

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

**AVALIAÇÃO DA CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO**

FLAVIA DE OLIVEIRA

PONTA GROSSA - PR
AGOSTO - 2018

FLAVIA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Zootecnia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Produção, nutrição de ruminantes e forragicultura

Orientadora: Prof. Dra. Laíse da Silveira Pontes

Co-Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

PONTA GROSSA - PR

AGOSTO - 2018

O48

Oliveira, Flavia de
Avaliação da ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de
produção agropecuária no subtropical brasileiro/ Flavia de Oliveira.
Ponta Grossa, 2018.
70 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia- Área de Concentração:
Produção, nutrição de ruminantes e forragicultura), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Laíse da Silveira Pontes.
Coorientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira Fonseca.

1. Componente arbóreo. 2. Adubação nitrogenada. 3.
Dinâmica de nutrientes. 4. Resíduo. 5. Remanescente. 6. *Litter*
bag. I. Pontes, Laíse da Silveira. II. Fonseca, Adriel Ferreira.
III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
Zootecnia. IV. T.

CDD : 660



TERMO DE APROVAÇÃO

FLAVIA DE OLIVEIRA

“AVALIAÇÃO DA CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no dia 31 de agosto de 2018, pela seguinte banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Laíse da Silveira Pontes – IAPAR (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Tangriani Simioni Assisiani – (UTFPR)
(Membro)

Prof^a. Dr^a. Lutécia dos Santos Canalli – (IAPAR)
(Membro)

Ponta Grossa, 31 de agosto de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais João Carlos de Oliveira e Arlete Batista de Oliveira, por todo apoio e incentivo a nunca desistir e chegar onde eu quiser.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida.

Aos meus pais, irmãs, cunhado, sobrinhos e namorado por todo amor e incentivo.

À minha família pela compreensão e carinho.

À Dra. Laíse da Silveira Pontes pela grande orientação, pelos conselhos, pelas oportunidades proporcionadas e pela amizade construída nestes anos.

Ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pela oportunidade da realização do trabalho e pelo espaço cedido.

Aos colegas e professores do curso de pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Aos colegas do Laboratório de Nutrição de Plantas (LNP) pela troca de conhecimentos, em especial ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca por toda a ajuda e ensinamentos.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

“O sucesso é uma consequência e não um objetivo”

Gustave Flaubert

RESUMO

Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) integram em um mesmo espaço vários componentes, tais como lavoura, pastagens, animais, bem como árvores de forma sinérgica. Quando bem manejado, pode trazer a sustentabilidade para a propriedade. Um dos desafios em tais sistemas é o entendimento da dinâmica de nutrientes e o possível reaproveitamento destes pela cultura sucessora. O objetivo deste trabalho foi avaliar o aporte de liteira e dos macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) em SIPA, com ausência e presença de árvores (~159 árvores ha⁻¹), submetidos a doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha⁻¹, N90 e N180, respectivamente) na fase pastagem. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo do Paraná, município de Ponta Grossa, Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro tratamentos e três repetições. De modo a melhor representar o ambiente arborizado, foi feita a subdivisão da unidade experimental em três posições entre linha das árvores. O experimento iniciou em 2006, com o plantio de árvores em arranjo de 14 x 3m. Durante o inverno cultivava-se aveia preta e azevém, pastejada por bovinos de corte, e, durante o verão, soja/milho. O presente experimento iniciou na fase pastagem de 2013, a qual antecedeu a cultura do milho (safra 2013/2014), estendendo-se até a fase pastagem no inverno de 2014. Durante a lavoura de milho e pastagem (2014), foram inseridos *litter bags* com os resíduos da cultura anterior, no momento das suas respectivas semeaduras. Aos 8, 15, 30, 60, 90, 120, 153 e 165 dias após a semeadura do milho e da pastagem foram coletadas as amostras dos *litter bags*, pesadas suas respectivas massas secas (MS) e quantificados os macronutrientes. Também foram calculadas as taxas de decomposição do resíduo e da liberação de macronutrientes. Em geral, a quantidade inicial de resíduo, tanto da pastagem como do milho, foi inferior nos tratamentos com árvores (-28%). Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos nos teores iniciais em N (variando de 12 no ILPF N90 até 14 g/kg no ILPF N180) do resíduo da pastagem e para os teores iniciais de K (variando entre 6,5 no ILP N90 até 12 g/kg no ILPF N90) e S (variando de 0,68 ILPF N90 até 0,91g/kg ILP N90) no resíduo do milho. As posições entre as linhas das árvores afetaram apenas os teores iniciais de N e S dos resíduos. Em relação a dinâmica de decomposição dos resíduos e liberação de macronutrientes, diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas somente para decomposição do resíduo da pastagem e liberação de P do mesmo. A fração ativa da MS da pastagem variou entre 44 (ILPF N90) a 59 % (ILP N180). O tempo de meia vida ($T^{1/2}$) variou entre 11 (ILP N90) e 54 (ILPF N180) dias para MS e entre 6 (ILP N90) e 21 (ILPF N90) dias para o P. O $T^{1/2}$ do N foi de 19 dias, enquanto que para K e S foi de 13 dias. Em relação ao resíduo do milho, o $T^{1/2}$ variou entre 5 (no caso de N) e 24 (no caso de P) dias. No mínimo 44% do resíduo proveniente da pastagem foi decomposto ao longo dos 165 dias de exposição à campo dos *litter bags*. Em relação ao resíduo do milho, 30% foi decomposto ao longo de 90 dias, independente do tratamento. Máximas liberações (37; 2,8; 62 e 2,5 kg/há de N, P, K e S, respectivamente) de nutrientes foram observadas no ILP N180 para o resíduo da pastagem, principalmente em função da maior quantidade de resíduo inicial neste tratamento. Para o resíduo do milho, máximas liberações ocorreram no ILP N90 para N (48 kg/ha), P (17,4 kg/ha) e S (4,8 kg/ha), em função da maior quantidade de resíduo inicial neste tratamento, e no ILPF N90 para K (82 kg/ha), em função do maior teor inicial em K. Portanto, tais quantidades cicladas devem ser consideradas no manejo da fertilização. Desbastes precisam ser intensificados no ILPF para reduzir o nível de sombreamento e evitar grandes reduções nas quantidades de resíduo, para otimizar os benefícios da ciclagem de nutrientes.

Palavras-chave: componente arbóreo, adubação nitrogenada, dinâmica de nutrientes, resíduo, remanescente, *litter bag*.

ABSTRACT

Integrated Crop Livestock Systems (ICLS) comprehend in a same space several components, such as grain and forages crops, animals and tree component of synergistic form. When well managed, it can bring sustainability to the property. One of the challenges in such systems is the understanding of the nutrient dynamics and the possible reutilization of these by the successor culture. The objective of this study was to evaluate the contribution of litter and macronutrients, such as nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and sulfur (S) in ICLS, with absence and presence of trees, submitted to nitrogen doses (90 and 180 kg N ha⁻¹, N90 and N180, respectively) in the pasture phase. The experiment was carried out at the Agronomic Institute of Paraná, municipality of Ponta Grossa, Paraná. The experimental design was a randomized block design with four treatments (ILP N90, ILP N180, ILPF N90 and ILPF N180, being ILP, integration of livestock and ILPF, integration of livestock and forest) and three replications. In order to better represents the wooded environment, the experimental unit was subdivided into three positions (1m, 3.5m and 7m distance from the tree line). The experiment began in 2006 with the planting of trees in arrangement of 14 x 3m. During winter, black oats and ryegrass are grazed by beef cattle and, in the summer, soybean/corn. The present experiment started in the pasture phase of 2013, which preceded the corn crop (crop 2013/2014), extending until the pasture stage in the winter of 2014. During maize and pasture (2014), litter bags were inserted with the residues from the previous crop, at the time of their respective sowing. The samples were collected at 8, 15, 30, 60, 90, 120, 153, and 165 days after sowing of maize and pasture. The samples were performed to dry masses (DM) measure and macronutrients determination. The rates of decomposition of the residue and the release of macronutrients were also calculated. Overall, the initial amount of residue from both pasture and maize was lower in tree treatments (-28%). Differences were observed between treatments at initial N contents (ranging from 12 in ILPF N90 to 14 g / kg in ILPF N180) of the pasture residue and for the initial K contents (ranging from 6.5 in ILP N90 to 12 g / kg in ILPF N90) and S (ranging from 0.68 ILPF N90 to 0.91 g / kg ILP N90) in the corn residue. The positions between the tree lines affected only the initial N and S contents of the residues. In relation to the dynamics of the decomposition of the residues and the release of macronutrients, significant differences between the treatments were observed only for the decomposition of the pasture residue and the release of P from the same. The active fraction of DM from pasture ranged from 44 (ILPF N90) to 59% (ILP N180). The half-life time ($T^{1/2}$) varied between 11 (ILP N90) and 54 (ILPF N180) days for MS and between 6 (ILP N90) and 21 (ILPF N90) days for P. $O T^{1/2}$ of N was 19 days, whereas for K and S it was 13 days. In relation to maize residue, $T^{1/2}$ ranged from 5 (in the case of N) to 24 (in the case of P) days. At least 44% of the pasture residue was decomposed during the 165 days of exposure to litter bags. Regarding corn residue, 30% was decomposed over 90 days, regardless of the treatment. The maximum nutrient release (37, 2.8, 62 and 2.5 kg/ha of N, P, K and S respectively) was observed in the ILP N180 for the pasture residue, mainly due to the higher amount of initial residue in this treatment. For the maize residue, maximum releases occurred in ILP N90 for N (48 kg/ha), P (17.4 kg/ha) and S (4.8 kg / ha), due to the higher amount of initial residue in this treatment, and in ILPF N90 for K (82 kg / ha), as a function of the higher starting content in K. Therefore, such cycled quantities should be considered in the management of fertilization. Slabs need to be intensified in the ILPF to reduce the level of shading and avoid large reductions in residue amounts to optimize the benefits of nutrient cycling.

Keywords: tree component, nitrogen fertilization, nutrient dynamics, residue, remnant, *litter bag*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental localizada no município de Ponta Grossa-PR. As cores representam os diferentes blocos experimentais. N+ representa os piquetes que receberam 180 kg de N ha ⁻¹ e N- os que receberam 90 kg de N ha ⁻¹ . Os números indicam as unidades experimentais. Fonte: Adaptado de PORFIRIO-DA-SILVA (2012).....	29
Figura 2 - Esquema das faixas de avaliação entre renques arbóreos (P1, posição adjacente aos renques; P2, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques). Fonte: Pontes et al. (2018).....	30
Figura 3 - Modelo de <i>litter bag</i> utilizado no experimento.	32
Figura 4 - Matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo de Aveia preta+Azevém contida nos <i>litter bag</i> durante exposição à campo ao longo do período experimental. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF, integração lavoura -pecuária - floresta. N90 e N180 (90 kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹ , respectivamente).	38
Figura 5 - Liberação de macronutrientes (N, P, K e S) do resíduo da pastagem ao longo do cultivo do milho. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF, integração lavoura -pecuária - floresta. N90 e N180 (90 kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹ , respectivamente).	39
Figura 6 - Porcentagem de matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo do milho ao longo do período experimental.	54
Figura 7 - Liberação de macronutrientes (N, P, K, S) no resíduo de milho contido nos <i>litter bags</i> durante exposição à campo ao longo do período experimental; ILP, integração Lavoura Pecuária; ILPF, Integração lavoura pecuária e floresta. N90 e N180 – (90 kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹).	55
Figura 8 – Liberação de macronutrientes no resíduo de milho ao longo do período experimental nas diferentes posições entre os renques arbóreos; ILP, integração lavoura -pecuária; ILPF, integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹). P1: posição mais próxima das árvores; P2: posição a 3,5m das árvores e P3: Posição central do corredor das árvores, i.e., 7m.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da cultura de Aveia e Azevém utilizados durante o período experimental	31
Tabela 2 - Massa de resíduo (MR), composição do resíduo (PF e PC, proporção de folhas e de colmo da pastagem, respectivamente, e PA, proporção de resíduos provenientes das árvores, isto é, folhas, ramos, etc) e concentrações em nutrientes no resíduo da pastagem de <i>Lolium multiflorum</i> + <i>Avena strigosa</i> ao final do período de pastejo (médias $\pm$ desvio padrão), ou seja, no momento da semeadura da cultura do milho. ILP, integração lavoura pecuária; ILPF, integração lavoura pecuária floresta; N90 e N180, respectivamente.....	35
Tabela 3 - Concentrações de nitrogênio no resíduo da pastagem de <i>Lolium multiflorum</i> + <i>Avena strigosa</i> em sistemas integrados de produção agropecuário submetido a duas doses de Nitrogênio no período de pastejo em diferentes posições entre dois renques arbóreos. N90, 90 kg N ha ⁻¹ ; N180, 180 kg N ha ⁻¹	36
Tabela 4 - Parâmetros do modelo exponencial não linear para Massa de Resíduo, N, P, K, e S remanescente dos resíduos da pastagem anual em avaliações nos tratamentos realizadas ao longo do tempo nos <i>litter bags</i> depositados na superfície do solo em distintos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) ao longo da fase com milho. N90 e N180 (90kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹)......	Erro! Indicador não definido. 3
Tabela 5 - Massa de resíduo remanescente (MSR) e concentração de nutrientes no resíduo da lavoura de milho (médias $\pm$ desvio padrão), ou seja, no momento da semeadura da pastagem de Aveia preta e Azevém; submetida as doses de N (N90 e N180, respectivamente (kg ha ⁻¹))......	48
Tabela 6 - Efeito das duas doses de adubação (90 kg N ha ⁻¹ e 180 kg N ha ⁻¹) nas concentrações de N e S nas diferentes distâncias entre os renques arbóreos.....	48
Tabela 7 - Parâmetros do modelo exponencial simples para massa seca remanescente (MSR) e nutrientes do resíduo proveniente da lavoura de milho durante a fase pastagem.....	49

LISTA DE SIGLAS

C	Carbono
ILP	Integração Lavoura Pecuária
ILPF	Integração Lavoura Pecuária Floresta
K	Potássio
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
S	Enxofre
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
SPD	Sistema Plantio Direto

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1.1. INTRODUÇÃO	13
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1.2.1. Sistemas integrados de produção agropecuária	16
1.2.2. Ciclagem de nutrientes.....	18
2. OBJETIVO GERAL	21
i. Objetivos específicos	21
3. HIPÓTESES.....	22
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
CAPÍTULO 2 – CICLAGEM DE NUTRIENTES DURANTE O CULTIVO DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	27
2.1. INTRODUÇÃO	27
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.2.1. Delineamento experimental e tratamentos	28
2.2.2. Condução do experimento.....	30
2.2.3. Avaliações	31
2.2.4. Análises estatísticas	33
2.3. RESULTADOS	35
2.3.1. Quantidade e qualidade do resíduo da pastagem.....	35
2.3.2. Decomposição da Matéria Seca do pasto ao longo do cultivo do milho	36
2.3.3. Liberação dos macronutrientes a partir do resíduo da pastagem durante o cultivo do milho	38
2.4. DISCUSSÃO	40
2.4.1. Quantidade e qualidade do resíduo da pastagem de Aveia preta e Azevém no momento da semeadura do milho	40
2.4.2. Decomposição de Matéria Seca e liberação de macronutrientes a partir do resíduo de Aveia preta e Azevém.....	41
2.5. CONCLUSÕES	44
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO 3 – CICLAGEM DE NUTRIENTES DA LAVOURA DE MILHO PARA A FASE PASTAGEM EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA ..	48

3.1. INTRODUÇÃO.....	48
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos	49
3.2.2 Condução do experimento.....	50
3.2.3 Avaliações	50
3.2.4 Análises estatísticas	52
3.3. RESULTADOS	53
3.3.1. Quantidade e qualidade do resíduo de milho no momento da semeadura da pastagem 53	
3.3.2. Decomposição da matéria seca e liberação de macronutrientes do resíduo proveniente da lavoura de milho durante a fase pastagem.....	54
3.4. DISCUSSÃO	57
3.4.1. Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de milho no momento de pastejo 57	
3.5. CONCLUSÃO.....	60
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
6. ANEXOS:.....	65

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. INTRODUÇÃO

O termo sustentabilidade está em evidência nas últimas décadas devido à grande preocupação com o meio ambiente. Com isto, surgiram tecnologias que auxiliam na melhoria dos sistemas agropecuários, ou seja, aumentam a produtividade sem impactar o meio ambiente, desde que bem implantadas. Entre estas tecnologias, são conhecidos os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), mais comumente chamados de integração lavoura - pecuária (ILP) e quando adicionado componente arbóreo, integração lavoura - pecuária - floresta (ILPF) (MACEDO, 2009).

De 2012 a 2014, cerca de 4,6% do território brasileiro sofreu algum tipo de alteração em sua cobertura. De uma forma geral, prossegue a expansão da agricultura, das pastagens manejadas, da silvicultura, além de continuarem as reduções nas áreas de vegetação florestal e de pastos naturais (campos nativos) (BRASIL, 2016). Além disso, grande parte das pastagens, em diferentes regiões do Brasil, tem mostrado sinais de degradação após poucos anos de uso, por causa, principalmente, do excesso de pastejo e da queda da fertilidade dos solos, especialmente por deficiência de nitrogênio (BODDEY et al., 2004; MACEDO, 2005). Por conta disso, o uso de SIPA, vem como uma alternativa viável para recuperar e desenvolver novas pastagens de gramíneas, em regiões de pecuária de corte/leite, de forma sustentável. Entre os benefícios para os componentes do sistema solo/planta/animal, destacam-se a conservação do solo e da água, a possibilidade de melhoria das condições físicas, químicas e da atividade biológica na superfície do solo, e, no caso de SIPA arborizado, o conforto térmico para os animais (JACKSON & ASH, 1998; WILSON, 1998; LEME et al., 2005).

Os SIPA agregam vários componentes em um mesmo espaço de forma sinérgica. Por exemplo, a inclusão de árvores em áreas com pastagens proporciona uma melhoria no microclima, sombra e conforto térmico para o animal e, futuramente, renda ao produtor com a venda de madeira. A necessidade de manutenção do equilíbrio entre seus componentes (solo, árvores, forrageiras e animais), aliada ao grande número de interações possíveis entre estes e os fatores climáticos, aumenta a necessidade de um planejamento rigoroso, sendo determinante no sucesso da produção.

Segundo Ferreira et al. (2011), a sustentabilidade em SIPA tem como fundamento o manejo do solo, das plantas e dos animais de forma que, ao mesmo tempo, não cause restrições ao ambiente radicular e produza quantidades de resíduos suficientes para a

consolidação do sistema. As pastagens desempenham um papel fundamental dentro destes sistemas produtivos, pois atuam como cobertura do solo além de ser a base para a alimentação animal.

A importância dos SIPA no Brasil é incontestável, uma vez que promovem o desenvolvimento sustentável, combinado com a produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais (SILVA & MEIRELLES, 2013). Por exemplo, os sistemas arborizados apresentam um potencial para aumentar e diversificar a oferta de forragem ao longo do ano, reduzir os danos causados por geadas e reduzir os extremos climáticos, que causam desconforto e prejudicam a produtividade e o desempenho reprodutivo dos animais, configurando assim melhorias no ambiente produtivo (LIN et al., 2001; PACIULLO et al., 2007; SOUZA et al., 2010). Além disso, em tais sistemas, os fatores ambientais modificados pela presença das árvores, particularmente a redução da radiação solar, tem efeito sobre as características morfofisiológicas das pastagens e, conseqüentemente, sobre a produção e o valor nutritivo da forragem (CARVALHO et al., 2013). Tais características, por sua vez, tem reflexo no desempenho animal individual, ou na produtividade do componente pecuário no sistema (BARRO et al., 2012).

Dentro das melhorias pelo uso consciente de recursos naturais, utilizando o SIPA podemos inferir que há menor uso de fertilizante químico. A disponibilização de nutrientes para as plantas nesses sistemas de produção está diretamente ligada à sua disponibilidade no solo e à velocidade de liberação dos seus resíduos, os quais podem ser vegetais e/ou animais, que se encontram sobre o solo. Com o entendimento dos fatores e dos processos que controlam a ciclagem de nutrientes, é possível sincronizar a sua disponibilização com a demanda da cultura sucessora (FERREIRA et al., 2011). Conhecimento este que vem se difundindo cada vez mais com o entendimento do fluxo e o reaproveitamento de nutrientes. A ciclagem de nutrientes é definida como o processo em que os nutrientes absorvidos pelos seres autotróficos, após um período, são devolvidos ao solo pela senescência das partes vegetativas e, através da sua decomposição, são mineralizados e reaproveitadas pelos vegetais (ODUM, 1989). No processo de ciclagem, ocorre a transferência de nutrientes de um compartimento para outro, envolvendo uma série de processos dentro de um ou mais ciclos naturais. Os modelos conceituais que descrevem esses processos são complexos e, invariavelmente, envolvem três sistemas fundamentais de movimentação de nutrientes: planta, animal e solo. Esses modelos são estruturados com base na indicação do tempo, da área e de limites desses sistemas.

Portanto, as pesquisas sobre ciclagem de nutrientes em SIPAs (ADAMI, 2009; KOSELINSKI, 2009; BORTOLLI, 2010) estão em franco progresso no Brasil, porém, estas abordam o seu fluxo somente entre alguns dos compartimentos do sistema. Nesse contexto, a ciclagem envolve a medição da quantidade e da velocidade de transferência de nutrientes de um compartimento para outro (fluxos e taxas), chegando-se, finalmente, ao seu balanço no sistema. O pleno conhecimento da ciclagem é importante para o uso eficiente dos nutrientes do solo, dos resíduos e dos fertilizantes (ANGHINONI et al., 2011). Dessa forma, a quantificação dos nutrientes da biomassa, bem como o padrão de sua ciclagem, permite avaliar a magnitude dos reflexos causados pela intervenção antrópica ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema, tornando possível, por meio de avaliações de ciclagem de nutrientes, a quantificação de entrada e saída de nutrientes.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Sistemas integrados de produção agropecuária

Nos últimos anos, com a crescente demanda por alimentos, energia e matéria prima, requer-se da agricultura uma postura mais eficiente e dinâmica a fim de suprir tais demandas (SAIBRO, 2001). A partir dessas demandas, surgiram os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) que são capazes de integrar em uma mesma área pastagens e herbívoros, culturas produtoras de grãos e o componente florestal de modo sinérgico (BALBINOT JR et al., 2009).

A pecuária brasileira baseia-se no uso de pastagens, as quais representam a forma mais econômica de alimentação de ruminantes. Os SIPA, por meio da presença de árvores, apresentam um potencial para aumentar e diversificar a oferta de forragem ao longo do ano, reduzir os danos causados por geadas e reduzir os extremos climáticos, que causam desconforto e prejudicam a produtividade e o desempenho reprodutivo dos animais, configurando assim melhorias no ambiente produtivo (LIN et al., 2001; PACIULLO et al., 2009; SOUZA et al., 2010). O enriquecimento do solo de pastagens, em áreas sob a influência das copas de árvores, tem sido observado em várias regiões, e ocorre em razão do aproveitamento de nutrientes pelas árvores, de camadas do solo que estão fora do alcance das raízes das forrageiras, e à incorporação gradativa de biomassa das árvores (folhas, flores, frutos, etc) à pastagem (SÁNCHEZ et al., 2003).

Dentro do contexto de SIPA, uma das alternativas que contrasta com a agricultura convencional é o uso do plantio direto com a rotação de culturas. Pois se o solo é mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresentará características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade, adequadas ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA et al., 2000). Portanto, quando há rotação de culturas com uso de gramíneas, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande, sendo positivo para o sistema. Porém, à medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Para Albuquerque et al. (1995), o plantio direto contribuiu para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, por manter o solo coberto por restos culturais ou por plantas vivas o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão e, ainda, mantendo o conteúdo de matéria orgânica. Dentro da rotação de culturas, busca-se manter o solo coberto durante todo o período. Portanto, estudos comprovam que, se bem manejado, o SIPA pode favorecer tanto a pecuária quanto a agricultura, por exemplo, se há a inclusão animal no sistema, este atuará como catalizador acelerando o rebrote de plantas e ciclagem de nutrientes (ASSMANN et al., 2003; 2004).

Balbinot et al. (2009), constataram que o uso de SIPA é o mais apropriado, pois ocupa intensamente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, concomitante à melhoria da qualidade do solo, otimizando a base da produção vegetal e animal e reduzindo o consumo de insumos e gerando maior renda por área. A qualidade do solo refere-se à sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando o rendimento biológico, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais (BALBINOT et al., 2009 apud DORAN & PARKIN, 1994; SINGER & EWING, 2000). Diversos autores enfatizam que o SIPA tem potencial para aumentar a produtividade e reduzir os riscos de degradação, ao melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas e o potencial produtivo do solo (AIDAR & KLUTCHCOUSKI, 2003; BALBINOT JUNIOR et al., 2009; MACEDO, 2009).

Além de vantagens como aumento da renda do produtor, menor uso de insumos agrícolas e conforto térmico para os animais, os SIPA promovem serviços ambientais. Considerado uma das tecnologias que compõem os compromissos voluntários assumidos pelo Brasil na Conferência sobre Mudanças Climáticas (COP-15, realizada em Copenhague, em 2009) para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Esse compromisso foi oficializado no “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, o que se convencionou chamar de “Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)” (BRASIL, 2010).

Para a sustentabilidade do SIPA, especialmente nas regiões tropicais, é indispensável que a palhada seja mantida sobre a superfície do solo de forma permanente. Entretanto, em regiões tropicais, o inverno quente e seco e o verão quente e chuvoso limitam o cultivo de culturas anuais, na entressafra, e aceleram a decomposição da cobertura vegetal do solo (PACHECO et al., 2011a, 2011b). Nessas condições de clima, as características mais importantes nas plantas de cobertura do solo são a quantidade e a durabilidade da fitomassa produzida (BOER et al., 2008; LEITE et al., 2010), bem como a sua capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente para os lixiviados em profundidade ou os pouco solúveis. É interessante, também, que os nutrientes sejam liberados dos resíduos de forma gradativa, para a cultura subsequente (CRUSCIOL et al., 2008).

No subtropico brasileiro, a produção se caracteriza pela utilização de pastagens anuais tais como gramíneas de crescimento hibernal, especialmente azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.). Entretanto, para que haja uma pecuária eficiente durante todo o ano, necessita-se de áreas com pastagens perenes de verão que, associadas com pastagens anuais de inverno, as quais compõem um sistema pastoril capaz de suprir a

forragem continuamente aos animais. Essa composição, na propriedade, permite manter carga animal constante e obter receita de áreas menos aptas às culturas comerciais (MORAES et al., 2002). Porém, existem algumas estatísticas esparsas e incertas em relação à implantação do SIPA no subtropico brasileiro, a maior barreira para a sua adoção é o paradigma corrente sobre os impactos negativos do animal nos sistemas de produção em manejo conservacionista. Assim, de acordo com os conceitos do plantio direto, o pastejo poderia ser interpretado como danoso e, frequentemente, indesejado, pois o animal se alimentaria das plantas de cobertura, deixando pouco resíduo. Além disso, muitos produtores e técnicos acreditam que os animais causam compactação no solo ("lenda do casco"), a despeito de muitos trabalhos demonstrarem que pastejos moderados com manejo adequado, podem melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CARVALHO et al., 2010). De acordo com Diekow & Bayer (2012), os SIPA têm resultado em aumento de estoques de C e N, quando comparados com áreas sem pastejo. Contudo, pesquisas vêm sendo feitas para avaliar e ajustar o pastejo nestas regiões, para que haja o suprimento da necessidade do animal juntamente com a produção de palha para cobertura do solo, fornecendo assim nutrientes para a cultura subsequente. Com estas afirmações dá-se a importância do entendimento da dinâmica de nutrientes nestes sistemas.

1.2.2. Ciclagem de nutrientes

Atualmente, tem-se estimulado a busca de alternativas de manejo de menor custo e maior produtividade que possibilitem pelo menos substituir parcialmente os fertilizantes químicos (KLIEMANN et al., 2006, TEIXEIRA et al., 2011). O uso de plantas de cobertura, para produção de palhada, que aportam grandes quantidades de massa ao solo, associado ao menor revolvimento do mesmo, são medidas que podem reduzir os impactos ambientais adversos e acarretar em maior economia e eficiência na adubação, pois parte dos nutrientes requeridos podem ser supridos pelos nutrientes liberados por meio da decomposição gradativa da palhada das plantas de cobertura (TEIXEIRA, 2010).

Stute & Posner (1995) afirmam que para um adubo verde ser eficaz no fornecimento de nutrientes, deve haver sincronia entre o nutriente liberado pelo resíduo da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial. Por exemplo, a alta taxa de mineralização do N contido na forrageira antes da fase de crescimento da cultura pode ocasionar perdas de N por processos, tais como: lixiviação, desnitrificação ou volatilização de

amônia (STUTE & POSNER, 1995; LARA CABEZAS et al., 2000). Por outro lado, se a mineralização ocorrer após esse período, a cultura não será beneficiada.

O uso de gramíneas hibernais, tais como aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em consórcio torna-se uma alternativa viável no enriquecimento de nutrientes do sistema. Bortolini et al. (2000) e Calegari (2001) relataram que a aveia-peta é eficiente na reciclagem de nutrientes na região do subtropical brasileiro, pois apresenta baixa taxa de decomposição dos resíduos comparado às fabáceas, em função da alta relação C/N (> 30).

Para que se tenha sucesso com a ciclagem de nutrientes no sistema, deve-se levar em consideração o manejo e a qualidade da cultura de cobertura, seja ela leguminosa ou gramínea. De acordo com Silva et al. (2007), para assegurar a sustentabilidade, é de fundamental importância a associação de um sistema de rotação de culturas diversificadas que produzam adequada quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, pois segundo Spera et al. (2009), o uso intensivo do solo promove elevada retirada de nutrientes e decomposição da palhada. Entretanto, a reposição destes nutrientes é de extrema importância.

Tilman et al. (1997) também afirmaram que para que se tenha sucesso com o reaproveitamento de nutrientes no sistema produtivo, é ideal que haja diversidade de espécies. Tais autores constataram que a complementaridade pode ocorrer de diferentes formas tais como: i) espacial (i.e., plantas com diferentes profundidades de enraizamento); ii) temporal (i.e., diferenças fenológicas); iii) preferência por forma de nutriente (i.e. nitrato, amônio, N dissolvido). Além disso, tal diversidade contribuirá na redução do nitrato no solo, reduzindo potenciais problemas de contaminação ambiental.

Neste contexto, o ajuste da carga animal torna-se essencial para garantir a ciclagem do nutriente no sistema. Anghinoni et al. (2010) defendem a ideia de que as taxas de lotação acima do ideal, tais como superlotação, podem acarretar em massas de forragem baixas, menor cobertura de solo, menor produção de forragem no sistema e, consequentemente, menor acúmulo de palhada para a cultura em sucessão. Os animais à pasto, os quais são catalizadores neste processo de ciclagem, influenciam este fluxo de nutrientes e a distribuição dos mesmos no solo, via desfolha das plantas, e o seu retorno para o solo, pela excreção, como esterco e urina (WHITEHEAD, 2000; NASCIMENTO JR. & CAVALCANTE, 2001; SANTOS, 2003). Entretanto, ao se manejar o número de animais por unidade de área (expressando a intensidade de pastejo) e a sua distribuição no espaço, se obtém a capacidade da fase pastagem em prover balanço positivo ou negativo de nutrientes ao sistema (CARVALHO et al., 2010).

O componente arbóreo influencia a ciclagem destes nutrientes no sistema, pois 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. Trabalhos conduzidos em sistemas integrados com componente arbóreo no subtropical brasileiro, mostram que a qualidade residual aumenta no sistema devido ao aumento da concentração de nutrientes (CARPINELLI, 2017).

Em sistemas naturais, o componente arbóreo promove aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes no solo (XAVIER; CARVALHO; ALVIM, 2003). Assim, as árvores aproveitam 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). Também, 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).

Entretanto, tratando-se do uso de nutrientes, o entendimento dos ciclos de elementos químicos essenciais para a agricultura torna-se necessário. Os ciclos biogeoquímicos nos SIPA fazem parte dos diferentes processos globais de transferência dos elementos químicos que ocorrem na biosfera. E estes nutrientes, circulam na natureza por meio do ciclo gasoso e do geológico, podendo obter a ciclagem destes nutrientes no ambiente. Esta ciclagem baseia-se no reaproveitamento do nutriente no sistema (ODUM, 1988). Os sistemas inorgânico e/ou orgânico são interligados nesses processos de movimentação. Os organismos fotossintetizantes sintetizam a biomassa a partir de nutrientes inorgânicos dissolvidos, de dióxido de carbono e da captação de energia solar. Esta matéria orgânica é consumida pelos animais formando a base de uma cadeia alimentar.

A ciclagem não segue um padrão e esta varia de acordo com as condições ambientais. Nas regiões mais frias, uma grande parte da matéria orgânica e dos nutrientes permanece no solo, enquanto que, nos climas mais quentes, uma porcentagem muito maior está na biomassa, sendo reciclada dentro das estruturas orgânicas do sistema. Além disso, a taxa de ciclagem, ou

seja, a velocidade com que os nutrientes se movimentam entre e dentro dos compartimentos, é muito mais rápida num clima tropical do que em um temperado (ODUM, 1988).

Portanto, hoje em dia dá-se a importância em entender fatores que controlam a ciclagem uma vez que pode se tornar possível sincronizar a disponibilização de nutrientes para a cultura sucessora. Ainda a pesquisa referente ao reaproveitamento de nutrientes através da ciclagem é pouco difundida, em especial na região Sul do país, porém já existem trabalhos que avaliam a ciclagem sendo uma alternativa promissora em sistemas plantio direto consolidado.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a ciclagem de nutrientes em dois distintos SIPA, isto é, sistemas com e sem o componente arbóreo, recebendo diferentes doses de N (90 e 180 kg N ha⁻¹) na fase pastagem do sistema, na região dos Campos Gerais, visando a sustentabilidade destes sistemas de produção.

2.1. Objetivos específicos

- Determinar o efeito do sombreamento proporcionado pela presença de árvores, bem como das distâncias das árvores, sobre a quantidade e a qualidade do resíduo, tanto da pastagem, como da lavoura;
- Avaliar o efeito das doses de nitrogênio aplicadas na fase pastagem sobre a quantidade e a qualidade da liteira, tanto da pastagem, como da lavoura;
- Determinar o efeito do sombreamento proporcionado pela presença de árvores, bem como das distâncias das árvores, na dinâmica de decomposição da liteira, bem como a liberação de nutrientes da liteira da fase pastagem para a lavoura de milho e vice-versa.
- Avaliar o efeito das doses de nitrogênio aplicadas na fase pastagem na dinâmica de decomposição da liteira, bem como a liberação de nutrientes da liteira da fase pastagem para a lavoura de milho e vice-versa.

O presente trabalho compreenderá duas fases experimentais: avaliação do resíduo de pastagem durante o ciclo do milho em 2013 e a avaliação do resíduo do milho durante o período de pastejo (2012-14).

3. HIPÓTESES

A quantidade e a qualidade do resíduo das culturas, bem como a dinâmica de decomposição e de liberação de macronutrientes a partir destes resíduos, são distintas de acordo com o sistema (SIPA com ou sem árvores) e do manejo de fertilidade adotado (e.g. doses de N). Por exemplo, o aumento da dose de N proporciona uma maior produção de biomassa em gramíneas.

A associação com árvores afeta a dinâmica de decomposição do resíduo das culturas em função das alterações microclimáticas (i.e., menor exposição ao sol, aumento da umidade no sistema, diminuição da temperatura do solo, etc.) que ocorrem em tais sistemas arborizados. As distintas distâncias entre os renques arbóreos proporcionam diferentes níveis de sombreamento. Quanto maior o nível de sombreamento, maior será o impacto negativo das árvores na produtividade da cultura associada, porém, a concentração em nutrientes é, em geral, maior, resultando em mudanças positivas no valor nutritivo da planta.

Tais alterações provocarão diferentes padrões de decomposição da matéria seca e na liberação de nutrientes para as culturas subsequentes, ou seja, afetarão a ciclagem de nutrientes e a sincronia entre a liberação e a absorção de nutrientes pelas culturas que compõem o SIPA.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, P. F. **Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2009.
- ANGHINONI, I et al. Benefícios da integração lavoura- pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. (Ed.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa: AEAGPG, 2011. p. 272-309, 2010.
- ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **III Encontro de Integração Lavoura - Pecuária no Sul do Brasil**, p. 8, 2011.
- ASSMANN, T. S. et al. 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.
- ASSMANN, A.L. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Zootecnia, v.33, n.1, p.37-44, 2004.
- ASSMANN, T.S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.675-683, 2003.
- BALBINOT Jr., A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- BARRO, R.S. et al. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41, 1589-1597. 2012.
- BAYER, C.; DIECKOW, J. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, p.1499-1511, 2009.
- BODDEY, R.M. et al. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.103, p.389-403, 2004.
- BOER, C.A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

BORTOLLI, M. A. **Influência de períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado)—universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2010.

BRASIL IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/9440-ibge-lanca-novo-mapa-de-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html>. Acesso em: 07/01/2018.

BRASIL. Decreto 7390/10 | Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 09 dez. 2010

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

CARPINELLI. **Ciclagem De Macronutrientes Em Sistemas Integrados De Produção Agropecuária No Centro-Sul Do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017.

CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 88: 259-273, 2010.

CARVALHO, P.C.F et al. **Produção de Bovinos em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária**. Campinas, Intituto Agrônomo de Campinas v. 111, 2013.

CRUSCIOL et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-22.

FAO Sete Lagoas “Consensus” on Integrated Crop-Livestock Systems for Sustainable Development. **Plant Production and Protection Division Consultation Documents**. 2010.

FERREIRA, E.V.F. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade da soja na integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35 p.161-169, 2011

JACKSON, J.; ASH, A.J. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of Northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. **Agroforestry Systems**, v.40, p.159-176, 1998

KARAM, S. L. et al. Development and evaluation of a nutrient cycling extension for the LANDIS-II landscape simulation model. **Ecological Modelling**, v. 250, p. 45-57, 2013.

KLIEMANN HJ, BRAZ AJBP, SILVEIRA PM. Taxa de composição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 2006;36:21-8.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. **Implantação, condução e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). Integração lavoura-pe- cuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. cap. 15, p. 407-441

KOZELINSKI, S. M. **Produção de trigo duplo propósito e cicla- gem de nutrientes em sistema de integração lavoura pecuária**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2009.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:363-376, 2000.

LEITE, L.F.C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.29-35, 2010.

LEME, T.M.S.P et al. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de Brachiaria decumbens em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.668-675, 2005.

LIN, C.H. et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforest System**, 59: 269-281.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 42., 2005, Goiânia. **Anais**. Goiânia: SBZ/UFG, p.56-84, 2005.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J. et al. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 1, 2002, Pato Branco. **Anais**. Pato Branco: Imprepel Gráfica & Editora Ltda, p. 3-42, 2002.

NASCIMENTO JR., D. & CAVALCANTE, M.A.B. Reciclagem de excreções animais na pastagem. 2001. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/vermat.asp?codmat=39>> Acesso em 17 de outubro de 2017

ODUM, E. P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara. 434p

PACHECO, L.P. et al. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1787-1799, 2011a

PACHECO, L.P et al. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.17-25, 2011b.

PACIULLO, D. S. C et al. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 11, p. 1528-1535, nov. 2009. DOI: [http:// dx.doi.org/10.1590/ S0100-204X2009001100022](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100022).

SAIBRO, J.C. Animal production from tree-pasture association systems in Brazil. In: International Grassland Congress. **Palestra...** São Pedro, SP: FEALQ, p.637-643, 2001.

SÁNCHEZ, S.; HERNÁNDEZ, M.; SIMÓN, L. Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa Nazareno. **Pastos y Forrajes**, v.26, n.2, p.131-136, 2003

SANTOS, H.Q. **Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 142p. (Tese de Doutorado).

SILVA, D.A. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006.

SILVA, L.A.C.; MEIRELLES, P.R.L. Uso do eucalipto em sistemas integrados de produção animal. In: Jornada Científica e Tecnológica, 2, 2013, Botucatu. **Anais**. São Paulo: Fatec Botucatu, 2013. 6 p.

SOUZA,W; BARBOSA,O.R.; MARQUES,J.A et al. Behavior of beef cattle in or silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.39, n.3, p.677-684, 2010.

SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p.129-136, 2009

STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agron. J.**, 87:1063-1069, 1995.

TILMAN, D. et al. The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. **Science, New Series**, v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 1997.

WHITEHEAD, D.C. Nutrient elements in grassland: Soil– plant–animal relationships. Wallingford, **CAB International**, 2000. 369p.

WILSON, J.R. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. **Tropical Grasslands**, v.32, p.209-220, 1998.

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.

CAPÍTULO 2 – CICLAGEM DE NUTRIENTES DURANTE O CULTIVO DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

2.1. INTRODUÇÃO

Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) caracterizam-se por utilizar a fundamentação básica do sistema plantio direto (SPD). O uso de plantas de cobertura é considerado uma alternativa que visa aumentar a sustentabilidade do sistema podendo restituir quantidades consideráveis de nutrientes ao cultivo. Tratando-se de gramíneas, principalmente quando implantadas de forma integrada, no modelo de rotação de culturas, proporcionam alta produção de fitomassa, com elevada relação C/N, o que sugere a adição de nitrogênio para a decomposição da palha, garantindo a cobertura do solo e protegendo-o por um período prolongado.

As pastagens hibernais, como *Avena strigosa* (aveia preta) e *Lolium multiflorum* (azevém anual), são consideradas uma boa alternativa de uso das áreas, não somente para cobertura do solo e/ou produção de palhada para o SPD, mas por se tratar de duas espécies com elevado valor nutricional e alto potencial produtivo (AGUINAGA et al., 2008; MORAES 1991), consequentemente levando a um elevado ganho animal. De acordo com Lopes et al. (2008), estas cultivares quando consorciadas, permitem maior período de utilização.

Dentro deste contexto, a utilização de plantas de coberturas dentro de um sistema sustentável, conta com o fornecimento de nutriente para a cultura sucessora. Por exemplo, resíduos culturais na superfície do solo constituem importante reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual, conforme a interação entre os fatores climáticos, principalmente precipitação e temperatura, atividade macro e microbiológica do solo e qualidade e quantidade do resíduo vegetal (ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; PARIZ et al., 2011a).

A literatura mostra que a introdução do componente arbóreo pode ter a finalidade de proporcionar maior sustentabilidade e diversificação do sistema de produção (COSTA et al., 2005; MCADAM et al., 2005). No entanto, a barreira física imposta pela copa das árvores diminui a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), resultando em modificações estruturais que influenciam o crescimento, sobrevivência (CANHAM et al., 1990; VALLADARES, 2003) e produtividade da pastagem, alterando a dinâmica da ciclagem de nutrientes (PACIULLO et al., 2008).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e quantidade do resíduo oriundo de uma pastagem de aveia preta + azevém em distintos SIPA, bem como a decomposição e a liberação de macronutrientes para a cultura do milho, visando a sustentabilidade do sistema.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Fazenda Modelo do Instituto Agrônômico do Paraná (EEFM/IAPAR), localizada no município Ponta Grossa, Paraná (25°07' 22" S; 50°03' 01" W). Segundo 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. A precipitação média é de 1400 a 1600 mm anuais. O solo é classificado Cambissolo Haplico Tb Distrófico típico e Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado, textura média, fase relevo plano a suave ondulado (8% declive) (EMBRAPA, 2006).

O experimento teve início no ano de 2006, com o plantio das árvores de eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevilea (*Grevillea robusta*), as quais foram implantadas em linhas simples e distanciadas 3m entre si, totalizando um arranjo de 238 árvores ha⁻¹. Devido a declividade do terreno, as árvores foram implantadas transversalmente, tendo um espaçamento de 14m entre linha de árvores e 3m entre árvores na linha. Tal sistema foi concebido tendo como o principal objetivo a conservação do solo. Foi realizado um desbaste nas árvores de aroeira no ano de 2013 de forma a reduzir o stand inicial (238 árvores ha⁻¹) em 1/3, restando 158 árvores ha⁻¹. A retirada das árvores de aroeira teve como principal motivo o dano causado pelos animais, impossibilitando a manutenção das mesmas (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012). Tal desbaste contribuiu para diminuição do sombreamento nas culturas associadas.

2.2.1. Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental compreende 13,7 ha, sendo 6,98 ha arborizados e o restante, 6,09 ha, sem árvores. Tal área foi dividida em 12 unidades experimentais, sendo o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro tratamentos, resultantes do cruzamento de dois fatores: sistema com ausência do componente arbóreo (ILP, integração lavoura - pecuária) e sistema com presença do componente arbóreo (ILPF, integração lavoura - pecuária- floresta)

combinado com duas doses de Nitrogênio (90 e 180 kg de N ha⁻¹, N90 e N180 respectivamente) com três repetições (Figura 1).

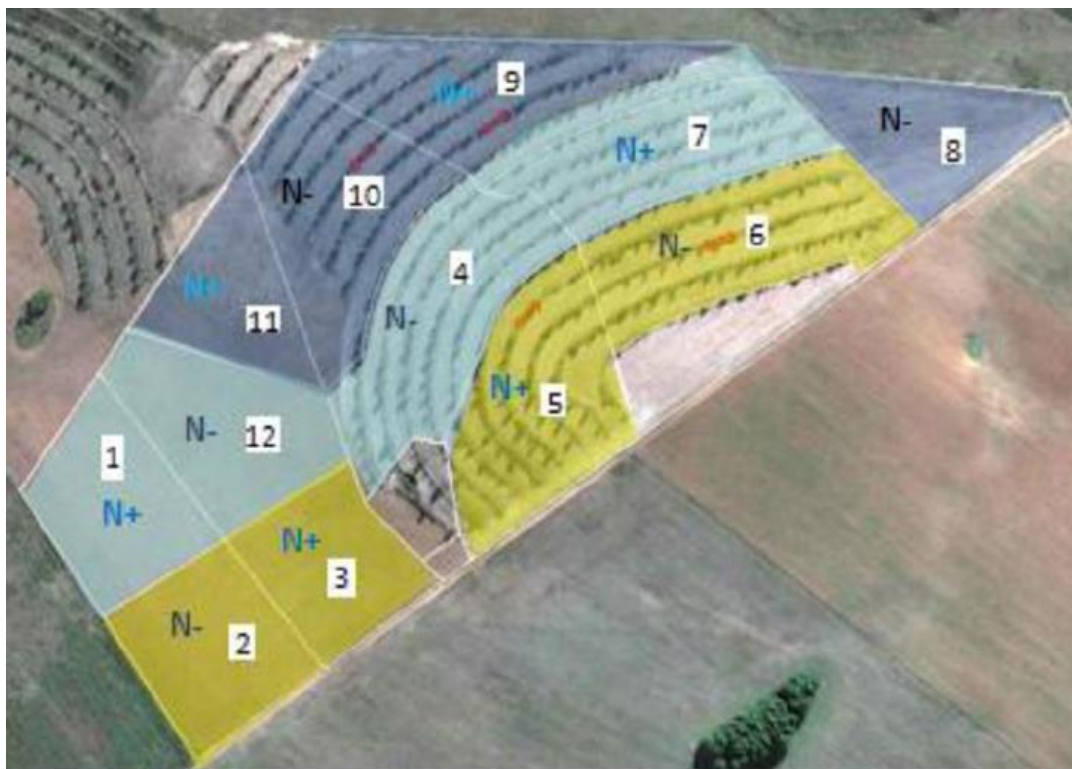


Figura 1 - Croqui da área experimental localizada no município de Ponta Grossa-PR. As cores representam os diferentes blocos experimentais. N+ representa os piquetes que receberam 180 kg de N ha⁻¹ e N- os que receberam 90 kg de N ha⁻¹. Os números indicam as unidades experimentais. 2, 3, 5 e 6 pertencem ao bloco 1; 1, 12, 4 e 7 o bloco 2; e 11, 10, 9 e 8 o bloco 3. Fonte: Adaptado de PORFIRIO-DA-SILVA (2012)

Cada unidade experimental no sistema arborizado foi dividida em três distâncias entre os renques arbóreos, (P1, adjacente aos renques; P2, posição intermediária e P3, 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, em posição intermediária, como na posição central entre renques de árvores (Figura 2).

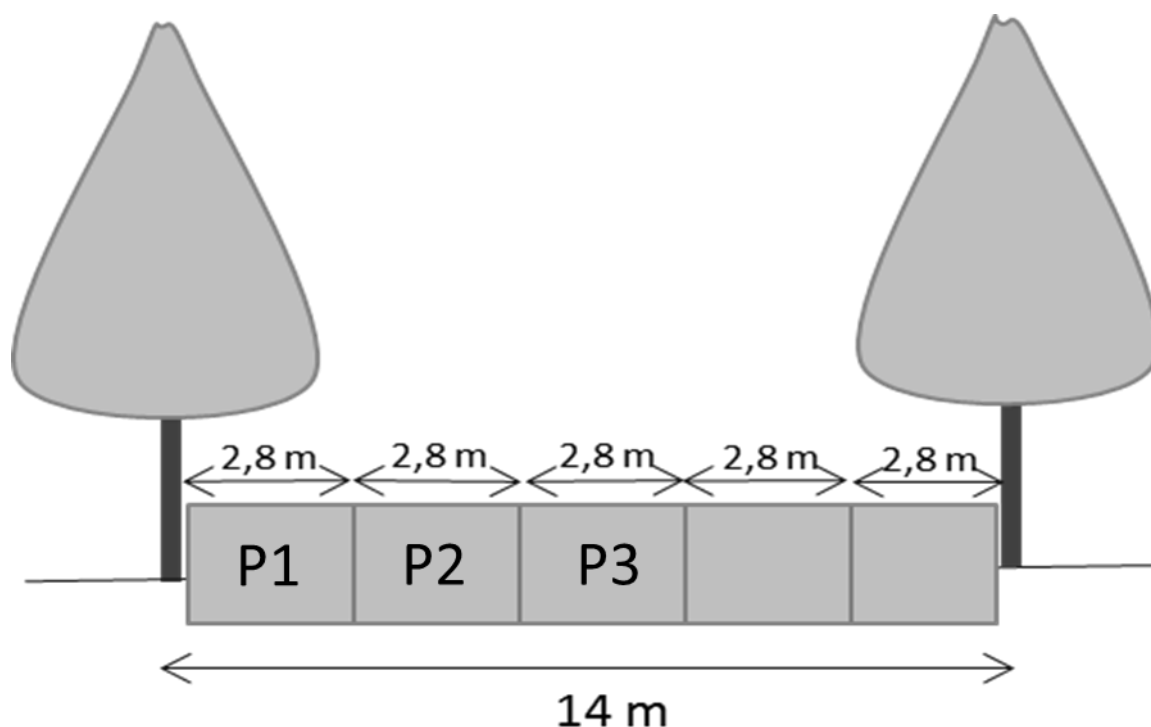


Figura 2 - Esquema das faixas de avaliação entre renques arbóreos (P1, posição adjacente aos renques; P2, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques). Fonte: Pontes et al. (2018).

2.2.2. Condução do experimento

Desde 2010, a área vem sendo utilizada com rotação de culturas. No verão são utilizados soja (*Glycine max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.), intercalados. Durante o inverno, utiliza-se pastagem anual de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) consorciado com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), para cobertura do solo e pastejo dos animais. O período experimental compreendeu o resíduo da fase pastagem do inverno de 2013 e o milho em 2013/2014.

A pastagem foi estabelecida no dia 22 de abril de 2013, através do método de plantio direto, utilizando-se 45 kg ha⁻¹ de aveia preta e 15 kg ha⁻¹ de azevém anual. Foram utilizados 420 kg ha⁻¹ do formulado 4-30-10 (NPK) na adubação de base e 90 kg N ha⁻¹ ou 180 kg N ha⁻¹ na forma de ureia, em cobertura para as duas doses de adubação nitrogenada avaliadas, as quais foram aplicados após 39 dias do plantio, na fase de início de perfilhamento da pastagem. Para o cultivo de milho, utilizou-se a variedade IPR 164, semeado em 12 de novembro de 2013, por meio do método de plantio direto na palha, isto é, sob a palhada residual da pastagem de inverno. O espaçamento entre linhas de milho foi de 0,80 metros com 6,0 sementes por metro linear, configurando uma população inicial de 75.000 plantas ha⁻¹. A

adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹ de NPK, na formulação 10-30-30, e a adubação em cobertura foi realizada aos 41 dias após o plantio, com 270 kg ha⁻¹ de ureia, em dose única, em ambas as áreas. Mais detalhes na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das culturas de pastagem e milho utilizadas durante o período experimental

Cultura	Data de semeadura	Espaçamento entre linhas	Cultivar	Manejo e colheita
Aveia Preta + Azevém (2013)	22/04/2013	0,17 m e 250 sem/m ²	IPR 61 e FEPAGRO São Gabriel	Dessecação aos 22 dias após a retirada dos animais 08/10/2013
Milho (2013/2014)	12/11/2013	0,8 m e 5,8 sem/m ²	IPR 164	07/05/2014

O sistema de pastoreio utilizado neste experimento foi o contínuo com o uso da técnica “put and take”, descrita por MOTT & LUCAS (1952), para o ajuste da carga e manutenção de altura constante da pastagem de cerca de 20 cm (CARVALHO, 2005) através do uso de animais reguladores. Em cada unidade experimental foram mantidos quatro animais “testers” da raça Purunã (com idade entre 8 e 10 meses) durante a fase pastagem do experimento. Para mais detalhes sobre carga, lotação e/ou oferta de forragem utilizada em cada tratamento e em cada ano, ver Pontes et al. (2018).

2.2.3. Avaliações

Para a determinação da quantidade de biomassa depositada sobre o solo (i.e. palhada e/ou resíduo), seis amostras de 0,5 x 0,5 m foram coletadas por unidade experimental. Estas amostras foram coletadas entre a dessecação do resíduo da cultura antecessora e a semeadura da cultura sucessora, ou seja, na primavera (resíduo da pastagem e implantação das culturas de grãos). Sub-amostras foram separadas de acordo com a origem do material (pastagem, cultura de milho e componentes oriundos das árvores) para a determinação da porcentagem de cada componente. Após, todas as amostras foram secas em estufa a 55°C, até massa constante, e pesadas. Partes destas amostras foram analisadas quimicamente para a determinação da concentração inicial de nutrientes contida na palhada. Em seguida, 20g de matéria seca dos resíduos (com todos os componentes) foram adicionados nos *litter bags* (20 x 20 cm e malha de 2 mm, Figura 3), i.e., sacos de decomposição, para posterior determinação da taxa de decomposição da biomassa e liberação de nutrientes. As amostragens do material contido nos *litter bags* foram realizadas aos 8, 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 165 dias após a

semeadura do milho. Portanto, inicialmente um total de 288 sacos foram depositados na superfície do solo, ou seja, 3 *litter bags* por unidade experimental multiplicado pelo número de datas de avaliação. No sistema sem árvores, os *litter bags* foram distribuídos de forma aleatória nas unidades experimentais, enquanto que no sistema arborizado considerou-se as 3 posições entre renques arbóreos descritas acima.



Figura 3 - Modelo de *litter bag* utilizado no experimento.

O material vegetal foi retirado dos sacos de decomposição, retirando-se os resíduos de solo, e secos a 55°C em estufa de ventilação forçada até peso constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado para determinação da quantidade de material remanescente. Em seguida foi moído em moinho do tipo Willey (peneiras de 1mm) para a realização das análises químicas e determinação dos nutrientes remanescentes nos resíduos. Porções de 0,5g dessas amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica para posterior determinação dos teores de P e S através do método de colorimetria. O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl. O K foi determinado por fotometria de chama de emissão. Todas as análises foram realizadas conforme metodologia proposta por SILVA (2009).

A percentagem da massa seca remanescente e os respectivos teores de nutrientes foram calculados com base na biomassa total e na concentração total dos nutrientes no início e

no final dos períodos de incubação a campo. Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O sombreamento proporcionado pelo arranjo arbóreo foi caracterizado através de avaliações da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível, com ajuda de dois ceptômetros. Um ceptômetro ficou em área à pleno sol para medidas a cada 1 minuto. Com o outro ceptômetro foram feitas medidas em setembro de 2013, setembro de 2014 e outubro de 2014, a cada 15 minutos em três posições entre renques arbóreos, no período de 9:00h da manhã até 16:00h. O resultado desta avaliação foi uma redução na porcentagem de luz de 53,8% para a posição 1 (P1), 49,2% para a posição 2 (P2) e 45,1% para a posição 3 (P3).

2.2.4. Análises estatísticas

Os dados de quantidade de matéria seca e 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 porcentagem de nutriente (MS, N, P, K e S) remanescente no tempo *t* (dias);

res é o tamanho da fração resistente;

act é a prontamente decomponível (i.e. fração ativa); e

k é a constante de decomposição da fração disponível.

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 (PAUL & CLARK, 1996):

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

Onde:

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

k é a constante de decomposição descrita anteriormente.

Primeiro, foi feito o modelo de regressão não linear para cada unidade experimental. A partir destes modelos obteve-se o prontamente disponível e a constante de decomposição da fração disponível (tempo⁻¹), para cada unidade experimental. Em seguida, foi feita análise de variância (ANOVA) para tais variáveis para verificar os efeitos dos fatores bloco (aleatório), e dos fatores fixos, isto é, tratamentos (doses de N*SIPA) e posição entre as linhas de árvores árvores (*nested* em tratamento). Quando necessário, para atender ao teste de normalidade, os

dados foram transformados (e.g. raiz quadrada, logaritmo). De forma concomitante, observou-se também os gráficos de interação entre os fatores categóricos tempo, tratamentos e distâncias 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 do 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 inicial 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 posições como fixos.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Quantidade e qualidade do resíduo da pastagem

A quantidade inicial de resíduo da pastagem, no momento da semeadura do milho, foi significativamente afetada pelos tratamentos, variando entre 3041 e 5018 kg de MS ha⁻¹ (Tabela 2). A proporção de folhas foi menor no ILPF N180 quando comparado aos demais (Tabela 2). Em relação a proporção de colmo no resíduo, foram observadas diferenças apenas entre sistemas e não entre doses de N (Tabela 2). Em média, 48% do resíduo coletado no momento da semeadura do milho no sistema arborizado era proveniente das árvores, sem efeito significativo das doses de N (Tabela 2).

Tabela 2 - Massa de resíduo (MR), composição do resíduo (PF e PC, proporção de folhas e de colmo da pastagem, respectivamente, e PA, proporção de resíduos provenientes das árvores, isto é, folhas, ramos, etc) e concentrações de nutrientes no resíduo da pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa* ao final do período de pastejo (médias $\pm$ desvio padrão), ou seja, no momento da semeadura da cultura do milho. ILP, Integração Lavoura Pecuária; ILPF, Integração lavoura pecuária e floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹), respectivamente.

	ILP N90	ILP N180	ILPF N90	ILPF N180	F	P
MR (kg ha ⁻¹)	4191 $\pm$ 848,0ab	5018 $\pm$ 298,0a	3419 $\pm$ 343,8b	3041 $\pm$ 146,0b	4,5	0,0212
PF (%)	20,5 $\pm$ 3,94ab	25,3 $\pm$ 3,17a	14,6 $\pm$ 2,36bc	12,6 $\pm$ 1,66c	5,7	0,0092
PC (%)	79,5 $\pm$ 3,94a	74,70 $\pm$ 3,17a	42,10 $\pm$ 6,56b	35,35 $\pm$ 4,98b	9,5	0,0011
PA (%)	-	-	43,25 $\pm$ 8,36	52,09 $\pm$ 6,42	0,8	0,3979
N (g/kg)	13,81 $\pm$ 0,52ab	14,27 $\pm$ 1,12ab	11,80 $\pm$ 0,92b	14,38 $\pm$ 0,61a	3,36	0,0398
P (g/kg)	1,64 $\pm$ 0,16	1,96 $\pm$ 0,09	1,36 $\pm$ 0,13	1,90 $\pm$ 0,18	2,17	0,1372
K (g/kg)	12,96 $\pm$ 1,46	14,47 $\pm$ 0,60	11,72 $\pm$ 1,09	13,63 $\pm$ 1,80	0,48	0,7044
S (g/kg)	1,08 $\pm$ 0,01	1,28 $\pm$ 0,10	0,96 $\pm$ 0,08	1,22 $\pm$ 0,06	2,12	0,1437

F e P, F-ratio e probabilidade para o efeito de tratamentos, exceto para a variável % de árvore, onde P e F é para o efeito de doses de N.

Os tratamentos afetaram somente os teores em N do resíduo (Tabela 2). A concentração em N foi maior no ILPF N180. Diferenças significativas entre as posições entre os renques arbóreos foram observadas somente para o teor inicial em N no resíduo e somente no N180, com aumento dos valores a medida em que se aumenta a distância das árvores (Tabela 3).

Tabela 3 - Concentrações de nitrogênio no resíduo da pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa* em sistemas integrados de produção agropecuário submetido a duas doses de Nitrogênio no período de pastejo em diferentes posições entre dois renques arbóreos. N90, 90 kg N ha⁻¹; N180, 180 kg N ha⁻¹.

	N90	N180
P1	14,32±1,28a	12,73±0,63b
P2	10,60±0,68a	14,64±1,21ab
P3	10,48±1,80 ^a	15,79±0,61a
<i>F</i>	3,4	
<i>P</i>	0,0398	

P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores. *F* e *P*, *F*-ratio e probabilidade para o efeito de posições entre renques arbóreos.

2.3.2. Decomposição da Matéria Seca do pasto ao longo do cultivo do milho

O modelo que melhor se ajustou para a taxa de decomposição de matéria seca foi o exponencial simples. Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para a fração ativa e a constante de decomposição da matéria seca. A fração ativa variou de 44 (ILPF N90) a 59% e a constante obteve maior média no ILP N90 (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros do modelo exponencial não linear para Massa de Resíduo (MSRem), N, P, K, e S remanescente (Rem) ao longo do tempo nos *litter bags* depositados na superfície do solo em distintos sistemas integrados de produção agropecuária (ILP, Integração Lavoura Pecuária; ILPF, Integração lavoura pecuária e floresta) ao longo da fase com milho. N90 e N180 (90kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente).

		ILP N90	ILP N180	ILPF N90	ILPF N180	F	P
MSRem							
	FA	50,5±2,72	68,8±3,85	44,4±2,05	50,6±6,74	4,4	0,0271
	K	0,06±0,01	0,02±0,005	0,02±0,003	0,01±0,03	3,6	0,044
Modelo exponencial	Msrem=	49,44+50,55× e ^{-0,061t}	31,19+68,80 × e ^{-0,028t}	55,55+44,44×e ^{-0,025t}	49,37+50,68× e ^{-0,012t}		
R ²		0,83	0,86	0,76	0,61		
T ½ ⁽¹⁾		11,2	24,7	27,5	54		
Nitrogênio							
	FA	63,0±4,72	65,7±7,02	47,3±4,21	54,0±5,78	0,35	0,7904
	K	0,08±0,02	0,03±0,01	0,02±0,009	0,02±0,008	0,2	0,8917
Modelo exponencial	NRem=		48,16+51,83× e ^{-0,036t}				
	r ²		0,36				
T ½			18,9				
Fósforo							
	FA	33,5±5,8	55,7±5,40	15,6±6,89	34,0±4,60	0,78	0,5303
	K	0,12±0,10	0,05±0,02	0,03±0,06	0,05±0,03	4,12	0,0383
Modelo exponencial	Prem=	66,40+33,59× e ^{-0,122t}	44,21+55,78× e ^{-0,048t}	15,69+84,30× e ^{-0,033t}	66,94+34,03× e ^{-0,058t}		
r ²		0,25	0,53	0,03	0,13		
T ½		5,66	12,26	20,70	11,91		
Potássio							
	FA	96,1±3,72	97,2±2,89	96,2±2,43	96,4±2,05	1,47	0,2655
	K	0,04±0,006	0,05±0,006	0,04±0,004	0,04±0,0004	0,44	0,7249
Modelo exponencial	Krem=		4,44+95,55× e ^{-0,054t}				
r ²			0,92				
T ½			12,7				
Enxofre							
	FA	44,1±4,74	57,7±6,58	29,3±8,58	47,1±4,12	0,89	0,4834
	K	0,24±0,23	0,03±0,01	0,02±0,02	0,04±0,01	0,34	0,7949
Modelo exponencial	Rem=		53,03+46,97× e ^{-0,052t}				
r ²			0,71				
T ½			13,4				

FA: Fração ativa; k: Constante de decomposição da fração ativa e/ou disponível (%); F e P, F-ratio e probabilidade para o efeito de tratamentos. T ½, tempo necessário para decomposição de 50% da matéria seca ou liberação de 50% dos nutrientes;

O tempo de meia-vida variou de 11 a 54 dias entre os tratamentos, demonstrando uma decomposição mais rápida no ILP N90 (Tabela 4). Ao longo dos 165 dias de exposição à campo, a matéria seca remanescente foi de 49,4% no ILP N90 (Figura 4). Após 60 dias de exposição à campo, a decomposição da matéria seca permaneceu constante no ILP N90. No ILP N180, a matéria seca remanescente foi de 31,2% ao final do período experimental (Tabela 4).

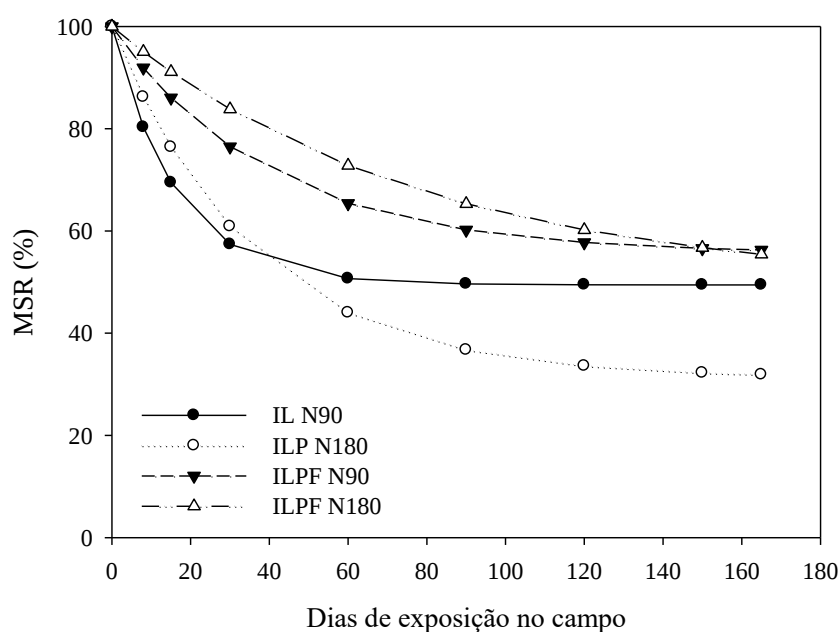


Figura 4 - Matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo de Aveia preta+Azevém contida nos *litter bag* durante exposição à campo ao longo do período experimental. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF, integração lavoura -pecuária - floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente).

2.3.3. Liberação dos macronutrientes a partir do resíduo da pastagem durante o cultivo do milho

A quantidade de N remanescente foi estimada pela equação $Rem = 48,2 + 51,8 \times e^{-0,036t}$. Apesar da fração ativa e a constante de decomposição permanecerem constantes entre os tratamentos, a quantidade total de N liberado diferiu entre os tratamentos, sendo maior no ILP N180 (37 kg N ha⁻¹ aos 165 dias de exposição, Figura 5) em função da maior quantidade inicial de resíduo aliada a maior concentração inicial em N neste resíduo. O tempo de meia-vida de N foi de aproximadamente 19 dias (Tabela 4).

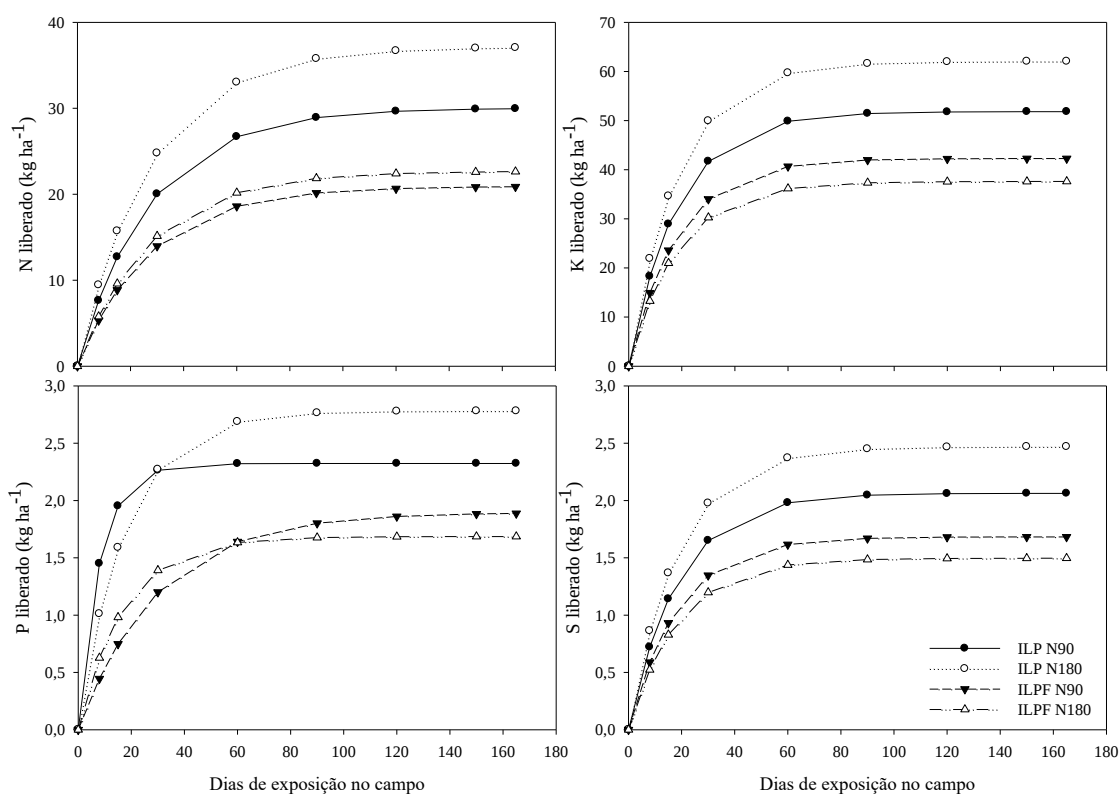


Figura 5- Liberação de macronutrientes (N, P, K e S) do resíduo da pastagem ao longo do cultivo do milho. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF, integração lavoura -pecuária - floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente).

Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos na constante de decomposição para a liberação do P (Tabela 4), com menores valores no tratamento ILPF N90. Consequentemente, o tempo de meia-vida para o P também variou entre os tratamentos, isto é, entre 5 (ILP N90) e 20 (ILPF N90) dias (Tabela 4). A maior quantia de P liberado ao final do tempo de exposição dos *litter bags* a campo ocorreu no tratamento ILP N180 (2,78 kg P ha⁻¹, Figura 5). Cabe salientar que os coeficientes de determinação foram bastante baixos, particularmente no ILPF. Portanto, seria interessante uma repetição de tais avaliações.

Para K e S não foram encontradas diferenças significativas nos parâmetros do modelo utilizado na liberação entre os tratamentos. A liberação de S e K foi maior no ILP N180 (Figura 5) e ao final dos 166 dias de exposição a campo, a quantia de S acumulado no sistema foi de 2,46 kg S ha⁻¹. Para que 50% de S fosse liberado, precisou de aproximadamente 13 dias. Aos 60 dias de exposição á campo, aproximadamente 90% de K já havia sido liberado (Figura 5).

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1. Quantidade e qualidade do resíduo da pastagem de Aveia preta e Azevém no momento da semeadura do milho

Maiores quantidades de resíduo inicial foram observadas no ILP N180. Tratando-se de sistemas arborizados, percebe-se que a tendência é de aumentar o sombreamento com o passar dos anos. Nove anos após a implantação das árvores, neste mesmo local do experimento, verificou-se grande diferença entre os sistemas em relação à biomassa da pastagem (PONTES et al., 2017).

Perante este fato, a restrição de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) tem sido uma das principais causas para o menor desempenho da forrageira, pois pode proporcionar maior crescimento de colmos, alteração na área foliar e no tamanho de folhas, modificando a densidade de plantas no sistema sombreado, formando plantas estioladas. Geralmente, estas alterações têm por objetivo aumentar a captação da luz incidente, aumentando a eficiência fotossintética da planta (LAMBERS et al., 1998). Plantas estioladas possuem menor produção de perfilho, quando comparado com ambientes sem restrição luminosa (BELESKY et al., 2011) e, desse modo, há redução no rendimento de massa seca.

A restrição luminosa em sistemas arborizados resulta em alterações na estrutura da pastagem (i.e., densidade de perfilhos), alterando a relação entre massa de forragem e altura da pastagem (PONTES et al., 2017). Para amenizar este impacto ocasionado pelo componente arbóreo, é necessário a realização de um desbaste nas árvores, proporcionando um aumento na incidência luminosa no sistema (PORFIRIO-DA-SILVA et al., 2009). No entanto, mesmo as alturas médias sendo semelhantes entre os dois sistemas (~20 cm), diferenças significativas foram encontradas em termos de massa de forragem (PONTES et al., 2017). Em SIPA, a pastagem manejada com altura média de pastejo de 20 cm, pode contribuir para maior agregação do solo na camada superficial (SOUZA et al., 2010; CONTE et al. 2011), e não altera a densidade e a porosidade do solo, ao ponto de ocorrer compactação (CONTE et al. 2011). Contudo, tais características precisam ser avaliadas quando se tem a mesma altura, mas com biomassa distinta.

Sabe-se que para assegurar o sistema plantio direto (SPD) é necessária uma certa quantidade de resíduo para manutenção do sistema. Durante a semeadura do milho, a quantidade de resíduo nos sistemas variou de 3 toneladas para 5 toneladas aproximadamente (Tabela 3) o que não asseguraria a quantidade mínima de resíduo no SPD, de acordo com Denardim e Kochhann (1993, apud KUNRATH et al., 2015) e Alvarenga et al. (2001) e Nunes et al. (2006) que verificaram que a adição anual de resíduo de 6.000 kg ha⁻¹.

Os tratamentos influenciaram o teor de Nitrogênio no resíduo da pastagem, com maiores teores de N no ILPF N180 (Tabela 2). A disponibilidade de N estimula o crescimento e a atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de outros nutrientes (OLSON & KURTZ, 1982; YANAI et al., 1996) e na quantidade de matéria seca produzida pela forrageira (SANTI, 2001).

As posições entre os renques arbóreos influenciaram a concentração de N. Na posição mais central ao renque, a concentração de N foi de 18,5 kg N ha⁻¹ enquanto que na posição mais próxima das árvores, sua concentração foi de 25,3 kg N ha⁻¹, isto recebendo a menor dose de adubação nitrogenada, aos 165 dias de exposição à campo. Para a literatura, este aumento na concentração de N se deve a menor produção de MS no ambiente sombreado. Castro et al. (1999), avaliando níveis de sombreamento na produtividade de forragem de várias espécies, constataram que em todas as gramíneas, as menores concentrações de N foram observadas no sombreamento mais intenso. As variações nos teores de tais reservas de N estão associadas à intensidade luminosa, graças à relação direta entre a fotossíntese líquida e a intensidade da radiação luminosa que chega às folhas. Porém, como comentado anteriormente, deve ser realizado um desbaste para que este componente não prejudique a qualidade do sistema.

A literatura mostra que a aplicação de nitrogênio aumenta a absorção de P mais rapidamente do que a produção de matéria seca, de tal forma que a concentração de P nas plantas aumenta (PRIMAVESI et al., 2004). Em relação ao teor de K, alguns trabalhos mostram que com o aumento do teor em N, aumenta a eficiência de K na planta (PRIMAVESI et al., 2006; COUTINHO et al., 2004). Em relação ao teor de S, alguns autores afirmam que a relação N:S em forrageiras tropicais aumentou com o acréscimo das doses de N, o que refletiu nos teores de S (MONTEIRO et al., 2004). No entanto, no presente trabalho, os tratamentos não influenciaram os teores iniciais de P, K e S no resíduo da pastagem.

2.4.2. Decomposição de Matéria Seca e liberação de macronutrientes a partir do resíduo de Aveia preta e Azevém

Os tratamentos influenciaram a decomposição da matéria seca (MS), demonstrando uma rápida decomposição no ILP N180 (Tabela 4). Devido à presença do componente arbóreo, a decomposição do resíduo da pastagem foi mais lenta neste sistema, com diferença de aproximadamente uma semana, ou seja, enquanto 11% havia sido decomposto no ILPF, no ILP 20% já havia se decomposto, aos 8 dias da semeadura do milho. Isto pode ser explicado devido as diferenças das características dos componentes do resíduo, também na quantidade

de biomassa produzida e no valor nutritivo de plantas que crescem em ambientes sombreados, bem como uma provável redução da temperatura e umidade do local. A temperatura é um fator que acelera a degradação dos resíduos, resultando na liberação dos nutrientes contidos na palhada. De acordo com Campos et al. (2005), o microclima proporcionado pelo componente arbóreo tende a exercer forte influência sobre as taxas de ciclagem de nutrientes, velocidade de decomposição, mineralização e, por conseguinte, sobre a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que o diferencia de culturas não florestais, com microclima diferenciado, como os sistemas de manejo com revolvimento e não revolvimento do solo, o que compreende o SPD, cultivo mínimo, etc.

O N liberado do resíduo da pastagem e disponibilizado para o milho depende da quantidade inicial de N aplicada e da quantidade de resíduo acumulada. Aos 40 dias de exposição à campo, a quantidade de N no sistema foi de aproximadamente 31 kg N ha⁻¹ no ILP N180 (Figura 5), ou seja, 40% do N já havia sido liberado para o sistema. Sabe-se que a recomendação de adubação de cobertura do milho é em torno de 40 dias após a semeadura (COELHO, 2010), portanto, os resultados do presente estudo auxiliam com 24% na necessidade de adubação de N via ciclagem. O milho apresenta dois períodos de máxima absorção de N, durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (OLNESS & BENOIT, 1992).

Em alguns estudos com gramíneas consorciadas, o N foi um dos nutrientes mais extraído pelas forrageiras e, portanto, com maior acúmulo na fitomassa, ou seja, maior teor de N na palhada, necessitando de maior período para que a mesma quantidade extraída fosse liberada e retornasse ao solo (MENDONÇA et al., 2015).

A liberação de P foi mais rápida no ILP N180. Isto mostra que a quantidade de adubação recebida e o sistema influenciam a dinâmica de liberação de nutriente, bem como a quantidade do nutriente acumulado no sistema (Figura 5). De acordo com Dubeux et al. (2007), essa disponibilidade e liberação, juntamente com a boa distribuição pela pastagem, torna o resíduo fonte gradativa de nutrientes ao longo do tempo. A literatura mostra que o P tem função energética e atua rapidamente no momento da germinação da planta (PRADO et al., 2008), porém, a fase de maior absorção de P pela planta de milho ocorre aproximadamente 77 dias após o plantio (VASCONCELLOS et al., 2000). No presente trabalho, a ciclagem forneceu uma quantidade de 2,78 kg P ha⁻¹ neste período. A extração de P pelo milho é em torno de 33 kg P ha⁻¹, o que já asseguraria uma produção de aproximadamente 8.000 kg ha⁻¹ de

grãos (COELHO, 2013). Portanto, a ciclagem de P contribui em 76% a necessidade pela cultura de milho.

Para S e K, diferenças foram observadas em relação as quantidades liberadas, sendo maior no ILP N180. A liberação de S estabilizou-se aos 60 dias após a semeadura do milho, totalizando uma quantia de $2,37 \text{ kg S ha}^{-1}$, ou seja, 42,3% de S já havia sido liberado (Figura 5). A literatura mostra que a extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 a 30 kg S ha^{-1} , para produções de grãos em torno de 5.000 a 7.000 kg ha^{-1} (PRADO 2008).

O K, mesmo sem apresentar resultados significativos na dinâmica de liberação, demonstrou uma maior quantidade de K liberado no ILP N180 (Figura 5). Aos 60 dias, aproximadamente 90% do K foi liberado (Figura 5), uma quantia de aproximadamente 60 kg K ha^{-1} . Estes resultados corroboram com os de Assmann et al. (2014)), que avaliaram a decomposição e a liberação de nutrientes no subtropical brasileiro, em trigo de duplo propósito (91%). A liberação de K do resíduo vegetal é rápida, se comparado aos demais nutrientes. O K, portanto, não constitui esqueleto carbônico nos vegetais. A extração de K pela cultura do milho é em torno de 20 kg K ha^{-1} (PHILIPS et al., 1980), portanto, a quantia de K fornecida apenas pela ciclagem do resíduo, supriria a necessidade da cultura de milho.

2.5. CONCLUSÕES

Confirmando a hipótese inicial, a associação com árvores reduziu a massa de resíduo da pastagem. No entanto, pequenas alterações ocorreram quanto a qualidade do resíduo proveniente da pastagem. Pequenas diferenças também foram observadas entre as posições entre os renques arbóreos, pois apenas mudanças na concentração de N foram observadas. Portanto, 9% de variação no nível de restrição de luz não foi suficiente para provocar grandes mudanças quanto a qualidade do resíduo.

Ao contrário da hipótese inicial, a dinâmica de liberação de nutrientes (constante de decomposição) foi pouco alterada em função dos fatores estudados (arborização do sistema, doses N e posições entre renques arbóreos). No entanto, a ciclagem de nutrientes foi significativamente otimizada no sistema ILP com 180 kg de N ha⁻¹, principalmente em função da maior quantidade de resíduo observada neste tratamento. A drástica redução na quantidade de resíduo no tratamento arborizado foi em função do alto nível de restrição de luz observado (49,3%).

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUINAGA, A. A. Q. et al. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 9, p. 1523-1530, 2008
- ALCÂNTARA FA. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35 p.277-288, 2000.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M. & OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:857-865, 2000.
- ASSMANN, T. S. et al. 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 JUNIOR. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, p.1925-1933, 2009.
- BELESKY DP, BURNER DM, RUCKLE JM. 2011 Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass and Forage Science** v.66, p. 370–380, 2011.
- CAMARGO, R.; PIZA, R. J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto no município de passos, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 76-80, 2007.
- CAMPOS et al. Ciclagem de nutrientes em floretas e pastagens. **Boletim Agropecuário Universidade Federal de Lavras**. n.65 - p. 1-61 Lavras/MG, 2005.
- CANHAM, C. D.; DENSLOW, J. S.; PLATT, W. J. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, Canadian, 20: 620-631.
- CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. **Nutrient Cycling Agroecosystem**, 88: 259-273, 2010.
- CASTRO, C.R.T., GARCIA, R., CARVALHO, M.M. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**., 28: 919-927.
- COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.29, n.4, p.563-570, 2005.

COELHO, A.M; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho. Arquivo do Agrônomo nº 2. POTAFOS. Disponível em: [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/81A0BBD6E936445D83257AA0003A892E/\\$FILE/Milho.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/81A0BBD6E936445D83257AA0003A892E/$FILE/Milho.pdf). 1995. Acesso em 05/03/2018

COUTINHO, E.L.M.; RODRIGUES, L.R.A.; CONSOLINI, F. et al. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produção de matéria seca e na composição mineral do capim Coastcross irrigado. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 38. **Anais**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001.

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.

FLOSS, E. L. Aveia, um sustentáculo do sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passos Fundo, v. 72, n. 69, p. 14-18, 2002.

KUNRATH, T. R et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 645-653, 2015.

LAMBERS, H; CHAPIM, F.S; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York, Springer, 540 p. 1998.

LARCHER, W. Physiological plant ecology. Berlim: **Spring- Verlag**. 252p. 1975.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, 2008.

MCADAM, J.; MOSQUERA-LOSADA, M. R.; PAPANASTASIS, V. Silvopastoral systems: analysis of an alternative to open swards. In: XX INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 20, Dublin. Proceedings... Dublin: IGC, 2005. p.758. 2005.

MORAES, A. **Produtividade animal e dinâmica de uma pastagem de pangola (*Digitaria decumbens* Stent.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e trevo branco (*Trifolium repens* L.), submetida a diferentes pressões de pastejo**. 1991. 200p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: International Grassland Congress, 6., 1952, State College. Proceedings... State College: Pennsylvania State College Press, p. 1380-1385, 1952.

NUNES, U. R. et al. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948, 2006.

OLIVEIRA TK, CARVALHO GJ, MORAES RNS. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2002;37:1079-87

OLSON, R.A. & KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, **Soil Science of American**, p.567-604, 1982.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE. Crescimento do pasto de capim-braquiária influenciado pelo nível de sombreamento e pela a estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.317-323, 2008.

PARIZ CM et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**. c;41:875-82, 2011.

PONTES, L. D. S. et al. 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. **Produtividade em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Subtropical Brasileiro**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PORFÍRIO-DA-SILVA. et al. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 67-76, abr./jun. 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.

PRIMAVESI et al. Adubação Nitrogenada em Capim-Coastcross: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.68-78, 2004.

ROSOLEM CA, CALONEGO JC, FOLONI JSS. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2003;27:355-62.

SANTI et al. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214033012>

SANTI, A. **Adubação nitrogenada na aveia preta (Avena strigosa, Schieb): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 78p. (Tese de Mestrado), 2001.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 2009. 627p.

VALLADARES, F. Light heterogeneity and plants: from ecophysiology to species coexistence and biodiversity. **Progress in Botany**. Volume 64, 2003, pp 439-471.

YANAI, J. et al. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. **Plant and Soil**, v. 180, n. 1, p. 1-9, 1996.

CAPÍTULO 3 – CICLAGEM DE NUTRIENTES DA CULTURA DE MILHO PARA A FASE PASTAGEM EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil caracteriza-se por ser um dos países com maior território agrícola do mundo, sendo também o maior produtor agropecuário e, especialmente nas últimas duas décadas, este processo vem se intensificando, com um avanço significativo deste setor na economia. Dentro deste contexto, o milho se destaca como o maior cereal produzido no país, sendo a região sul a detentora da maior produção. De acordo com dados da Conab (2018), a região Sul é a maior produtora de milho da primeira safra do país, devido suas condições climáticas favoráveis. O clima ameno durante o verão, com noites mais frias, é um dos principais motivos para o bom desempenho da cultura, que apresenta rendimento médio de 8.748 kg ha⁻¹.

O subtrópico brasileiro é caracterizado pela utilização de sistemas de produção em plantio direto, que tem como um dos pilares de sustentação a rotação de culturas. E inserido a nesse contexto, têm-se os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), os quais englobam em um mesmo ambiente componentes sinérgicos (i.e., árvores, pastagem, animais). O milho pode ser uma alternativa de cultura de verão neste modelo sustentável (BRUM et al., 2005; BALBINOT JR., 2007). Dentro desta integração, buscam-se alternativas que propiciem o aproveitamento dos nutrientes da palhada oriundo da cultura anterior na cultura sucessora através do entendimento da dinâmica de nutrientes.

No entanto, o milho sendo uma gramínea, possui relação C/N superior às leguminosas. Dessa forma, sua palhada possui uma velocidade de decomposição mais lenta, permanecendo sobre a superfície do solo por um período mais longo, protegendo este das condições ambientais adversas que podem levar a erosão hídrica, que ocasionaria redução da sua capacidade produtiva. De acordo com Silva et al. (2007), para assegurar a sustentabilidade, é de fundamental importância a associação de um sistema de rotação de culturas diversificado que produza adequada quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, pois segundo Spera et al. (2009), o uso intensivo do solo promove elevada retirada de nutrientes e decomposição da palhada.

A inclusão do componente arbóreo aos componentes lavoura e pastagem representa avanço inovador dentro dos SIPA, a qual pode ser uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo

consorciado, em sucessão ou rotação. Quando bem manejado, pode apresentar efeitos sinérgicos entre os componentes que incluem a adequação ambiental e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (BALBINO et al., 2011).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a quantidade e a qualidade da palhada do milho, bem como a decomposição desta palhada e dinâmica de liberação de macronutrientes do resíduo do milho para a pastagem em distintos SIPA, isto é, com ou sem árvores, e com diferentes doses de N na fase pastagem.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Fazenda Modelo do Instituto Agrônomo do Paraná (EEFM/IAPAR), localizada na cidade de Ponta Grossa, Paraná (25°07' 22" S; 50°03' 01" W). Segundo 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. A precipitação média é de 1400 a 1600 mm anuais. O solo é classificado do tipo Cambissolo Haplico Tb Distrófico típico e Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado, textura média, fase relevo plano a suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

O experimento teve início no ano de 2006, com o plantio das árvores de eucalipto (*Eucaliptus dunnii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevêlea (*Grevillea robusta*), as quais foram implantadas em linhas simples e distanciadas 3 m entre si, totalizando um arranjo de 238 árvores $^{-1}$. Devido a declividade do terreno, as árvores foram implantadas transversalmente tendo um espaçamento de 14m e 3m entre linha de árvores, ou seja, num arranjo de 14 x 3 m. Tal sistema foi concebido tendo como principal objetivo a conservação do solo. Foi realizado um desbaste nas árvores de aroeira no ano de 2013 de forma a reduzir o stand inicial (238 árvores ha^{-1}) em 1/3 (158 árvores ha^{-1}). A retirada das árvores de aroeira teve como principal motivo o dano causado pelos animais, impossibilitando a manutenção das mesmas (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2012). Tal desbaste contribuiu para diminuição do sombreamento nas culturas associadas.

3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental compreende 13,7 ha, sendo 6,98 ha arborizados e o restante, 6,09 ha, sem árvores. Tal área foi dividida em 12 unidades experimentais, sendo o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro tratamentos, resultantes do cruzamento de dois

fatores: sistema com ausência do componente arbóreo e sistema com presença do componente arbóreo, combinado com duas doses de Nitrogênio (90 e 180 kg de N ha⁻¹ ano) com três repetições (Figura 1).

Cada unidade experimental no sistema arborizado foi dividida em três distâncias entre os renques arbóreos, (P1, adjacente aos renques; P2, posição intermediária e P3, 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, em posição intermediária, como na posição central entre renques de árvores (Figura 2).

3.2.2 Condução do experimento

Desde 2010, a área vem sendo utilizada com rotação de culturas. No verão são utilizados soja (*Glycine max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.), intercalados. Durante o inverno, utiliza-se pastagem anual de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) consorciado com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), para cobertura do solo e pastejo dos animais. O presente trabalho compreendeu a safra de milho de 2013-2014 e a fase pastagem no inverno de 2014.

A pastagem foi estabelecida no período de 22 de abril de 2013, através do método de plantio direto, utilizando-se 45 kg ha⁻¹ de aveia preta e 15 kg ha⁻¹ de azevém anual. Foram utilizados 420 kg ha⁻¹ do formulado 4-30-10 (NPK) na adubação de base e 90 kg N ha⁻¹ ou 180 kg N ha⁻¹ na forma de ureia, em cobertura para as duas doses de adubação nitrogenada avaliadas, as quais foram aplicados após 39 dias do plantio, na fase de início de perfilhamento da pastagem. Para o cultivo de milho, utilizou-se a variedade IPR 164, semeado em 11 de setembro de 2013, por meio do método de plantio direto na palha, isto é, sob a palhada residual da pastagem de inverno. O espaçamento entre linhas de milho foi de 0,80 metros com 6,0 sementes por metro linear, configurando uma população inicial de 75.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹ de NPK, na formulação 10-30-30, e a adubação em cobertura foi realizada aos 41 dias após o plantio, com 270 kg ha⁻¹ de ureia, em dose única, em ambas as áreas.

3.2.3 Avaliações

Para a determinação da quantidade de biomassa depositada sobre o solo (i.e. palhada), seis amostras de 0,5 x 0,5 m foram coletadas por unidade experimental. Estas amostras foram coletadas entre a dessecação do resíduo da cultura antecessora e a semeadura da cultura sucessora, ou seja, no outono (resíduo da lavoura e implantação da pastagem de inverno).

Sub-amostras foram separadas de acordo com a origem do material (pastagem, lavoura e componentes oriundos das árvores) para a determinação da porcentagem de cada componente. Após todas as amostras foram secas em estufa a 55° C, até massa constante, e pesadas. Parte destas amostras foram analisadas quimicamente para a determinação da concentração inicial de nutrientes contida na palhada. Em seguida, 20 g de matéria seca dos resíduos (com todos os componentes) foram adicionados nos *litter bags* (20 x 20 cm e malha de 2 mm), i.e., sacos de decomposição, para posterior determinação da taxa de decomposição da biomassa e liberação de nutrientes. Foram distribuídos 3 *litter bags* por unidade experimental tanto durante o cultivo da pastagem como na fase lavoura. As amostragens do material contido nos *litter bags* foram realizadas aos 8, 15, 30, 60 e 90 dias após a semeadura de cada cultura. Portanto, inicialmente um total de 288 sacos foram depositados na superfície do solo, ou seja, 3 *litter bags* por unidade experimental multiplicado pelo número de datas de avaliação. No sistema sem árvores, os *litter bags* (Figura 3) foram distribuídos de forma aleatória nas unidades experimentais, enquanto que no sistema arborizado considerou-se as 3 distâncias entre renques arbóreos descritos acima.

O material vegetal foi retirado dos sacos de decomposição, retirando-se os resíduos de solo, e secos a 55° C em estufa de ventilação forçada até peso constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado para determinação da quantidade de material remanescente. Em seguida foi moído em moinho do tipo Willey (peneiras de 1mm) para a realização das análises químicas e determinação dos nutrientes remanescentes nos resíduos. Porções de 0,5 g dessas amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica para posterior determinação dos teores de P e S através do método de colorimetria. O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl. O K foi determinado por fotometria de chama de emissão. Todas as análises foram realizadas conforme metodologia proposta por SILVA (2009).

A porcentagem da massa seca remanescente e os respectivos teores de nutrientes foram calculados com base na biomassa total e na concentração total dos nutrientes no início e no final dos períodos de incubação a campo. Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O sombreamento proporcionado pelo arranjo arbóreo foi caracterizado através de avaliações da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível, com ajuda de dois ceptômetros. Um ceptômetro ficou em área à pleno sol para medidas a cada 1 minuto. Com o outro ceptômetro foram feitas medidas em setembro de 2013, setembro de 2014 e outubro de 2014, a cada 15 minutos em três posições entre renques arbóreos, no período de

9:00h da manhã até 14:00h. O resultado desta avaliação foi para a posição 1 (P1) 53,8%, para a posição 2 (P2) 49,2% e posição 3 (P3) foi de 45,1%.

3.2.4 Análises estatísticas

Observou-se os gráficos de interação entre os fatores categóricos tempo, tratamentos e distâncias (i.e., posições entre os renques arbóreos) para as variáveis dependentes de massa de resíduo e nutrientes remanescentes ao longo do tempo de exposição no campo (ver gráficos em anexo), 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 feitos, visando sintetizar as informações em função dos fatores significativos.

Os dados de quantidade de MS e macronutrientes remanescentes foram ajustados a um modelo não-linear exponencial foi:

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

Onde:

Rem se refere à percentagem de massa seca ou nutriente (MS, N, P, K e S) remanescente no tempo *t* (dias);

res é o tamanho da fração resistente;

act é a prontamente decomponível (i.e. fração ativa); e

k é a constante de decomposição da fração disponível.

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 (PAUL & CLARK, 1996):

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

Onde:

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

k é a constante de decomposição descrita anteriormente.

A quantidade liberada de nutrientes (kg ha^{-1}) ao longo do 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 inicial 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 posições como fixos.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Quantidade e qualidade do resíduo de milho no momento da semeadura da pastagem

A quantidade de massa de resíduo foi significativamente maior no ILP, independente da dose de N. (Tabela 5). Em relação a concentração em nutrientes no resíduo, somente para N e P que não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5), com valores médios de $9,9 \pm 0,44$ g/kg e $2,03 \pm 0,109$ g/kg, respectivamente. Os teores de K e S demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos, obtendo, maiores médias de K no ILPF N90 e maiores médias de S no ILP N90 (Tabela 5).

Tabela 5 - Massa de resíduo remanescente (MSR) e concentração de nutrientes no resíduo da cultura de milho (médias $\pm$ desvio padrão), ou seja, no momento da semeadura da pastagem de Aveia preta e Azevém; submetida as doses de N (N90 e N180, respectivamente em kg ha⁻¹). ILP, integração lavoura - pecuária; ILPF, Integração lavoura pecuária e floresta.

	ILP N90	ILP N180	ILPF N90	ILPF N180	F	P
MSR (kg ha ⁻¹)	11502 $\pm$ 1207a	11148 $\pm$ 1207a	8052 $\pm$ 697,3b	8710 $\pm$ 697,3ab	3,13	0,0594
N (g/kg)	10,02 $\pm$ 2,3	9,22 $\pm$ 0,54	9,53 $\pm$ 0,89	10,51 $\pm$ 0,75	0,84	0,4962
P (g/kg)	2,17 $\pm$ 0,40	1,76 $\pm$ 0,12	2,21 $\pm$ 0,22	1,89 $\pm$ 0,12	0,58	0,6382
K (g/kg)	6,47 $\pm$ 1,00b	7,31 $\pm$ 1,00b	11,6 $\pm$ 0,68a	8,85 $\pm$ 0,53b	9,36	0,0012
S(g/kg)	0,91 $\pm$ 0,08a	0,75 $\pm$ 0,11bc	0,68 $\pm$ 0,02c	0,79 $\pm$ 0,04ab	4,81	0,0167

F e P, F-ratio e probabilidade para o efeito de tratamentos.

Foram observadas diferenças significativas para os teores de N e S nas diferentes posições entre os renques arbóreos (Tabela 6). Maiores concentrações em N foram observadas na posição mais próxima das árvores, particularmente no N90. O contrário ocorreu com o S (Tabela 6), isto é, para o S variações ocorreram somente no N180, com maiores valores na posição mais distante das árvores (P3).

Tabela 6 - Efeito das duas doses de adubação nas concentrações de N e S nas diferentes distâncias entre os renques arbóreos. N90, 90 kg N ha⁻¹ e N180, 180 kg N ha⁻¹

	Nitrogênio		Enxofre	
	N90	N180	N90	N180
P1	12,60 $\pm$ 1,20a	11,63 $\pm$ 1,45a	0,68 $\pm$ 0,008a	0,67 $\pm$ 0,03b
P2	7,44 $\pm$ 0,78b	8,77 $\pm$ 0,36a	0,64 $\pm$ 0,02a	0,77 $\pm$ 0,05b
P3	8,54 $\pm$ 0,37b	11,14 $\pm$ 1,50a	0,77 $\pm$ 0,02a	0,93 $\pm$ 0,02a
F	6,07		3,67	
P	0,0048		0,0302	

P1: Distância mais próxima das árvores; P2: posição a 3,5m das árvores e P3: Posição central entre renques de árvores, i.e. 7m. F e P, F-ratio e probabilidade para o efeito de posições entre renques arbóreos.

3.3.2. Decomposição da matéria seca e liberação de macronutrientes do resíduo proveniente da lavoura de milho durante a fase pastagem

Não foram encontradas diferenças significativas para a dinâmica de decomposição da MS e liberação dos macronutrientes entre os tratamentos (ver anexos). Portanto, uma única equação foi gerada para cada nutriente (Tabela 7). Além disso, como não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a constante de decomposição, um único valor de meia-vida foi gerado para cada nutriente. Por exemplo, enquanto 5 dias foram necessários para que 50% do N fosse liberado, 24 dias foram necessários para a liberação de 50% do P. Aos 90 dias de exposição à campo, 30% do resíduo já havia sido decomposto (Figura 6), independente do tratamento.

Tabela 7 - Parâmetros do modelo exponencial simples para massa seca remanescente (MSR) e nutrientes do resíduo proveniente da lavoura de milho durante a fase pastagem.

	Equação	$T^{1/2(1)}$	r^2
MSR	$MSRem = 48,88 + 51,11 \times e^{-0,010t}$	69,2	0,36
N	$NRem = 58,47 + 41,52 \times e^{-0,14t}$	5,09	0,37
P	$PRem = 51,89 + 48,10 \times e^{-0,029t}$	23,70	0,35
K	$KRem = 8,55 + 91,44 \times e^{-0,037t}$	18,42	0,62
S	$SRem = 51,8 + 48,10 \times e^{-0,037t}$	18,38	0,60

(1) Tempo (dias) necessário para decomposição e/ou liberação de 50% da matéria seca e/ou nutrientes

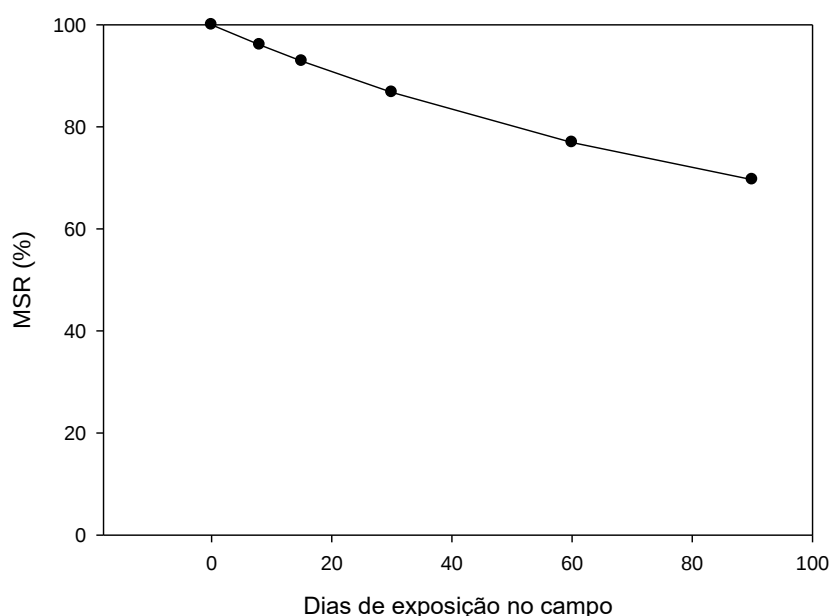


Figura 6 - Porcentagem de matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo do milho ao longo do período experimental.

Contudo, diferenças entre tratamentos ocorreram em relação ao total de nutrientes liberados devido as variações na quantidade e na qualidade do resíduo inicial. Observou-se

que para N, P e S, a maior liberação de tais nutrientes foi no ILP N90, enquanto que a liberação de K foi maior no ILPF N90 (Figura 7).

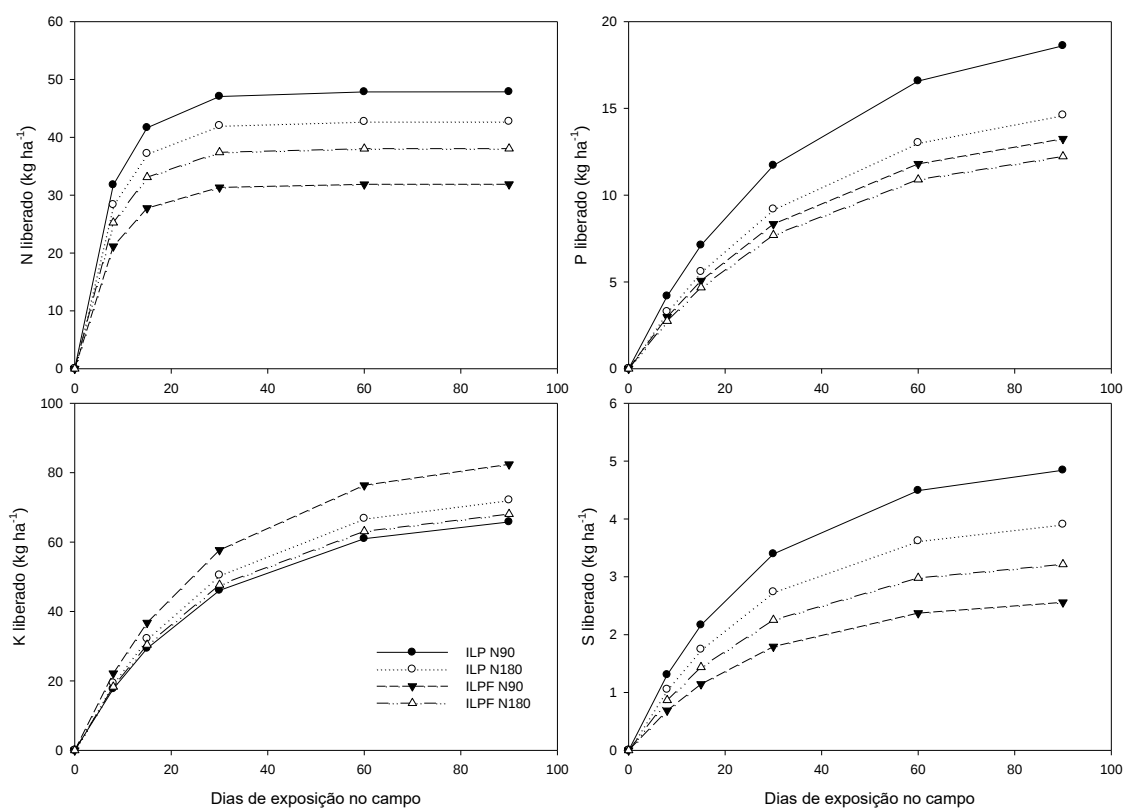


Figura 7 - Liberação de macronutrientes (N, P, K, S) no resíduo de milho contido nos *litter bags* durante exposição à campo ao longo do período experimental; ILP, integração Lavoura Pecuária; ILPF, Integração lavoura pecuária e floresta. N90 e N180 – (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹).

Diferenças significativas entre as 3 posições avaliadas entre os renques arbóreos influenciaram a liberação de N e S. Para N (Figura 8), a liberação foi maior na posição mais próxima das árvores (P1) e na mais central ao renque (P3), ambas recebendo a dose de 180 kg N ha⁻¹. Ao final dos 90 dias de exposição à campo, 42% do N foi liberado na P1. A liberação de S foi maior na posição à 3,5m da árvore (P2) e na posição mais central ao renque (P3), ambas recebendo a dose de 180 kg N ha⁻¹ (Figura 8). Ao final dos 90 dias de exposição à campo, a liberação de S na P1 e P2 foi de 46%.

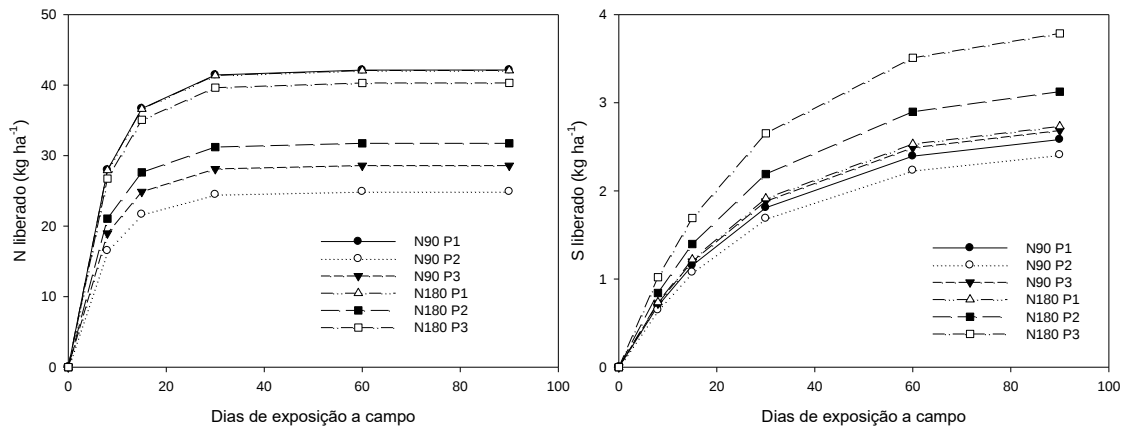


Figura 8 – Liberação de macronutrientes no resíduo de milho ao longo do período experimental nas diferentes posições entre os renques arbóreos; ILP, integração lavoura - pecuária; ILPF, integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹). P1: posição mais próxima das árvores; P2: posição a 3,5m das árvores e P3: Posição central do corredor das árvores, i.e., 7m.

3.4. DISCUSSÃO

Assim como o resíduo da fase pastagem, o resíduo do milho demonstrou maiores médias no ILP, independente da dose de N aplicada, variando de 8 toneladas para 11 toneladas (ILPF e ILP, respectivamente). Como comentado anteriormente, a quantidade e a qualidade do resíduo foram influenciadas pelo sombreamento proporcionado pelas árvores. O milho é uma planta de metabolismo C₄ e que apresenta alta eficiência na utilização de luz. Contudo, os principais fatores relacionados à baixa produtividade são a deficiência de luz nos períodos críticos de desenvolvimento como, por exemplo, no enchimento de grãos (i.e., final de ciclo, MAGALHÃES et al., 2002) e a eficiência de interceptação da radiação (SANGOI et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2006). Portanto, para melhorar a produtividade da cultura, é necessária a realização de um desbaste nas árvores para maior incidência solar no local (TULIO, 2015).

O teor de S e K demonstraram diferenças significativas, sendo que para K, o maior teor encontrado foi no ILPF N90. É possível que o sombreamento não tenha reduzido absorção do nutriente pela planta. Segundo Carvalho et al. (1995), os mais elevados teores de potássio nas folhas de gramíneas tropicais, cultivadas à sombra, provavelmente se devem ao menor rendimento de matéria seca obtido nesta condição.

O teor de S foi significativamente maior no ILP N90. É sabido que o enxofre participa de estruturas orgânicas nas plantas e de diversas reações enzimáticas, sua deficiência pode trazer prejuízos também na síntese proteica, promovendo redução do teor de proteína nas plantas e no crescimento vegetal (PRADO et al., 2008). Este fato torna-se mais importante, pois a aplicação do S geralmente não tem sido realizada de forma adequada (uso de fertilizante concentrado à base de fórmula isenta/baixo teor de S), além do uso de cultivares melhoradas, com alto potencial produtivo e, assim, exigência maior; redução da matéria orgânica do solo (reserva de S no solo). Isso somado contribui para que o enxofre seja um nutriente limitante na produção agrícola brasileira (PRADO, 2008).

3.4.1. Decomposição e liberação de macronutrientes no resíduo de milho no momento de pastejo

Observou-se uma decomposição mais lenta da palhada do milho, tanto no sistema com árvores quanto sem componente arbóreo, isso pode ser atribuído à sua alta relação C/N do material devido à sua constituição (i.e., folhas, colmos, cascas de árvores) quando comparado com a aveia preta e azevém. Mesmo sem diferenças significativas na decomposição de

matéria seca e liberação de nutrientes, verificou-se que foram necessários 69 dias para decompor 50% de MS. Nesse caso há uma ciclagem mais lenta devido à maior quantidade de resíduos de alta relação C/N em diferentes estágios de decomposição, permitindo maior tempo de residência do nutriente na superfície e em camadas superficiais do solo.

Em relação à liberação de nutrientes, observou-se maior liberação de N, P e S no ILP, independente da dose de N, do que no ILPF. Alguns autores defendem a ideia de que o N é o segundo nutriente mais extraído pelas forrageiras e possui maior acúmulo na fitomassa, ou seja, maior teor de N na palhada, necessitando de maior período para que a mesma quantidade extraída seja liberada e retornada ao solo. A literatura mostra que, uma vez fixado em compostos orgânicos, o N fica à disposição da ciclagem no complexo planta-palha-solo, formado pelos sistemas (CRUSCIOL et al., 2005). De acordo com a recomendação da SBSCS/NEPAR (2017), a aveia preta necessita de 30,3 kg N ha⁻¹ na fase de emborrachamento, e a quantidade máxima oriunda da ciclagem de nutrientes do resíduo de milho foi de 47,8 kg N ha⁻¹ aos 90 dias.

O tempo de meia-vida para a liberação do N, a partir do resíduo da lavoura de milho, ficou bem abaixo do esperado, ou seja, 5 dias é considerado muito pouco tempo para que 50% do N seja liberado. Alguns trabalhos avaliando a decomposição da palhada do milho, mostram valores acima de 90 dias para que 50% do nutriente seja liberado (TORRES et al., 2014).

Assim como o N, o P também obteve maior quantidade liberada no ILP N90. Sendo que aos 90 dias de exposição à campo, 74% deste nutriente já havia sido liberado. A quantidade potencial de P a ser liberada dos tecidos orgânicos, normalmente ligados estruturalmente a moléculas proteicas e em compostos ligados ao transporte de energia, pode tornar-se disponível tanto para absorção do sistema radicular da cultura em sucessão quanto para imobilização em compostos minerais de difícil solubilidade (MENDONÇA et al., 2015). É sabido que aproximadamente 77% do P das folhas e 79% do P das raízes mortas ficam disponíveis durante o crescimento da cultura subsequente, reciclados e novamente absorvidos pelas plantas no cultivo seguinte (SPAIN e SALINAS, 1985). Portanto, a quantidade do nutriente liberada neste experimento contribuirá positivamente para a cultura subsequente, pois a aveia e o azevém necessitam de 2,6 kg P ha⁻¹ e 3,4 kg P ha⁻¹, respectivamente na fase de emborrachamento (SBSCS/NEPAR, 2017).

Apesar da pequena quantia de S liberada, as maiores liberações, em termos de kg ha⁻¹, ocorreram no ILP, ao final dos 90 dias de exposição à campo, 46% de S já havia sido liberado. Tendo uma quantidade de 4,84 kg S ha⁻¹, o que supriria a necessidade da pastagem pela de ciclagem de nutrientes, pois a aveia necessita de 2 kg S ha⁻¹ e o azevém de 2,2 kg S

ha⁻¹, (SBCS/NEPAR, 2017). O S faz parte da composição das proteínas, influenciando a qualidade nutritiva (PRADO, 2008).

Assim como no resíduo da pastagem, no resíduo do milho, o K apresentou maiores médias de liberação no ambiente sombreado, ou seja, no ILPF N90. Ao final dos 90 dias de exposição à campo, 88% do nutriente havia sido liberado, totalizando 82,4 kg K ha⁻¹. A crescente concentração de potássio em ambas frações das gramíneas tropicais, por exemplo, está de acordo com a maioria dos resultados contidos na literatura referentes aos níveis desse elemento na massa forrageira de diferentes espécies cultivadas sob luminosidade reduzida (MAYLAND e GRUNES, 1974; ERIKSEN e WHITNEY, 1981; e SAMARAKOON et al., 1990). A literatura mostra que mais de 60 enzimas, como as sintetases e as quinases, dependem do K para a sua atividade normal (PRADO, 2008). O K está relacionado às mudanças na conformação das moléculas, o qual aumenta a exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato (EVANS & WILDES, 1971). A fase mais exigente em K encontra-se na fase de perfilhamento, aproximadamente 20 a 25 dias após a semeadura (PRIMAVESI et al., 2000), portanto, a quantia fornecida pela ciclagem de nutrientes do resíduo supriria a necessidade de K nesta fase (aproximadamente 40 kg K ha⁻¹).

A palha na superfície do solo constitui reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo da interação entre a espécie utilizada, manejo da fitomassa (época de semeadura e de corte), umidade (regime de chuvas), aeração, temperatura, atividade macro e microbiológica do solo, composição química da palha e tempo de permanência dos resíduos sobre o solo (OLIVEIRA et al., 1999; ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; PRIMAVESI et al., 2002).

Cabe ressaltar que no presente trabalho foram avaliados apenas 90 dias de exposição dos *litter bags* a campo. Parte dos nutrientes ainda seriam liberados na fase pastagem, pois em geral temos em torno de 100 a 110 dias de pastejo em SIPA. No entanto, parte desses nutrientes provenientes da palhada do milho serão provavelmente liberados na próxima fase do sistema, já que apenas 30% foi decomposto em 90 dias.

3.5.CONCLUSÃO

De acordo com a hipótese inicial, a associação com árvores reduziu a massa de resíduo da lavoura de milho, provavelmente em função da alta restrição de luz, sete anos após o plantio das árvores. Foram observadas pequenas alterações na qualidade do resíduo, pois somente as concentrações em K e S foram alteradas com os fatores estudados. Enquanto a concentração em N do resíduo foi reduzida com o aumento da distância das árvores, na menor dose de N, o contrário ocorreu com o S, na maior dose de N.

A dinâmica de liberação de nutrientes a partir do resíduo da lavoura de milho não foi afetada pelos tratamentos. No entanto, as quantidades liberadas foram afetadas, via diferenças, principalmente, na quantidade de resíduo. Observou-se que para N, P e S, houve maior liberação no ILP N90 diferenciando-se apenas de K, o qual obteve maior liberação no ILPF N90. Portanto, o aumento da dose de 90 para 180 kg N ha⁻¹ não refletiu em um aumento na quantidade de nutrientes liberados via ciclagem.

A magnitude dos valores observados refletem que a ciclagem de nutrientes, a partir do resíduo da lavoura de milho, contribuiu significativamente para atender as demandas por nutrientes da pastagem.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença de árvores e as doses de N interferiram na qualidade do resíduo e, principalmente, na quantidade deste. Maiores quantidades de biomassa foram observadas a pleno sol, em função do elevado nível de restrição de luz observado (i.e. 49,3%) no sistema arborizado. No entanto, enquanto a quantidade de resíduo da pastagem foi maior no tratamento N180, o contrário foi observado no resíduo proveniente do milho, com maiores valores no tratamento N90. Diferenças entre tratamentos na qualidade inicial do resíduo foram observadas apenas para N do resíduo da pastagem e K e S do resíduo do milho. As posições entre os renques arbóreos afetaram apenas a qualidade inicial do resíduo. Portanto, a variação de 9% de redução do nível de luz entre as posições entre renques de árvores não afetou a quantidade de resíduo.

A presença de árvores e o aumento da dose de N pouco afetaram a dinâmica de decomposição da MS e de liberação de nutrientes, tanto do resíduo da pastagem como do milho. No entanto, importantes diferenças foram observadas na quantidade de nutrientes liberadas ao longo do tempo entre os tratamentos. Portanto, tais diferenças ocorreram principalmente em função da quantidade do resíduo inicial.

As maiores quantidades de nutrientes liberadas do resíduo da pastagem para o milho ocorreram no tratamento ILP N180, em função da maior quantidade de resíduo neste tratamento. Consequentemente, desbastes precisam ser intensificados e antecipados para reduzir os efeitos negativos das árvores na quantidade de resíduo e, portanto, na ciclagem de nutrientes. Já na segunda fase, apesar da maior quantidade de resíduo ter sido observada no tratamento ILP N90, a maior quantidade de K liberada ocorreu no tratamento ILPF N90. Neste caso, o determinante foi um maior teor em K em tal tratamento. Para N, P e S, as maiores liberações nesta fase ocorreram no tratamento ILP N90.

Apesar de uma decomposição e liberação (exceto para N) de nutrientes, em geral, mais lenta a partir do resíduo da cultura do milho para a pastagem, maiores liberações de macronutrientes ocorreram nesta fase, do que o contrário, independente do tratamento. Foram observadas liberações de até 48, 17, 82 e 4,8 kg ha⁻¹ N, P, K e S, respectivamente. Tais quantidades cicladas devem ser consideradas no manejo da fertilização em SIPA, sendo a base para o planejamento de uma adubação sistêmica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.99, p.15-27, 2003.
- BALBINOT JR., A.A. **Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho**. 150f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná. 2007.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: 130p. Embrapa, 2011.
- BRUM, A.L. et al. A competitividade do trigo brasileiro diante da concorrência argentina. O comércio internacional e a competitividade pelo custo de produção. *Revista Galega de Economía*, Santiago de Compostela, v.14, n.1-2, p.1-15, 2005.
- CARVALHO, M.M., FREITAS, V.P., ANDRADE, A. C. 1995. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicais*, 17(1):24-30.
- CALONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, Sept./Oct. 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 05/05/2018.
- CRUSCIOL CAC. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2005; 40:161-8. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832009000100014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 306 p. 2006.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I: Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, n.3, p.427-433, 1981.
- FORSTHOFER, E.L. et al. Desempenho agrônomo e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, p.399-407, 2006.
- HOU, Q. et al. Ch. Alteration of soil water content consequent to root-pruning at a windbreak/crop interface in Nebraska, USA. *Agroforest System* 57(2):137–147. 2003.
- LOTT, J. E.; KHAN, A. A. H.; BLACK, C. R.; ONG, C. K. Water use in a *Grevillea robusta*–maize overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management*, v.180, p.45-59, 2003.

MAGALHÃES, R.T.; OLIVEIRA, I.P.; KLIEMANN, H.J. Relações da produção de massa seca e as quantidades de nutrientes exportados por *Brachiaria brizantha* em solos sob o manejo pelo sistema “barreirão”. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, n.1,p.13-20, 2002.

MAYLAND, H.F., GRUNES, D.L. 1974. Shade-induced grass tetany prone chemical changes in *Agropyron desertorum* and *Elymus cinereus*. *J. Range Manag.* 27(3):189-201.

MENDONÇA et al. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:183-193, 2015

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **International grassland congresses**, 6., 1952, State College. Proceedings... State College: Pennsylvania State College Press, p. 1380-1385, 1952

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

PAULETTI, V. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: **Curso Sobre Aspectos Básicos De Fertilidade E Microbiologia Do Solo Em Plantio Direto**, 3. 1999, Cruz Alta. Palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 56-66.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Produtividade em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Subtropical Brasileiro**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 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.

PRIMAVESI, A.C. et al. Adubação de aveia em dois sistemas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p.1773-1778,2002.

ROSOLEM CA, CALONEGO JC, FOLONI JSS. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2003;27:355-62.

SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. Growth, morphology and nutritive value of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agricultural Science**, v. 114, p.161-169, 1990.

SBCS/NEPAR – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Vários autores, Curitiba, 482 p., 2017.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2009. 627p.

SPAIN JM, SALINAS JG. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: Anais da 16ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo; jul 1984; Ilhéus. Ilhéus: **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira**; 1985. p.259-99.

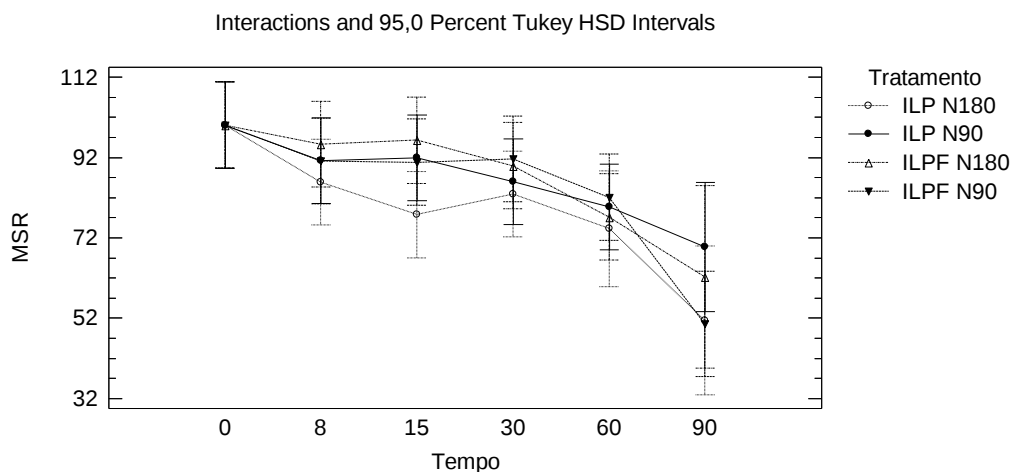
SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p.129-136, 2009.

TULIO, G.F. **Produtividade e Desempenho Animal em Sistemas de Integração Agropecuária no Subtropical Brasileiro**. Dissertação (mestrado), Londrina – PR: Instituto Agrônomo do Paraná, programa de Pós-Graduação, 2015.

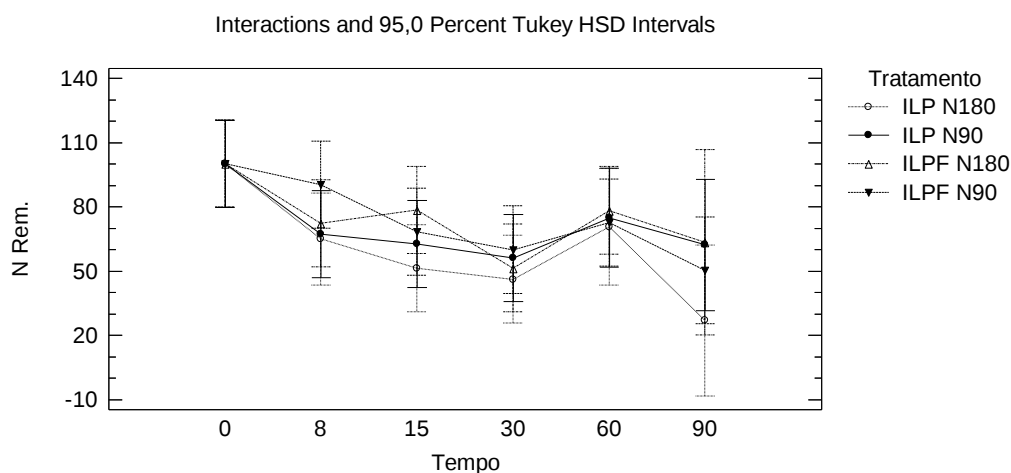
WANG, Y.; ZHANG, B.; LIN, L.; ZEPP, H. Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.140, p.441-453, 2011.

6. ANEXOS:

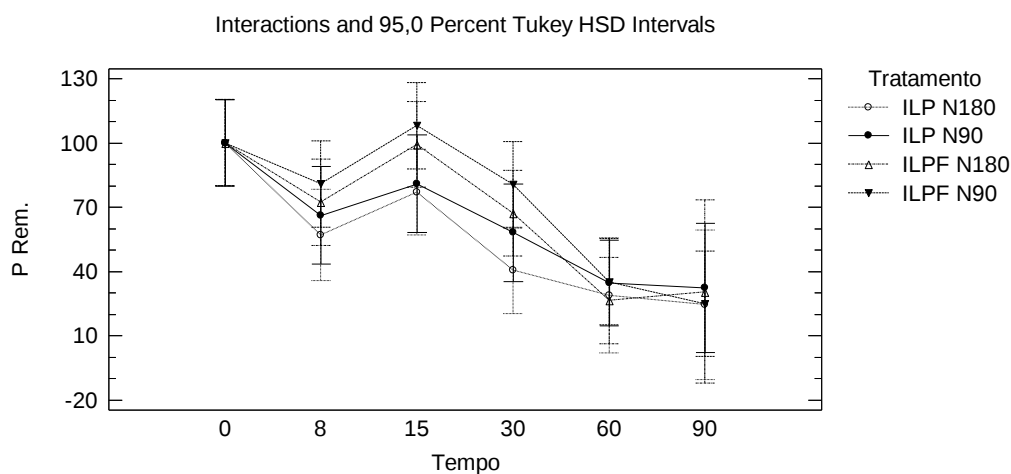
Efeito dos tratamentos:



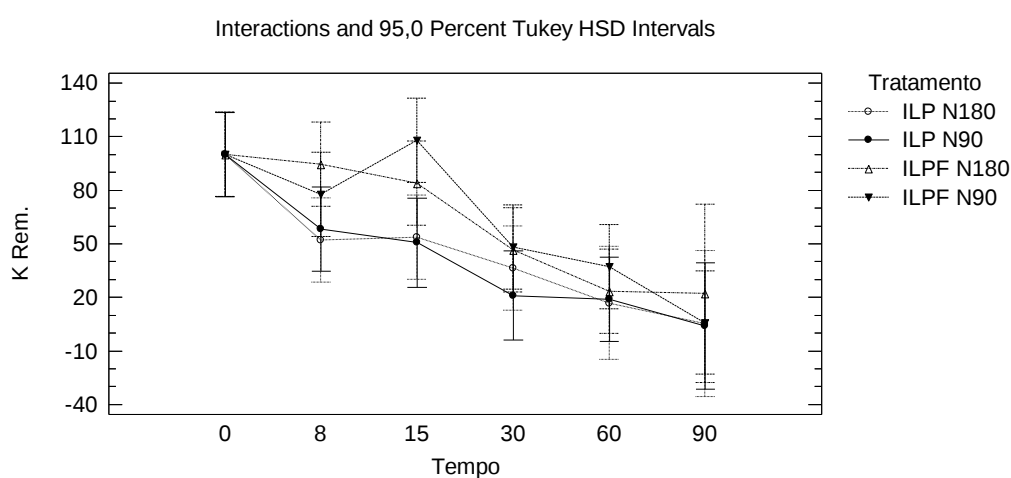
Anexo 1 - Porcentagem de matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo de milho durante o ciclo da pastagem ao longo do tempo em função dos tratamentos. Tukey HSD intervalos de confiança (95%) foram adicionados. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹ respectivamente).



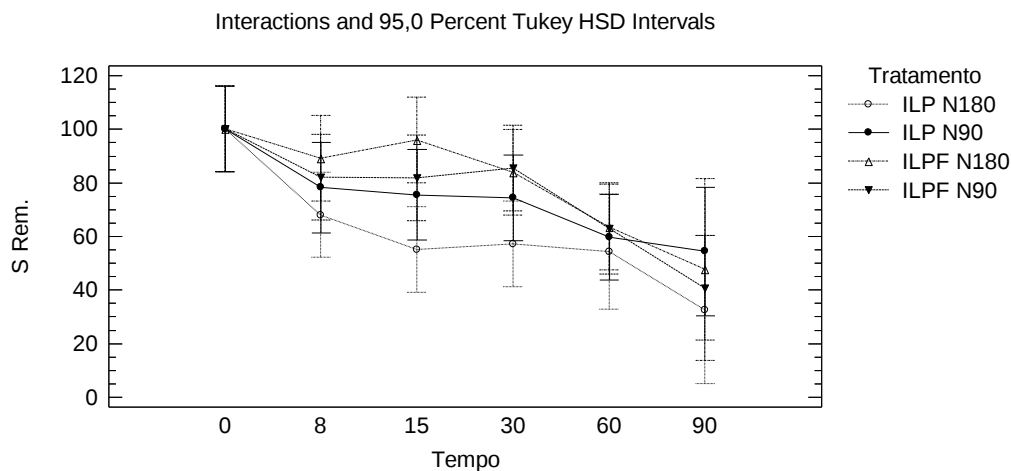
Anexo 2 - Porcentagem de Nitrogênio remanescente (N Rem.) proveniente do resíduo de milho durante o ciclo da pastagem ao longo do tempo em função dos tratamentos. Tukey HSD intervalos de confiança (95%) foram adicionados. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹ respectivamente).



Anexo 3 - Porcentagem de Fósforo remanescente (P Rem.) proveniente do resíduo de milho durante o ciclo da pastagem ao longo do tempo em função dos tratamentos. Tukey HSD intervalos de confiança (95%) foram adicionados. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹ respectivamente).

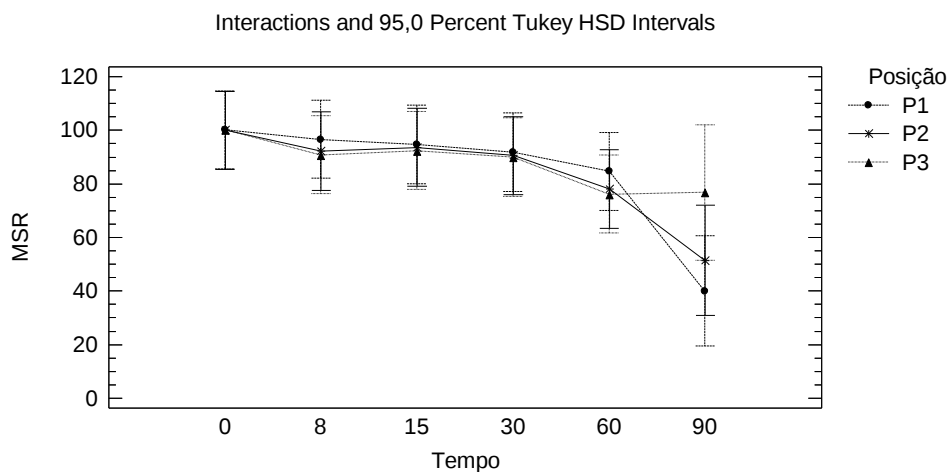


Anexo 4 - Porcentagem de Potássio remanescente (K Rem.) proveniente do resíduo de milho durante o ciclo da pastagem ao longo do tempo em função dos tratamentos. Tukey HSD intervalos de confiança (95%) foram adicionados. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹ respectivamente).

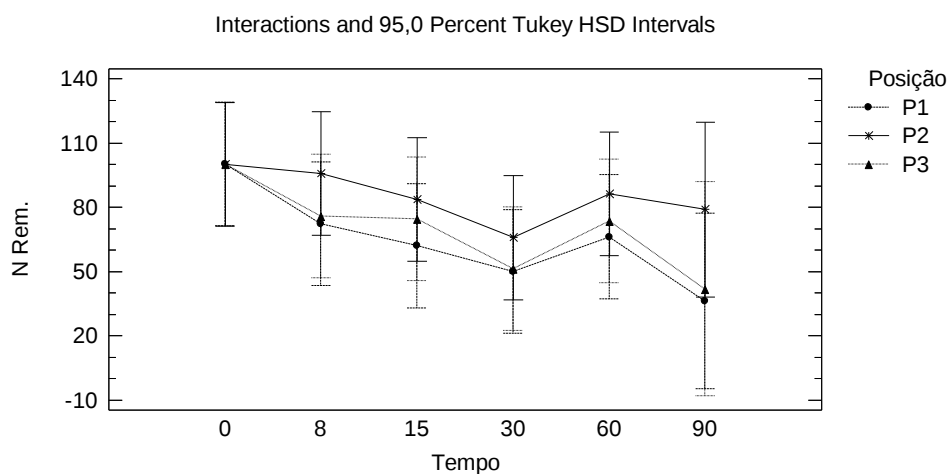


Anexo 5 - Porcentagem de Enxofre remanescente (S Rem.) proveniente do resíduo de milho durante o ciclo da pastagem ao longo do tempo em função dos tratamentos. Tukey HSD intervalos de confiança (95%) foram adicionados. ILP, integração lavoura-pecuária; ILPF integração lavoura-pecuária-floresta. N90 e N180 (90 kg N ha⁻¹ e 180 kg N ha⁻¹ respectivamente).

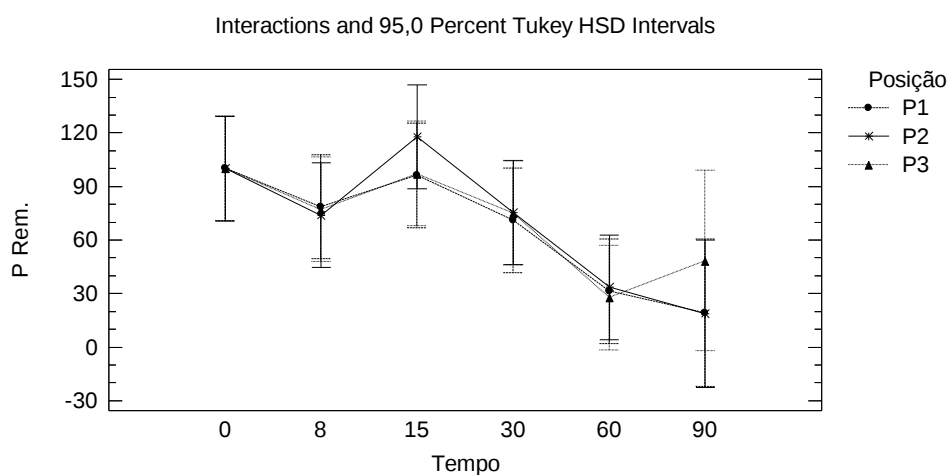
Efeito das posições:



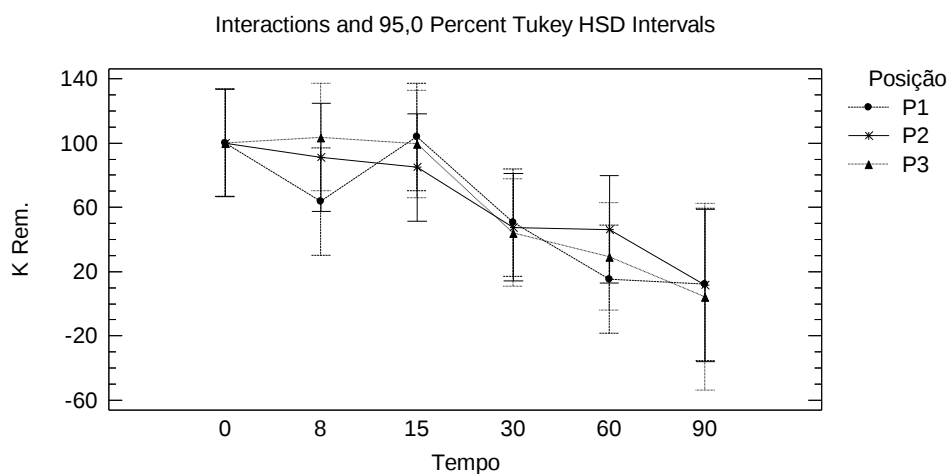
Anexo 6 - Porcentagem de matéria seca remanescente (MSR) proveniente do resíduo do milho durante o ciclo de pastagem ao longo do tempo em função das posições entre os renques arbóreos no ILPF. Tukey HSD, com intervalo de confiança (95%). P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores.



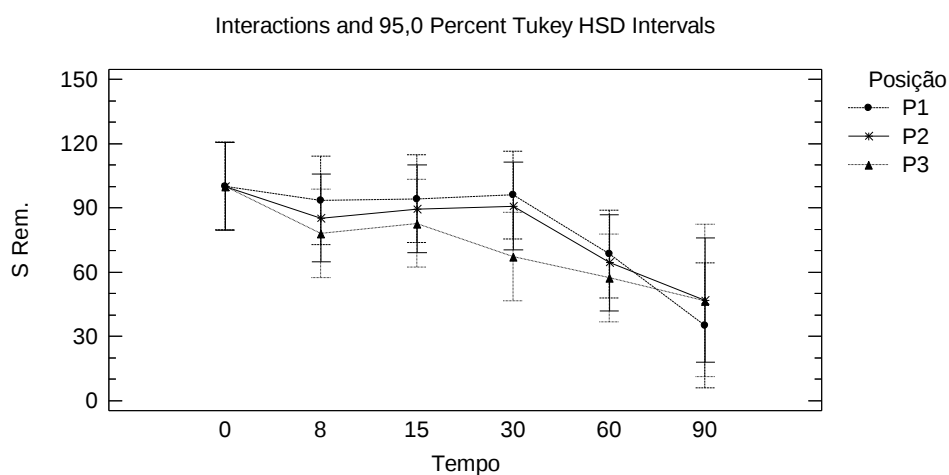
Anexo 7 - Porcentagem de Nitrogênio remanescente (N Rem.) proveniente do resíduo do milho durante o ciclo de pastagem ao longo do tempo em função das posições entre os renques arbóreos no ILPF. Tukey HSD, com intervalo de confiança (95%). P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores.



Anexo 8 - Porcentagem de Fósforo remanescente (P Rem.) proveniente do resíduo do milho durante o ciclo de pastagem ao longo do tempo em função das posições entre os renques arbóreos no ILPF. Tukey HSD, com intervalo de confiança (95%). P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores.



Anexo 9 - Porcentagem de Potássio remanescente (K Rem.) proveniente do resíduo do milho durante o ciclo de pastagem ao longo do tempo em função das posições entre os renques arbóreos no ILPF. Tukey HSD, com intervalo de confiança (95%). P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores.



Anexo 10 - Porcentagem de Enxofre remanescente (S Rem.) proveniente do resíduo do milho durante o ciclo de pastagem ao longo do tempo em função das posições entre os renques arbóreos no ILPF. Tukey HSD, com intervalo de confiança (95%). P1, P2 e P3, posições de 1, 3.5 e 7 m da linha das árvores.

ANOVA FASE RESÍDUO DE PASTAGEM

Tabela 4 - Valores de Análise de Variância para qualidade, quantidade e componentes do resíduo de pastagem.

Fatores	GL	MS	N	P	K	S	% Árvores	% Folha	% Colmo
Bloco	2	0,52	0,22	0,56	0,74	0,78	0,59	0,36	0,50
Doses	1	0,83	0,01	0,02	0,27	0,01	0,39	0,87	0,31
Sistema	1	0,004	0,28	0,46	0,58	0,43	0,15	0,00	0,00
Distância	2	0,24	0,69	0,88	0,15	0,73	-	-	-

Valores de $P < 0,05$. GL – Grau de liberdade; MS – Matéria Seca; N – Nitrogênio; P- Fósforo; K – Potássio; S- Enxofre

ANOVA FASE LAVOURA DE MILHO

Tabela 2 - Valores da ANOVA para qualidade e quantidade de resíduo de milho

Fatores	GL	MS	N	P	K	S
Bloco	2	0,15	0,22	0,18	0,08	0,29
Doses	1	0,61	0,43	0,17	0,24	0,58
Sistemas	1	0,004	0,61	0,79	0,00	0,15
Distância	2	0,69	0,002	0,27	0,38	0,05

Valores de $P < 0,05$. GL – Grau de liberdade; MS – Matéria Seca; N – Nitrogênio; P- Fósforo; K – Potássio; S- Enxofre