimáticas no ambiente (KARAM et al., 2013). A inserção de árvores com sistema radicular profundo em pastagens de gramíneas apresenta vantagens, não apenas na exploração de diferentes camadas do solo, aumentando a eficiência na aquisição de água e nutrientes, mas também na redução das perdas por lixiviação (FRANCHINI et al., 2014). Os nutrientes contidos na palhada na superfície do solo em sistemas integrados podem ser uma fonte de nutrientes para a cultura subsequente. A eficiente ciclagem desses elementos entre os diferentes compartimentos é essencial para garantir a sustentabilidade desses SIPA (DUBEUX JR et al., 2014). Entretanto, os resíduos e nutrientes aportados pelas árvores são menos relevantes quando comparado com a produção de massa de resíduo devido ao sombreamento.

6.2 Decomposição e liberação de macronutrientes de resíduo da pastagem em sistemas integrados de produção agropecuária

A interação entre os fatores avaliados afetaram a decomposição do resíduo da pastagem de aveia preta consorciado com azevém ao longo do tempo (Tabela 11). A decomposição mais lenta em SIPA arborizado pode ser explicada devido as diferenças na produtividade e no valor nutritivo de plantas que crescem em tais ambientes arborizados, bem como uma provável redução da temperatura e umidade do local. A temperatura é um fator que acelera da degradação dos resíduo, resultando na liberação dos nutriente contidos na palhada.

A decomposição do resíduo de pastagem de aveia preta consorciada com azevém se diferenciou devida às distâncias das plantas em relação aos renques arbóreos (Figura 7). Aos 60 dias após a semeadura da soja, aproximadamente 60% da massa de resíduo inicial da pastagem estava completamente decomposta na distância 3, e aproximadamente 45% do resíduo remanescente da soja tinha sido decomposto nas distancias 1 e 5 (Figura 7), coincidindo com o período de pleno florescimento da soja – estágio de alta demanda de nutriente para a cultura (NAVARRO et al., 2002). Portanto, é de grande importância o conhecimento acerca da concentração de nutrientes dos resíduo fornecidos pela pastagem de inverno, bem como o momento em que os nutrientes ali contidos estarão sendo liberados e aproveitados pela cultura sucessora.

Aos 120 dias após a semeadura da soja, cerca de aproximadamente 70% do resíduo do pasto já estava completamente decomposto, na distância 3, aproximadamente 64% na distância 2 e 4, posições intermediárias aos renques e aproximadamente 57% do resíduo estava decomposto nas distâncias 1 e 5, posições adjacentes aos renques, coincidindo com a colheita da soja (Figura 7). O restante da palhada foi decomposta durante o ciclo da cultura seguinte, ou seja, a pastagem de inverno.

O N liberado do resíduo da pastagem e disponibilizado para a cultura de soja é dependente da dose inicial de N aplicada e da quantidade de resíduo acumulada (Figura 8A). A

partir da quantidade inicial de N no resíduo do pasto, ocorreu uma liberação de aproximadamente 22% do N aos 15 dias, coincidindo com o estágio de desenvolvimento da soja, diminuindo ao longo do tempo, isto é, com uma liberação mais lenta. Resultados semelhantes foram obtidos por Aita e Giacomini (2003).

O N desempenha papel importante para o crescimento e a produção das culturas, participando de diversos processos fisiológicos vitais para o ciclo de vida das plantas (PRADO, 2008). Por exemplo, para se produzir $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de grão de soja, há necessidade de $79,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (PAULETTI, 2004). O resíduo da pastagem foi fonte de N durante todo o desenvolvimento da soja, contribuindo para o sistema. Em geral, foram observados maiores concentrações de N no SIPA arborizado ($14,1$ e $15,0 \text{ g kg}^{-1}$ no SIPA não arborizado e arborizado, respectivamente), que foi sendo liberado para o sistema ao longo do tempo (Tabela 5). Entretanto, a presença de árvores afetou a massa de resíduo (2683 e 1085 kg ha^{-1} no SIPA não arborizado e arborizado, respectivamente), provavelmente, devido à alta restrição luminosa, nove anos após o plantio das árvores (Tabela 3). A partir desses resultados e, considerando 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de 62,2% do N contido no resíduo da pastagem já estava completamente liberado (Figura 8A), coincidindo com a colheita da soja. Isso representa cerca de $23,4 \text{ kg de N ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $10,1 \text{ kg de N ha}^{-1}$ no SIPA arborizado liberado pela ciclagem do resíduo inicial. O restante, 37,8% do N contido no resíduo, foi decomposto durante o ciclo da cultura seguinte, ou seja, durante a pastagem de inverno. Portanto, a ciclagem do resíduo do pasto podem ter contribuído com ~60% para a produção de $1,0 \text{ t}$ de grãos.

Aproximadamente 60% de P, (isto representa cerca de $6,6 \text{ kg de P ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $3,1 \text{ kg de P ha}^{-1}$ no SIPA arborizado) oriundo da palhada da pastagem já havia sido liberado aos 30 dias após a semeadura da soja (Figura 8B). Em todos os tratamentos, a liberação de P no resíduo da pastagem foi contínua. Essa liberação, juntamente com a boa distribuição

pela pastagem, faz do resíduo fonte gradativa de nutrientes ao longo do tempo. O resíduo foi contribuinte para o aporte de P para soja durante todo o seu desenvolvimento.

Para se produzir $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos, a planta demanda de $7,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P (PAULETTI, 2004). Em geral, foram observados maiores concentrações de P no SIPA arborizado ($4,07 \text{ g kg}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $4,69 \text{ g kg}^{-1}$ no SIPA arborizado, respectivamente). Porém, a ausência do componente arbóreo aumentou a massa de resíduo remanescentes da pastagem por ocasião do cultivo subsequente de soja, afetando a quantidade de P no resíduo da pastagem. A partir desses resultados e considerando 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de $6,6 \text{ kg de P ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $3,1 \text{ kg de P ha}^{-1}$ no SIPA arborizado foi liberado pela ciclagem do resíduo inicial. O restante do P no resíduo foi liberado durante o ciclo da cultura seguinte, ou seja, durante a pastagem de inverno.

Em SIPA arborizado, a liberação de P ($3,1 \text{ kg de P ha}^{-1}$) do resíduo da pastagem para a soja foi relativamente pequena, em relação à demanda ($7,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P para cada t de grão produzida). Na planta, o P é um dos principais elementos envolvidos no metabolismo energético (e.g. ATP, ADP) e é encontrado nos fosfolípidios, um dos principais componentes da membrana plasmática (PRADO, 2008).

O K foi liberado mais rapidamente no início do estudo (Figura 8C). Aos 15 dias após a semeadura da soja, aproximadamente 50% (i.e. tempo de meia vida) do potássio remanescente da pastagem tinha sido liberado para o SIPA (cerca de $21,4 \text{ kg de K ha}^{-1}$ no SIPA arborizado e $11,3 \text{ kg de K ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado, liberado pela ciclagem do resíduo inicial), contribuindo para melhoria da fertilidade dos sistemas no início do desenvolvimento da soja.

Aos 60 dias após a semeadura, aproximadamente 90% do K já estava completamente liberado no resíduo do pasto (Figura 8C), coincidindo com o período de pleno florescimento da soja – estágio de alta demanda de nutrientes para a cultura (NAVARRO et al., 2002).

O K foi o nutriente presente em maior concentração no resíduo inicial (16,3 e 21,3 g kg⁻¹ no SIPA não arborizado e arborizado, respectivamente) e sua liberação foi muito rápida durante o início da degradação no resíduo. Resultados semelhantes também foram observados por Assmann et al. (2014) que avaliaram a decomposição e a liberação de nutrientes de palha de trigo duplo propósito.

Para se produzir 1,0 t ha⁻¹ de grãos, a cultura necessita de 32,1 kg ha⁻¹ de K e exporta 59% do K via grão (PAULETTI, 2004). O resíduo foi fonte de K para soja durante todo o seu desenvolvimento, principalmente logo no início. Em geral, foram observados maiores concentrações de K no SIPA arborizado (21,3 e 16,3 g kg⁻¹ no SIPA arborizado e sem árvore, respectivamente). Entretanto, devido à alta restrição luminosa no SIPA arborizado, a massa de resíduo foi afetada (2683,3 e 1085,2 kg ha⁻¹ no SIPA não e com árvores, respectivamente). A partir desses resultados e considerando 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de 96,0% do K contido no resíduo da pastagem já estava completamente liberado (Figura 8C), coincidindo com a colheita da soja. Isso representa cerca de 42,2 kg de K ha⁻¹ no SIPA não arborizado e 22,3 kg de K ha⁻¹ no SIPA arborizado, liberado pela ciclagem no resíduo inicial. O restante, 3,58% de K no resíduo foi decomposto durante o ciclo da cultura seguinte, ou seja, durante a pastagem de inverno.

Estudo com ciclagem de nutrientes a partir de palhada de milho mostrou aumento da quantidade de K na superfície do solo e redução da lixiviação, graças à presença da palhada, deste nutriente na coluna do solo (ROSOLEM et al. 2003). Tais resultados demonstram a capacidade das plantas de cobertura em fornecer K para a cultura subsequente, além de proteger o solo de erosão e reduzir a lixiviação (ROSOLEM et al. 2003). O ciclo de K é mais simples e mais rápido que o de N, principalmente, porque o K não faz parte de muitos compostos orgânicos e encontra-se na forma livre na planta (PRADO, 2008).

Aos 30 dias de exposição a campo, a liberação de Ca foi de aproximadamente 87% (Figura 9A), estabilizando-se ao longo do tempo, com uma liberação mais lenta até 120 dias. Resultados contrários foram encontrados na literatura (ASSMANN et al., 2014), esses autores observaram que aproximadamente 73% de Ca havia sido liberado após 56 dias de exposição ao campo, em função da quantidade total de Ca inicialmente presente no resíduo de trigo de duplo propósito.

Para se produzir $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos de soja, há cultura demanda de $13,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca (PAULETTI, 2004). Em geral, foram observados maiores concentrações de Ca no SIPA arborizado ($2,8$ no SIPA não arborizado e $4,2 \text{ g kg}^{-1}$ no SIPA arborizado), o qual foi sendo liberado para o sistema ao longo do tempo (Tabela 5). Entretanto, a presença de árvores afetou a massa de resíduo, conforme citado anteriormente. Aos 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de 98% do Ca contido no resíduo da pastagem no SIPA não arborizado e SIPA arborizado já estava completamente liberado (Figura 9A), coincidindo com a colheita da soja, isto representa cerca de $7,3 \text{ kg de Ca ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $4,5 \text{ kg de Ca ha}^{-1}$ no SIPA arborizado liberado pela ciclagem do resíduo inicial. O Ca é o nutriente com menor exportação do sistema via grão, pois apenas 22% é exportado em relação ao extraído (PAULETTI, 2004).

A distância das árvores também afetou a liberação do Ca a partir do resíduo do pasto (Figura 9B). Em geral, houve menor liberação na linha mais próxima às árvores (D1), provavelmente pela redução da competição por luz. Resultados semelhantes tem sido observado em outros trabalhos. Nesse contexto, Castro et al., (2001) observaram aumento nas concentrações de Ca na massa forrageira de pastagens perenes sombreadas.

Em relação a liberação de Mg ao longo do tempo, não foram observadas diferenças quanto aos tratamentos testados. Aos 15 dias de exposição no campo, a liberação de Mg do resíduo da pastagem foi de aproximadamente 50% (isso representa cerca de $3,5 \text{ kg de Mg ha}^{-1}$ no SIPA não arborizado e $1,8 \text{ kg de Mg ha}^{-1}$ no SIPA arborizado). Aos 30 dias,

aproximadamente 57% do Mg contido na palhada foi liberado para o SIPA, diminuindo ao longo do tempo, com uma liberação mais lenta próximos aos 120 dias (Figura 8D). Assmann et al. (2014) apresentaram resultados semelhantes, isto é, a maior liberação de Mg da palhada de trigo ocorreu aos 21 dias e a menor liberação foi de 84-105 dias de pastejo, quando a palhada estava em um estágio de degradação avançada.

A cultura da soja utiliza cerca de 7,1 kg de Mg para produzir 1,0 t de grãos, exportando em torno de 2,3 kg de Mg por tonelada de grão (PAULETTI, 2004). No período do experimento, o rendimento da soja foi de 3124 kg ha⁻¹ no SIPA não arborizado e 1430 kg ha⁻¹ no SIPA arborizado, respectivamente, portanto, a necessidade de Mg teria sido de 22,1 kg de Mg ha⁻¹ no SIPA não arborizado e 10,15 kg de Mg ha⁻¹ no SIPA arborizado. Porém, o SIPA forneceu cerca de 4,1 kg de Mg ha⁻¹ no SIPA não arborizado e 2,0 kg de Mg ha⁻¹ no SIPA arborizado liberado pela ciclagem no resíduo inicial ao longo dos 120 dias. Apesar da baixa concentração de Mg no resíduo e de sua lenta liberação, a ciclagem do resíduo contribuiu em torno 58% para a renovação do sistema.

A liberação de S foi menor no SIPA sem árvores combinado com a maior dose de N (Figura 10). A diminuição da concentração inicial de S deve-se ao efeito diluição desse nutriente na planta. O tratamento sem a presença do componente arbóreo associado com a maior dose de N apresentou 2,9 kg ha⁻¹ de S quando comparado ao sistema arborizado com a maior dose de N (2,2 kg ha⁻¹ de S).

Para se produzir 1,0 t ha⁻¹ de grãos de soja, a planta necessita de 8,3 kg ha⁻¹ de S (PAULETTI, 2004). Em geral, foram observados maiores concentrações de S no SIPA arborizado (1,3 g kg⁻¹ de S no SIPA não arborizado e 1,7 g kg⁻¹ de S no SIPA arborizado). Aos 120 dias após a semeadura da cultura, coincidindo com a colheita da soja, cerca de 20% do S contido no resíduo da pastagem já estava completamente liberado no tratamento SIPA não arborizado combinado com a maior dose de N, isto é, 0,5 kg de S ha⁻¹ (Figura 10).

Aproximadamente 45% do S contido no resíduo da pastagem já estava completamente liberado nos demais tratamentos, isto representa cerca de 1,1 kg de S ha⁻¹. O S faz parte da composição das proteínas, influenciando a qualidade nutritiva (PRADO, 2008).

Em SIPA, a forragem tem grande importância na construção da fertilidade do solo, pois aumenta o fornecimento de nutrientes na camada superior do solo, i.e. seu resíduo associado com as excretas animais acima do solo decompõem mais rapidamente (DUBEUX JR et al., 2014). Portanto, a inclusão de pastagens no inverno com a presença dos animais é uma alternativa tecnicamente viável para aumentar a contribuição de macronutrientes para o SIPA (CARVALHO et al., 2010a).

6.3 Decomposição e liberação de macronutrientes de resíduo da soja em sistemas integrados de produção agropecuária

A decomposição do resíduo de soja foi mais lenta nas posições mais próximas às árvores (Figura 11). Aos sete dias após a semeadura da pastagem, aproximadamente 10% do resíduo remanescente da soja tinha sido decomposto na linha central do renque arbóreo (i.e. D3) e apenas 4% nas posições adjacentes aos renques (i.e. D1 e D5). Provavelmente a redução da temperatura do local, da temperatura da superfície do solo e a maior umidade do ar nas linhas próximas às árvores (FRANCHINI et al., 2014) tenham contribuído para uma decomposição mais lenta nessas posições. Aos 45 dias após o plantio, ~30% do resíduo da soja já estava completamente decomposto (Figura 11), coincidindo com o início do período de pastejo. Portanto, é de grande importância o conhecimento acerca da qualidade dos resíduos vegetais fornecidos pela palhada de soja, bem como o momento em que os nutrientes ali contidos serão liberados e aproveitados pela cultura sucessora.

Aos 120 dias após a semeadura da pastagem, em ambos os sistemas, cerca de 60% do resíduo da soja já estava completamente decomposto (Figura 11), coincidindo o período de término do

pastejo animal. O restante de material remanescente, cerca de 40%, foi se degradando ao longo do ciclo da cultura subsequente de milho.

Diferentes fontes de nutrientes fornecidas à pastagem durante o período do experimento, por exemplos, aplicação de fertilizantes de base, dejetos animais e fluxos ascendentes de nutrientes de camadas de solo anteriormente não exploradas pela vegetação da pastagem (DUBEUX et al., 2007), podem ter influenciado na velocidade de decomposição do resíduo. As características químicas do resíduo, tais como relação C:N e concentrações de de N, lignina e polifenóis são fatores que afetam a velocidade de decomposição do resíduo (DUBEUX et al., 2007). A estimativa da liberação dos nutrientes para o sistema produtivo via ciclagem de nutrientes e informações sob à demanda nutricional das culturas, pode aperfeiçoar a aplicação de adubação de base, tornando possível o estabelecimento de um sincronismo entre a demanda e a oferta de nutrientes (DUBEUX et al., 2007).

A quantidade de N liberado no resíduo de soja foi influenciada pelo SIPA (Figura 12). Maior liberação de N ao longo do tempo (120 dias) ocorreu no SIPA arborizado, cerca de 47,9 kg de N ha⁻¹ foi liberado para o sistema (Figura 12). O N liberado no resíduo de soja disponibilizado para a pastagem de inverno depende da fixação biológica de N e da quantidade de resíduo acumulado no solo (uma vez que não foi aplicado adubo nitrogenado na soja). Aos 120 dias, aproximadamente 57,9% de N foi liberado no SIPA não arborizado (Figura 12).

O resíduo de soja foi fonte de N para o SIPA durante a fase de inverno durante todo o período de pastejo. Em geral, a presença de árvores afetou tanto a massa de resíduo (3870 kg ha⁻¹ no SIPA não arborizado e 3362 kg ha⁻¹ no SIPA arborizado) como a liberação do N no sistema (Figura 12). Considerando 120 dias após a semeadura da cultura, isto é, no final do período de pastejo, cerca de 65% do N contido no resíduo já estava completamente liberado no SIPA arborizado (Figura 12), representando cerca de 37,5 kg de N ha⁻¹, enquanto que no SIPA

não arborizado, a liberação de N foi de 57,9%, ou seja, 47,9 kg de N ha⁻¹. O restante do resíduo, foi liberado durante o ciclo da cultura seguinte, ou seja, durante a cultura do milho.

A liberação de N no resíduo da soja para a pastagem foi relativamente pequena, em relação à demanda. A cultura da soja exporta cerca de 74% de N para cada tonelada de grãos (PAULETTI, 2004). Como ressaltado anteriormente, tais valores estão relacionados apenas ao ciclo do N da decomposição do resíduo da soja e não do potencialmente de N reciclado ao longo do tempo pelo sistema (i.e. ciclagem de excrementos animais depositados no solo e de deposição das folhas de árvores no SIPA arborizado). Contudo, a introdução de leguminosas resulta em acréscimos de nutrientes ao solo, principalmente o N, assimilado via fixação biológica por bactérias fixadoras de N.

A liberação de P ocorreu em poucas quantidades ao longo do tempo. A soja exporta aproximadamente 75% do fósforo para o grão em relação ao extraído (PAULETTI, 2004). A partir desses resultados e considerando 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de 70,3% (i.e. 7,8 kg de P ha⁻¹) do P contido no resíduo da pastagem já estava completamente liberado (Figura 13C), coincidindo com o final do período de pastejo.

A liberação de Mg ocorreu de forma gradual ao longo do tempo, contribuindo para a melhoria da fertilidade dos sistemas durante todo o período de pastejo (CASTRO et al., 2001). Para a liberação do Mg no resíduo da soja, considerando 120 dias após a semeadura da cultura, cerca de 96,6% do Mg contido no resíduo vegetal já estava completamente liberado (Figura 13A), coincidindo com o final do pastejo, isto representa cerca de 101,6 kg de Mg ha⁻¹ no SIPA não arborizado, liberado pela ciclagem no resíduo inicial ao longo do tempo. O Mg componente da molécula de clorofila, é essencial para as reações fotoquímicas e metabólicas das plantas, sendo também de grande importância para os ruminantes; sua deficiência ou baixa disponibilidade provoca desordem nutricional (CASTRO et al., 2001).

Em relação ao S, no final do ciclo do pastejo, cerca de 97,6% (i.e. 4,5 kg de S ha⁻¹ no SIPA não arborizado 3,9 kg de S ha⁻¹ no SIPA arborizado) do S contido no resíduo vegetal já estava completamente liberado (Figura 13B). O restante, 2,4 % do S no resíduo foi sendo liberado ao longo do ciclo da cultura subsequente de milho. O S tem como função melhorar a qualidade nutritiva dos cereais, pois faz parte da composição das proteínas (PRADO, 2008), influenciando na palatabilidade e na aceitabilidade da forragem pelo animal.

O maior destaque para a ciclagem de nutrientes por meio do resíduo de lavoura é a rápida liberação de K no SIPA (Figura 14). Entre 83% (SIPA arborizado + maior dose de N) e 89% (SIPA não arborizado + maior dose de N) do K foi liberado aos 60 dias após a semeadura do pasto. Portanto, é de grande importância o conhecimento da concentração de nutrientes fornecidos pelo resíduo da soja, bem como o momento em que os nutrientes ali contidos serão liberados e aproveitados pela cultura sucessora. O K foi o nutriente presente em maior concentração no resíduo inicial e sua liberação foi muito rápida durante o início da degradação do resíduo. Tais resultados demonstram a grande capacidade que as plantas de cobertura apresentam em fornecer K contido no material para a cultura subsequente, além de proteger o solo de erosão e lixiviação (ROSOLEM et al. 2003). Esta rápida liberação do K ocorre porque este nutriente não faz parte da estrutura da planta e, portanto, é removido sem que seja necessário haver decomposição da serapilheira (CARVALHO et al., 2010a). O K é um cátion que se movimenta livremente no fluído das células, atuando na síntese dos aminoácidos e das proteínas. Quando a membrana se desintegra, o potássio é facilmente separado do material orgânico. O resíduo remanescente contribuiu para uma melhoria da fertilidade do solo durante o cultivo da cultura subsequente, principalmente no sistema sem árvores com maior dose de N devido à maior quantidade de resíduo inicial.

7 CONCLUSÕES

A presença do componente arbóreo, bem como a menor dose de N, reduziu a massa de resíduo remanescente, tanto da pastagem anual de inverno como da lavoura de soja. De um modo geral, a qualidade do resíduo foi reduzida no sistemas integrados de produção agropecuária não arborizado com a menor dose de N, exceto os teores em P, Ca e Mg no resíduo da soja que foram maiores no SIPA não arborizado. Além disso, alterações na quantidade de resíduo foram observadas devido às distâncias das árvores, mas apenas para o resíduo da pastagem. Já as concentrações de nutrientes, tanto no resíduo do pasto (K) para a soja, como na soja (K, Ca e Mg) para o pasto, foi alterada por tais distâncias.

A interação entre SIPA e doses de N afetou a liberação do S a partir do resíduo do pasto e do K do resíduo de soja, e o fator SIPA afetou a liberação do N do resíduo de soja. Em relação a liberação ao longo do tempo dos demais macronutrientes, não foram observadas diferenças entre os fatores estudados. Apesar disso, a quantidade e a concentração inicial foi bastante alterada, interferindo nas quantidades liberadas de nutrientes ao longo do tempo.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A. **Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília: Embrapa Gado de Corte. p.29. 2015.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. D. H.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; SILVA, R. A. P. E.; CARVALHO, P. C. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. p. 1-13, 2017.

ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, J. M. Ciclagem de nutrientes In: ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; ASSMANN, T. S. **Integração Lavoura - Pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná. p.16-24. 2008.

ASSMANN, T. S.; BORTOLLI, M. A.; ASSMAN, A. L.; SOARES, A. B.; PITTA, C. S. R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLIENKE, C. L.; ASSMANN, J. M. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, p. 37-42, 2014.

BALBINOT, J.; A. A., MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, p.1925-1933, 2009.

BALDISSERA, T. C.; PONTES, L. S.; BARRO, R. S.; GIOSTRI, A. F.; GUERA, K. C. S.; MICHETTI, M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; CARVALHO, P. C. F. Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v.2, p.12-14, 2014.

BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C. D.; MEDEIROS, R. B. D.; SILVALL, J. L. S. D.; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1721-1727, 2008.

CARVALHO, P. C. F.; ROCHALL, L. M. D.; BAGGIOLL, C.; MACARILL, S.; KUNRATHLLL, T. R.; MORAES, A. D. Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1857-1865, 2010b.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, REUBEN M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; TERRA LOPES, M. L.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-15, 2010a.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. D.; PONTES, L. D. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1040-1046, 2014.

CASTRO, C. R. T.; GARCIA, R. CARVALHO, M. M. FREITAS, V. D. P. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1959-1968, 2001.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 15 de dezembro de 2016.

CORRÊA, R. S.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R. Deposição de serapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis**, v. 41, p. 65-74, 2013.

DEISS, L.; PELISSARI, A.; SKORA NETO, F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; ANDREOLLA, V. R. M. Oat growth under different nitrogen doses in eucalyptus alley cropping system in subtropical Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.1014-1023, 2014.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W.; SCHOLBERG, J.M.; SANTOS, H.Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, v. 47, p. 915-928, 2007.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.E.; VENDRAMINI, J.M.B.; INTERRANTE, S.M.; LIRA JR, M.A. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: how are they linked? **Crop Science**, v. 54, p. 2341-2350, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Produção de Informação. p. 306, 2006.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SICHIERI, F. R.; DEBIASI, H.; CONT, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.1006-1013. 2014.

KARAM, S. L.; WEISBERG, P.; SCHELLER, R.M.; JOHNSON, D. W.; MILLER, W. W. Development and evaluation of a nutrient cycling extension for the LANDIS-II landscape simulation model. **Ecological Modelling**, v. 250, p. 45-57, 2013.

KUNRATH, T. R.; CARVALHO, P. C. F.; CADENAZZI, M.; BREDEMEIER, C.; ANGHINONI, I. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 645-653, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, Piracicaba: Potafos, p. 319, 1997.

MORAES, A. D.; CARVALHO, P.C. de F.; LUSTOSA, S.B.C.; LANG, C.R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.1024-1031, 2014.

NAVARRO H. M., COSTA J. A., Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 269-274, 2002.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. D. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C, A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 943-948, 2006.

PACHECO, L. P. LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D. A.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.17-25, 2011.

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e Interpretações**. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, v. 1, p. 25-35, 2004.

PONTES, L. D. S.; CARPINELLI, S; STAFIN, G; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, B. R. C. D. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. **Grassland Science**, v. 63, p. 29-35, 2017.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. **Arborização de Pastagens com Espécies Florestais Madeireiras: Implantação e Manejo**, Colombo: Embrapa Florestas, p. 48, 2010.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MOLETTA, J. L.; PONTES, L. S.; OLIVEIRA, E. B.; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. C. F. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 67-76, 2012.

PRADO, R. D. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, v. 1, p. 500, 2008.

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 813-819, 2006.

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicais**. v, 25, p. 21-26, 2003.