

CCUNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DOIS VIZINHOS
CURSO DE AGRONOMIA

CIDIMAR CASSOL

**TEOR DE N-MINERAL NO SOLO E PRODUTIVIDADE DO MILHO
SOB PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2016

CIDIMAR CASSOL

**TEOR DE N-MINERAL NO SOLO E PRODUTIVIDADE DO
MILHO SOB PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Dois Vizinhos*, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
Co-orientadora: Prof. Dr. Ana Regina Dahlem Ziech

DOIS VIZINHOS
2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Dois Vizinhos
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

TEOR DE N-MINERAL NO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SOB PLANTAS
DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO

por

CIDIMAR CASSOL

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 05 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Orientador: Paulo Cesar Concelção
UTFPR - Dois Vizinhos

Paulo Fernando Adami
UTFPR - Dois Vizinhos

Vitor Cauduro Girardello
UTFPR - Dois Vizinhos

Angélica Signor Mendes
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Lucas da Silva Domingues
Coordenador do Curso
UTFPR - Dois Vizinhos

* A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Idecir e Edir Cassol, pelo apoio e incentivo ao estudo que apesar das dificuldades enfrentadas sempre me ajudaram.

Ao meu irmão Josimar Cassol pelas longas conversas “provocadoras” que muito contribuiu para minha formação pessoal e profissional.

A minha namorada Amanda Chagas pelo companheirismo, amizade, apoio e carinho e ajuda durante este período.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição pela amizade e anos de parceria, que me instigaram para o conhecimento.

A Dr (a) Ana Regina Dahlem Ziech, pela co-orientação, amizade e pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos do grupo de pesquisa em ciência do solo Anderson Welter, Carlos Theodoro Heberle, Dionata Ricardo Piske, Ezequiel Dal Bosco, Jaqueline da Rosa e Maiara Karini Haskel que ajudaram nas atividades relacionadas ao trabalho.

Aos amigos de graduação: Adriano Lewandowski, Ana Paula Rizzotto, Andherson Matuczak, Bruna Gil, Cleiton Rezzadori, Ivan Carlos Zorzzi, Jessica Oliveira, Jhessica Bortolotti, Larissa Corradi Voss, Lukas Link, Nean Locatelli Dalacosta, Patricia Braga e Paulo Machado, pela amizade e pelos momentos que passamos juntos durante nossa formação acadêmica.

Aos amigos da pensão âncora: Alexandre, Aline, Amanda, Ana Julia, Maria Gabriela e Patrícia, pelos momentos que proporcionaram boas recordações da nossa vivência.

Aos membros da Banca Examinadora Paulo Fernando Adami e Vitor Girardello pelas suas contribuições e opiniões para realização no trabalho.

Aos educadores de modo especial que participaram da minha formação desde minha a escola primária até a graduação.

MUITO OBRIGADO !!!

RESUMO

CASSOL, Cidimar. **Teor de n-mineral no solo e produtividade do milho sob plantas de cobertura em plantio direto**. 2016. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação (Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Entre os vários fatores limitantes à produtividade do milho destaca-se o manejo incorreto do nitrogênio (N) por ser um dos nutrientes que mais influencia na produtividade de grãos e que mais onera os custos de produção. Para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção, deve-se procurar entender a dinâmica desse nutriente no sistema de produção e passar a considerar a contribuição dos sistemas de cobertura que antecedem a cultura comercial para definir necessidade da adubação nitrogenada. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura hibernais na disponibilidade de N mineral ao solo no decorrer do desenvolvimento da cultura do milho cultivado na presença e ausência de adubação nitrogenada, em plantio direto, em um Nitossolo Vermelho distroférico nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas por oito sistemas de cobertura do solo, sendo elas: Aveia preta, Azevém, Centeio, Ervilhaca comum, Tremoço azul, Nabo forrageiro e consórcios entre Aveia+Ervilhaca (A+E) e Aveia+Ervilhaca+Nabo (A+E+N) e nas subparcelas, duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) em cobertura na cultura do milho. Foram realizadas avaliações quanto à produção, decomposição e liberação de N pela matéria seca das plantas de cobertura. No solo foi avaliado a disponibilidade de mineral durante a decomposição dos resíduos das plantas de cobertura. Ao milho foram aplicadas avaliações quanto componentes de rendimento, teor relativo de clorofila nas folhas e produtividade de grãos. Os consórcios A+E e A+E+N apresentam produção de MS e N total acumulado equivalentes a utilização de aveia e centeio de forma solteira, relação C/N intermediária, liberação de N equivalente a utilização da ervilhaca cultivada de forma solteira, aliado a maior proteção do solo ao logo dos 120 dias de avaliação. A disponibilidade de N nítrico e amoniacal no solo é maior quanto menor a relação C/N dos sistemas de coberturas analisados. A necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho considerando a contribuição de cada sistema de cobertura no fornecimento N, utilizando as leituras de índice spad para cálculo é de: ervilhaca: 0 kg N ha⁻¹, tremoço: 63 kg N ha⁻¹; A+E+N: 65 kg N ha⁻¹; nabo: 95 kg N ha⁻¹; A+E: 104 kg N ha⁻¹; centeio: 149 kg N ha⁻¹; azevém: aveia 150 kg N ha⁻¹; 180 kg N ha⁻¹. O cultivo de milho sem adubação nitrogenada após ervilhaca, nabo e consorcio A+E+N, proporciona produtividade similares aos obtidos com a dose de 180 kg ha⁻¹. A produtividade do milho que recebeu adubação nitrogenada em sucessão aos sistemas de azevém, centeio, nabo e A+E+N (6,4 Mg ha⁻¹), apresentou produtividade 2,3 Mg ha⁻¹ menor em relação aos sistemas com ervilhaca, tremoço, aveia e A+E.

Palavras-chave: Consórcio. Nitrogênio no Solo. *Zea mays*. Teor de Clorofila. Rendimento de Grãos.

ABSTRACT

CASSOL, Cidimar. N-mineral content in the soil and corn yield under no-tillage cover crops. 2016. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação (Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Among the several limiting factors to maize productivity, it is worth noting the incorrect handling of nitrogen (N), since it is one of the nutrients that has the most influence on grain yield and which most costs production costs. In order to increase the sustainability of production systems, it is necessary to understand the dynamics of this nutrient in the production system and to consider the contribution of the coverage systems that precede the commercial crop to define the need for nitrogen fertilization. The objective of this study was to evaluate the effect of different winter cover crops on the availability of mineral N in the soil during the development of corn cultivation in the presence and absence of nitrogen fertilization in no-tillage in a dystroferic Red Nitosol under the conditions of the southwestern region of Paraná. The experimental design was a randomized block design, in split plot, with three replications. The main plots consisted of eight soil cover systems: black oat, ryegrass, rye, vetch common, blue Lupins, forage turnip and consortium among Oat+Vetch (O+V) and Oat+Vetch+Turnip (O+V+T) and subplots, two, with two levels of nitrogen fertilization (0 and 180 kg N ha⁻¹) in the corn crop. Evaluations were made regarding the production, decomposition and release of N by the dry matter of the cover plants. In the soil was evaluated the availability of mineral during the decomposition of the residues of the cover plants. Maize was evaluated as yield components, relative chlorophyll content in leaves and grain yield. O+V and O+V+T consortia presented total accumulated DM and N production equivalent to the use of oats and rye in a single form, intermediate C / N ratio, N release equivalent to the use of uniquely cultivated vetch, allied The greater protection of the soil to the logo of the 120 days of evaluation. The availability of nitric and ammoniacal N in the soil is greater the lower the C/N ratio of the cover systems analyzed. The need for nitrogen fertilization for maize crop considering the contribution of each cover system in the N supply, using the spad index readings for calculation is: vetch: 0 kg N ha⁻¹, lupine: 63 kg N ha⁻¹; O+V+T: 65 kg N ha⁻¹; Turnip: 95 kg N ha⁻¹; O+V: 104 kg N ha⁻¹; Rye: 149 kg N ha⁻¹; Ryegrass: oats 150 kg N ha⁻¹; 180 kg N ha⁻¹. The cultivation of corn without nitrogen fertilization after vetch, turnip and O+V+T consortium, yield productivity similar to that obtained with the 180 kg ha⁻¹. The yield of maize that received nitrogen fertilization in succession to the ryegrass, rye, turnip and O+V+T systems (6.4 Mg ha⁻¹), presented a lower productivity of 2.3 Mg ha⁻¹ compared to systems with vetch Lupine, and A+E.

Keywords: Consortium. Nitrogen in Soil. *Zea mays*. Chlorophyll content. Yield of Grains.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Médias de temperatura diária do ar (°C) e precipitação pluvial acumulada mensal (mm), durante o período de desenvolvimento das plantas de coberturas e milho. Dados obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, instalada na UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.. 28
- Figura 2- Médias de temperatura diária do ar (°C) e precipitação pluvial (mm), acumulada para cada época de coleta durante o período de avaliação do experimento. Dados obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, instalada na UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. 29
- Figura 3- Croqui mostrando os tratamentos e delineamento experimental utilizado no Experimento. 29
- Figura 4- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016..... 42
- Figura 5- Esquema teórico para análise de equilíbrio entre liberação e proteção do solo ao longo dos 120 dias de avaliação, considerando a maior liberação de N (55 kg ha^{-1}) e maior quantidade de MS remanescente no solo ($3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) ao final de 120 dias de avaliação como 100%, considerando-se a média dos resultados das %. Safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produção de matéria seca (MS) e nitrogênio total (N) acumulado na parte aérea das plantas de cobertura hibernais, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	35
Tabela 2- Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada para relação C/N da matéria seca, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	39
Tabela 3- Regressão e Correlação entre liberação de N em função da decomposição dos resíduos vegetais para cada espécie de planta de cobertura. Safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	44
Tabela 4- Evolução da disponibilidade de $N-NO_3^-$ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	46
Tabela 5- Médias das interações das concentrações de $N-NO_3^-$ no solo, aos 45, 60 e 75 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5 cm, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	49
Tabela 6- Evolução da disponibilidade de $N-NO_3^-$ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão às plantas de cobertura hibernais na profundidade de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	51
Tabela 7- Médias interações das concentrações de $N-NO_3^-$ no solo aos 45, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	53
Tabela 8- Evolução da disponibilidade de $N-NH_4^+$ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais nas profundidades de 0-5cm, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	54
Tabela 9- Evolução da disponibilidade de $N-NH_4^+$ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais nas profundidades de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	56

Tabela 10- Médias interações das concentrações de $N-NH_4^+$ no solo, aos 45 e 60 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5 e 5-10 cm respectivamente, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. 58

Tabela 11- Número de espigas por hectare (NEH) de milho cultivado sucessão a sistemas de cobertura hibernais, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016..... 59

Tabela 12- Médias da interação para valores de índice SPAD aos 45, 60, 75 e 90 dias na última folha expandida de milho cultivado em sucessão a sistemas de cobertura hibernais, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N- mineral, para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos. 62

Tabela 13- Médias de interação para produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos.64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	76
Anexo 2- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	77
Anexo 3- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	78
Anexo 4- Regressão entre MS remanescente e concentração de N nos tecidos, para a ajustamento de equação para estimar a liberação de N para cada sistema de cobertura de acordo com a decomposição dos resíduos aportados a superfície do solo. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	79
Anexo 5- Regressão entre MS acumulo de N no tecido dos sistemas de cobertura. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.	80

LISTA DE ABREVIATURAS

Mg	Megagrama
mg	Miligramma
ha	Hectares
MS	Matéria seca
Kg	Quilograma
C	Carbono
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio atmosférico
C/N	Relação entre carbono e nitrogênio
DAS	Dias após a semeadura
m	Metros
m ²	Metros quadrados
cm	Centímetros
g	Gramas
P	Fósforo
K	Potássio
MgO	Óxido de magnésio
KCl	Cloreto de potássio
NaOH	Hidróxido de sódio
HCl	Ácido clorídrico
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
NH ₄	Amônio
NH ₄ ⁺	Amônia
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO ₂	Nitrito
N-NH ₄ ⁺	Nitrogênio amoniacal
N-NO ₃ ⁻	Nitrogênio nítrico
NEH	Número de espigas hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 CULTURA DO MILHO	16
2.2 PLANTIO DIRETO	17
2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE CICLO HIBERNAL	19
2.4 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO	21
2.5 DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS	23
2.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR RELATIVO DE CLOROFILA	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	27
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	29
3.3 PARÂMETROS AVALIADOS	31
3.3.1 Plantas de cobertura hibernais	31
3.3.2 Análise de solo	33
3.3.3 Cultura do milho.....	33
3.3.4 Análises estatísticas	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO	35
4.1.1 Produção de matéria seca e acúmulo de N no tecido	35
4.1.2 Relação C/N.....	38
4.1.3 Liberação de Nitrogênio	40
5.2 NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO	45
5.2.1 N nítrico (NO_3^-)	45
5.2.2 N amoniacal (NH_4^+).....	54

6.3 CULTURA DO MILHO	58
6.3.1 Número de espigas por hectare (NEH).....	58
6.3.2 Produtividade de grãos de milho	63
7. CONCLUSOES.....	67
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

A eficiência da utilização do nitrogênio adicionada ao solo (adubação orgânica ou mineral) refere-se ao grau de recuperação desse elemento pelas plantas, considerando as perdas que geralmente ocorrem por lixiviação ou volatilização. A eficiência de utilização de nitrogênio pelos principais cereais do mundo é de aproximadamente 33%. Se for considerar os 67% de N que não são aproveitados, tem-se uma perda de 75 bilhões de dólares em fertilizantes nitrogenados, além dos impactos ambientais causados aos ecossistemas (RAUN; JOHNSON, 1999).

Dada sua importância para as culturas e sua mobilidade no solo, este nutriente tem sido objeto de intensa investigação científica, uma vez que a compreensão da dinâmica desse elemento é de fundamental importância para solução de problemas relacionados a sustentabilidade dos ecossistemas.

A utilização de plantas de cobertura que possuem a capacidade de ciclar nutrientes, aumentando a disponibilidade para cultura em sucessão são alternativas para redução das perdas de N por lixiviação e volatilização, pois o N é mantido na forma orgânica e disponibilizado mais lentamente de acordo com a sua mineralização possibilitando incrementos de produtividade quando utilizados em plantio direto.

Deste modo, a utilização de diferentes espécies de plantas de cobertura proporciona efeitos distintos sobre a disponibilidade de N ao solo. Assim, deve-se avaliar o comportamento de cada espécie, tentando buscar novas tecnologias que permitam aumentar a eficiência da utilização de fertilizantes nitrogenados.

Dentre as características do solo usadas como indicadoras de disponibilidade de N mineral, a análise do teor de nitrato (NO_3^-) tem se mostrado promissora, devido ao fato de grande parte do N mineral no solo estar nesta forma, os quais são determinados por meio de kit de determinação rápida. No entanto como possui carga negativa, sendo facilmente lixiviado em condições de altas precipitações, a inclusão do íon amônio na análise pode nestas condições, melhorar a predição de necessidade de N no solo.

Em relação as características de plantas a avaliação do teor relativo de clorofila têm se mostrado um método eficaz para medição indireta da necessidade de N pela cultura. De modo geral as características de solo predizem com maior segurança a dose a ser aplicada, enquanto os de planta predizem com maior segurança a época a ser aplicada.

No entanto, estes são aspectos pouco estudados e validados nas condições edafoclimáticas, necessitando desenvolver estudos para adequação do seu uso no manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho.

A avanço na compreensão da dinâmica de liberação de N pelos sistemas de coberturas e da sua contribuição no fornecimento de N para a cultura em sucessão permite a redução dos gastos com adubação nitrogenada, sendo uma forma de aumentar a viabilidade do sistema de produção de milho, principalmente nas propriedades de agricultura familiar que representam mais de 90% dos estabelecimentos rurais na região sudoeste do Paraná.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura do solo em plantio direto, sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral ao solo no decorrer do desenvolvimento da cultura do milho na presença e ausência de adubação nitrogenada nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays*) é uma das principais espécies cultivada no mundo, e tem sua importância caracterizada pela diversidade de formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal, humana até indústrias de alta tecnologia (SEAB/DERAL, 2014). A planta de milho é considerada uma das mais eficientes na conversão da energia solar, visto que uma semente que pesa 0,29 gramas resulta num período próximo a 140 dias em uma produção de grãos por planta com aproximadamente 1000 vezes o seu peso inicial (FANCELLI, 2003).

No panorama mundial, os Estados Unidos são os maiores produtores (37%) e consumidores (31%) do total mundial. Na segunda e terceira posição encontram-se a China e Brasil com 22% e 7% da produção mundial respectivamente (SEAB/DERAL, 2014).

A produção brasileira de grãos para a safra 2014/15 foi de 84,7 milhões de toneladas com uma produtividade de 5,4 Mg/ha⁻¹. Já para a safra 2015/16 a produção foi de 66,7 milhões de toneladas, quebra ocorrida em função das condições climáticas que afetaram o país, reduzindo a produtividade para 4,2 Mg/ha⁻¹ (CONAB, 2016).

O Paraná é o segundo maior produtor de milho do país com 15,4 milhões de toneladas e com produtividade média do milho de 5,5 t/ha⁻¹, ficando entre os estados mais produtivos do país (CONAB, 2016).

Do total produzido de milho no Paraná, 80% é destinada principalmente as atividades pecuárias mais especificamente para avicultura que representa juntamente com Santa Catarina, 75% do total de frangos abatidos no Brasil. E a bovinocultura de leite que no ano de 2010 passou a ser a maior bacia leiteira do Paraná com 23% da produção do estado e 3% da produção nacional. Em média 20% da produção são destinados ao mercado externo (SEAB/DERAL, 2012).

Considerando sua importância para a viabilização da atividade pecuária da região é de fundamental importância a redução dos custos de produção, visto que custo para produzir vem aumentando, e os valores pagos aos produtores nos últimos anos não têm compensado o investimento, ocorrendo a desestímulo pelo segmento (SEAB/DERAL, 2014).

O principal componente dos custos são os fertilizantes que representam em média 34% de participação do custo total de produção do milho (BROCH; PEDROSO, 2012). Dessa forma, sistemas de manejo que possam diminuir a demanda por fertilizantes principalmente os nitrogenados, são de extrema importância para a produção de milho com menores custos de produção e tornar o sistema de produção mais sustentável ecologicamente (TEIXEIRA et al, 2010; ACOSTA, 2009).

2.2 PLANTIO DIRETO

O desenvolvimento da agricultura teve início a aproximadamente 10.000 anos. A partir deste momento o ato de cultivar passou a ter um aprimoramento constante, sendo modelado de acordo com o clima do local e conhecimentos acumulados pelos agricultores. O ato de cultivar diretamente sobre a palha, tornou-se mais evidente devido ao surgimento de problemas como a erosão hídrica, inicialmente na Inglaterra em 1955 (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008). Porém se desenvolveu com maior rapidez nos Estados Unidos, após o desenvolvimento de moléculas químicas para o controle de ervas daninhas na região do Centro-Oeste (Corn Belt) e Sudeste americano (ABEAS/LANDERS, 2005).

No Brasil, o plantio direto (PD) na palha com a mobilização do solo somente na linha de semeadura, teve início em 1972, realizado pelo agricultor Herbert Bartz em Rolândia no norte do Paraná, com objetivo principal de reduzir a erosão do solo e minimizar os impactos ambientais decorrente da utilização do sistema convencional (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LANILLO, 2012).

Segundo Mello e Conceição (2008), o PD acabou se difundindo por várias cidades do Paraná iniciando por Campo Mourão e Cornélio Procópio e com o passar do tempo para outras regiões do estado e do Brasil, estabelecendo-se com uma importante tecnologia para o manejo sustentável do solo.

No Brasil, a consolidação e aumento da área no sistema de PD só foi possível com a utilização do glifosato que viabilizou este sistema e com a disponibilidade de semeadoras de plantio direto no mercado nacional adequadas aos vários tipos de solos existentes no Brasil (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LANILLO, 2012).

Estima-se que o Brasil possui uma área de 32 milhões de hectares em PD, que equivale a 86% da sua área total cultivada. O estado do Paraná possui em torno de 5,3

milhões hectares, que corresponde a aproximadamente 17% da área total em plantio direto do Brasil (FEBRAPDP, 2014).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é caracterizado pelos seus pressupostos básicos, constituídos pelo mínimo revolvimento do solo, permanência de palhada na superfície em quantidade e qualidade e rotação de culturas (ABEAS/LANDERS, 2005; REIS et al., 2007).

A rotação de cultura, bem como a dinâmica das pragas, doenças e plantas daninhas, possibilita aumento no rendimento das culturas, podendo ainda reduzir os custos de produção devido a racionalização do uso de insumos, resultando em maior lucratividade ao produtor (FRANCHINI et al., 2011).

A utilização dessa técnica conservacionista promove uma série de benefícios, tais como, o aumento dos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo, melhorando a estabilidade dos agregados e conseqüentemente conferindo maior resistência do solo a erosão (COSTA et al., 2004). Além disso, contribui para a melhoria da qualidade ambiental, reduzindo o consumo de óleo diesel ao redor de 50% pela redução de práticas agrícolas, e promovendo o sequestro do carbono que é incorporado através das plantas, e posterior aporte ao solo, apresentando-se como uma alternativa para mitigação dos gases do efeito estufa e, contribuindo para a redução do aquecimento global (ABEAS/LANDERS, 2005).

Conforme ocorreu a expansão do PD, sentiu-se a necessidade de adicionar maior quantidade de resíduos ao solo, para diminuir os riscos de erosão hídrica e tornar o sistema mais sustentável. Este fato fez aumentar o interesse pelas plantas de cobertura, que quando associadas a este sistema, promovem melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para sua sustentabilidade (FRANCHINI et al., 2011).

No entanto, ainda são necessárias muitas pesquisas para entender o comportamento das espécies de plantas sobre a dinâmica de disponibilidade de nutrientes ao solo, principalmente de N, devido a sua mobilidade. E assim poder indicar quais são as espécies de plantas de cobertura mais adequada de acordo com a necessidade do produtor.

2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE CICLO HIBERNAL

A utilização de plantas de cobertura já é conhecida há milênios, sendo que a primeira civilização a utilizar esta técnica, foram os chineses, com o objetivo de fertilizar o solo (1134-247 a.C). Posteriormente, os gregos e romanos passaram a utilizar plantas de cobertura como o tremoço e fava, que eram incorporadas ao solo, para aumentar os teores de matéria orgânica do solo e a produtividade das culturas posteriores (PIETERS, 1927).

Com a implantação e evolução do PD, o conceito de plantas de cobertura tem evoluído. No plantio convencional as plantas eram incorporadas ao solo quando atingiam pleno florescimento, o que não ocorre no sistema de PD, ou seja, as plantas são cultivadas e, na fase de florescimento são dessecadas, roçadas ou acamadas com a manutenção de sua biomassa vegetal sobre o solo.

Com esta mudança de manejo, sem incorporação, as plantas ficam na superfície e passam a participar no processo de conservação através da rotação de cultura, sucessão ou consorciação, proporcionando proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva e ação dos ventos, diminuindo a possibilidade de erosão (TAVARES et al., 2008). Além disso, proporcionam outros benefícios, tais como, a diminuição das plantas espontâneas através do efeito supressor e/ou alelopático, evitando a incidência direta de radiação solar, proporcionando a manutenção da umidade e evitando oscilações de temperatura. O sistema radicular “agressivo” descompacta e estrutura o solo (agregação e aeração) aumentando a infiltração de água. Promovem reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo, sendo mantidos na forma orgânica (na planta) estando menos sujeitos a lixiviação e são disponibilizados (mineralizados) mais lentamente às plantas de acordo com a decomposição da matéria orgânica (CALEGARI, 2004).

Estas espécies também denominadas de adubos verdes, melhoradoras ou protetoras do solo, ou simplesmente plantas de cobertura, estão sendo utilizadas de diferentes modos nos diversos sistemas de produção, de forma solteira, e/ou em consórcios entre plantas de cobertura, ou até mesmo consorciadas com a cultura comercial (GUERREIRO, 2002).

A utilização de plantas de cobertura antecedendo o cultivo do milho pode resultar em maior produtividade, principalmente se estas forem fabáceas (leguminosas) por realizar associação simbiótica com bactérias que fixam o N₂ do ar atmosférico,

transformando em amônia (NH_3) (SILVA et al., 2006) e incorporando ao solo, o que resulta em menor demanda de adubação nitrogenada (LEAL et al., 2013) via fontes minerais.

Já o cultivo de poáceas (gramíneas) que possuem o sistema radicular abundante, contribuem para estruturação do solo, e devido a sua maior relação carbono/nitrogênio (C/N), resultam em decomposição mais lenta dos resíduos, proporcionando proteção do solo por um período maior de tempo (ZIECH, 2016).

A utilização de fabáceas de forma isolada antecedendo o milho resulta em rápida decomposição dos resíduos deixando o solo desprotegido logo no início do cultivo. Por outro lado, a utilização de poáceas em cultivo solteiro antecedendo o milho resulta em imobilização temporária do N na biomassa microbiana, podendo causar prejuízos a cultura em sucessão (SILVA et al., 2006).

Sendo assim, para se obter um melhor equilíbrio entre mineralização e imobilização de nutrientes e manutenção de resíduos na superfície do solo, a utilização de consórcios de espécies de poáceas e fabáceas e/ou brássicas tem se mostrado uma estratégia eficiente para equilibrar estes processos (DONEDA et al., 2012), atendendo os aspectos conservacionistas e melhorando a sustentabilidade do PD.

Ao estudar o desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécie de cobertura do solo em PD no sul do Brasil, Cherubin et al. (2014), observaram que a cultura do milho cultivada em sucessão a ervilhaca isolada e aos consórcios aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca e aveia preta + ervilhaca, sem aplicação de adubação nitrogenada, apresentaram as maiores produtividades de grãos, tornando-se uma alternativa para propriedades menos tecnificadas que preconizem a produção a baixos custos.

Estudando plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho, Aita et al (2001) verificaram que os maiores valores de equivalência de N mineral foram obtidos com ervilhaca (137 kg ha^{-1} de N) e com o tremoço (122 kg ha^{-1} de N), valores que se assemelham a demanda de N pela cultura do milho para que possam expressar o máximo de seu potencial produtivo (GROSS et al., 2006; VELOSO et al., 2006). O cultivo de ervilhaca solteira tem maior potencial de perdas de N por lixiviação, do que quando comparado ao seu cultivo consorciado (AITA et al., 2004), o que evidencia a necessidade de se consorciar espécies de fabáceas com elevada fixação de nitrogênio e rápida decomposição dos resíduos em superfície, com outras espécies de decomposição lenta.

Lázaro et al. (2013) estudando a produtividade do milho em sucessão a plantas de cobertura em um Latossolo Vermelho Eutroférico, verificou que os melhores rendimentos ($10,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram obtidos sobre palhada de tremoço e consórcios de aveia preta + tremoço branco e aveia preta + nabo forrageiro, mostrando-se como uma alternativa viável para obtenção de alta produtividade de milho, dispensando adubação nitrogenada.

Em estudo realizado na região Sudoeste do Paraná, avaliando os efeitos das plantas de cobertura e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, verificou-se que a utilização de ervilhaca comum, nabo forrageiro e tremoço branco proporcionaram rendimentos similares a da adição da dose de 180 kg/ha^{-1} de N cobertura, que teve uma média de produtividade de $6,6 \text{ t ha}^{-1}$ (DAHLEM, 2013).

No entanto, estudos e informações relacionados a decomposição e liberação de nutrientes por diferentes sistemas de plantas de cobertura são bastante incipientes na região Sudoeste do Paraná, o que evidencia a necessidade de intensificar os trabalhos nessa área, visando adequada recomendação aos agricultores.

2.4 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera terrestre 78% e ao mesmo tempo escasso para as plantas, tornando-se o fator nutricional mais limitante e abrangente que afeta a produtividade dos ecossistemas terrestres. Isso se deve à forte ligação tripla entre os dois átomos da molécula de nitrogênio, fazendo que não possa ser diretamente utilizado pelas plantas e animais. (BRADY; WEIL, 2013).

Porém, pouco N seria encontrado no ecossistema se não fosse pela ação de certos processos naturais como a fixação biológica de nitrogênio e ação dos relâmpagos, que quebram essa tripla ligação formando elementos prontamente disponíveis as plantas (BRADY; WEIL, 2013).

O nitrogênio mineral é encontrado na sua maior parte na matéria orgânica do solo (MOS), que contém cerca de 5% de N, sendo que a baixa disponibilidade ocorre porque cerca 95% apresenta-se na forma orgânica, que são moléculas mais complexas, indisponíveis para as plantas (ACOSTA, 2009), somada a baixa disponibilidade de N na forma inorgânica como íons de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) que são as principais formas absorvidas pelas raízes das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Considerando uma taxa de mineralização de 2% ao ano da matéria orgânica, a quantidade de nitrogênio fornecido em um solo por hectare (10.000 m²) na profundidade de 0-20 cm, densidade de 1,0g cm³ e com 2,5% de matéria orgânica (contendo 5% de N) é de apenas 50 kg de N por ano.

O processo de transformação do N orgânico para inorgânico realizado por micro-organismos é denominado de mineralização (ACOSTA, 2009). No entanto, são pequenas as quantidades de N mineralizado durante o ciclo de desenvolvimento de determinada cultura, sendo difícil atender demanda visto que esse elemento na forma inorgânica tem uma alta oscilação no solo, sendo insuficiente para garantir adequado desenvolvimento e produtividade da maioria das culturas comerciais.

O aumento da quantidade de N no solo só poderá ocorrer mediante a ação de relâmpagos, utilização de espécies de plantas que fixem N do ar atmosférico ou através da utilização da adubação orgânica ou mineral.

A transformação dos compostos nitrogenados presentes na matéria orgânica se dá por meio da ação de bactérias e algumas espécies de fungos (SILVA et al., 2010). No processo de mineralização ocorre a transformação do N-orgânico em NH₃⁻ a qual em reação com a água forma amônio (NH₄⁺) (amomificação). A NH₃⁻ é transformada em nitrito (NO₂⁻) pela ação das bactérias Nitrosomonas (nitrosação) e então imediatamente oxidado a NO₃⁻ pelas bactérias do gênero Nitrobacter (nitração). Desde que as condições sejam favoráveis para ambas as reações, o acúmulo de NO₂⁻ não causara efeito tóxico às plantas superiores (BRADY; WEIL, 2013).

Para realizarem a decomposição destes resíduos, os microrganismos necessitam retirar elementos essenciais a sua nutrição como carbono (C) para obtenção de energia e N para sintetizar os componentes celulares, como aminoácidos, enzimas e DNA. Necessitando de um equilíbrio de nutrientes para obtenção de energia e formação de tecidos, as bactérias e fungos apresentam uma relação C/N em média de 8/1, ou seja, necessitam incorporar oito partes de carbono para uma parte de nitrogênio. Em razão de cerca de um terço do carbono metabolizado ser incorporado (o restante é respirado na forma de CO₂) os organismos precisam incorporar 1g de nitrogênio para cada 24g de carbono (BRADY; WEIL, 2013).

Vários fatores interferem na mineralização do N orgânico do solo e das culturas, merecendo destaque os fatores climáticos como temperatura e umidade (ROCHA et al., 2008) e de solo como textura (BITTAR et al., 2013). Porém a relação

C/N dos resíduos adicionados ao solo é um dos principais fatores que controlam a taxa de mineralização (GIACOMINI, 2005).

A taxa de mineralização é definida de acordo com relação C/N dos resíduos adicionados ao solo, podendo ser agrupado em duas classes de acordo com a espécie de cobertura do solo, aquelas de decomposição lenta (poáceas) com relação C/N alta (30/1) promovem a imobilização de N, e a outra de decomposição rápida (fabáceas e brássicas) com relação C/N inferior a 20/1 promovem mineralização de N. Valores intermediários (25:1) promovem um equilíbrio entre mineralização e imobilização (ALVARENGA et al., 2010).

O íon amônio mineralizado, da mesma forma que outros íons carregados positivamente é atraído pelas superfícies carregadas negativamente das argilas e húmus, de onde é retido na forma trocável, disponíveis às plantas, parcialmente protegidos da lixiviação. No entanto, o nitrato, por apresentar cargas negativas não são adsorvidos, podendo ser facilmente lixiviados (SILVA et al., 2010).

Considerando a complexidade deste elemento no sistema, a utilização de parâmetros complementares e diretos mostra-se benéfico para monitorar a disponibilidade de N auxiliando na decisão da dose e época de aplicação, melhorando a eficiência e diminuindo impactos ambientais. Em geral, as características do solo predizem com maior segurança a dose a ser aplicada, enquanto que os de planta predizem a sua época de aplicação (SCHRODER et al., 2000).

De modo geral, o nitrato é a forma mais utilizada pelas plantas, o qual é absorvido na maior parte durante a fase de crescimento. Assim, o teor de NO_3^- no solo tem se mostrado promissor, cujo uso decorre principalmente de “kits” para sua determinação, e do fato de grande parte do N no solo estar na forma de nitrato, devido a rápida oxidação do NH_4^+ . No entanto, como possui carga negativa, é facilmente lixiviado em condições de altas precipitações, sendo que a inclusão do íon amônio pode nestas condições, melhorar a predição de necessidade de N no solo (RAMBO et al., 2007).

2.5 DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS

A decomposição dos resíduos vegetais aportados ao solo independente da forma como se encontra, é condicionado a inúmeros fatores bióticos e abióticos, os quais

determinam a taxa de decomposição desses resíduos na superfície do solo (ESPÍNDOLA et al., 2006).

O processo de decomposição é influenciado pelas condições edafoclimáticas e a qualidade dos resíduos adicionado como fonte de alimento para os organismos do solo principalmente pelas características qualitativas do material como relação C/N, lignina e polifenóis. De acordo com essas características, as espécies vegetais podem apresentar, decomposição rápida (fabáceas) ou lenta (poáceas) (KLIEMANN, 2006).

Entre estes fatores, a relação C/N dos resíduos vegetais assume importante papel na decomposição bem com na relação entre mineralização/imobilização. Sendo que resíduos que possuem maior quantidade de lignina, polifenóis e relação C/N, levam mais tempo para serem decompostos (ACOSTA, 2014).

De acordo com Alvarenga et al. (2010), quando os valores de relação C/N é maior que 30/1 ocorre imobilização temporária de N pelos organismos do solo; quando valores da relação C/N for menor que 20/1 ocorre mineralização do N, sendo considerada uma relação C/N de equilíbrio próximo a 25/1.

Em manejos conservacionistas preconiza-se a manutenção de palhada sobre o solo, que é condicionado pela adição de resíduos com alta relação C/N, sendo a aveia a principal espécie utilizada na região sul do país. No entanto, o milho cultivado em sucessão a aveia ocorre redução na absorção de N e redução da produtividade devido à alta relação C/N dos resíduos adicionados ao solo.

Neste caso, a imobilização é maior que a mineralização, sendo necessário utilizar maiores quantidades de fertilizantes para compensar a falta de N decorrente do processo de imobilização, o que acaba por aumentar os custos de produção.

As taxas de decomposição dos resíduos vegetais podem ser avaliadas por diversos métodos testados, porém a maioria delas está baseada na utilização da incubação do material sobre o solo em bolsas de decomposição (LIMA, 2015; ACOSTA, 2014). A partir do acondicionamento avalia-se a perda de massa, coletando-se os materiais em períodos pré-determinados, expressando a taxa de decomposição em termos de porcentagem da massa inicial.

Observando a taxa de decomposição dos resíduos vegetais de diferentes espécies de plantas de cobertura, Dahlem (2013), verificou que a consorciação entre aveia+ervilhaca teve uma produção de matéria seca 50% superior ao cultivo isolado de ervilhaca, evidenciando a importância das poáceas para posterior manutenção da cobertura do solo e das fabáceas pela adição de N ao sistema.

Avaliando a consorciação de plantas de cobertura antecedendo o cultivo do milho em plantio direto, Aita (2004) observou que a consorciação de aveia+ervilhaca diminui a concentração de N mineral no solo em relação a ervilhaca solteira, sendo este efeito proporcional a participação da aveia no consórcio. Porém, o potencial de perdas de N por lixiviação foi maior após a ervilhaca solteira do que após aveia e nabo solteiros e os consórcios aveia e ervilhaca.

Deste modo a utilização de consórcios de espécies tem se mostrado uma eficiente alternativa no sistema de plantio direto, considerando a grande produção de matéria seca das poáceas e a contribuição das fabáceas com aporte de N ao sistema, que contribuem uma decomposição mais gradativa dos resíduos proporcionando proteção do solo e melhorando a eficiência na utilização do nitrogênio pelas plantas, proporcionando produtividades similares a da adição de fertilizantes nitrogenados (DAHLEM, 2013).

2.6 TEOR RELATIVO DE CLOROFILA

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela transformação da energia luminosa em energia química, na forma de ATP (Adenosina Tri-fosfato) e NADPH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato reduzido). Dessa forma estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas. Presentes nos vegetais verdes sob a forma, a e b, as clorofilas são constantemente criadas e destruídas, sendo esse processo regulado pelas condições interna e externa a planta (BLANKENSHIP, 2009).

Para determinação dos teores de clorofila, há vários métodos utilizados. Tradicionalmente os mais comuns são aqueles que requerem a destruição da folha, sendo uma desvantagem quando se quer avaliar o desenvolvimento da planta. Além disso, é um processo que requer mais tempo e gastos com reagentes. Deste modo, a utilização de equipamentos que permitem medições instantâneas de clorofila, de modo rápido e sem destruição das folhas, constitui uma alternativa viável para estimar o teor relativo deste pigmento na folha (JESUS; MARENCO, 2008).

O diagnóstico baseia-se no fato de que a quantidade desse pigmento correlaciona-se positivamente com o teor de N na planta (PENA, 2009). Esta relação é atribuída, principalmente, devido ao fato de 50 a 70% do N total das folhas fazer parte da constituição de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

Uma vantagem da utilização deste método é que a leitura pode ser realizada em poucos minutos, sendo de fácil determinação e baixo custo de manutenção do aparelho (ARGENTA et al., 2002). Além de ser um método não destrutivo, a determinação da clorofila pelo clorofilômetro apresenta a vantagem de não ler o N absorvido como “consumo de luxo”, mas sim apenas aquele que se associa a molécula de clorofila (MAIA, 2011).

A menor sensibilidade do medidor de clorofila ao “consumo de luxo” de N pelas plantas de milho, e atribuída a forma como esse elemento é armazenado na folha. Quando absorvido em excesso é acumulado na forma de nitrato, não se associando a molécula de clorofila e, portanto, não pode ser determinado pelo medidor de clorofila (GODOY et al., 2008).

O princípio de funcionamento do medidor de clorofila baseie-se no uso de diodos (cristal semiconductor) que emitem radiação em dois comprimentos de ondas. Uma faixa no infravermelho 940 nm e outra na faixa de 650 nm (luz vermelha). Esses feixes de luz atravessam a folha atingem um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos, os quais são convertidos por meio de um conversor A/D, em sinais digitais (MINOLTA, 1989). Os valores obtidos são proporcionais ao teor relativo de clorofila presente na folha (SALLA et al., 2007).

As leituras efetuadas por este equipamento correspondem ao teor relativo de clorofila presente na folha da planta, que segundo Carvalho et al. (2012) é um método eficaz para medição indireta da necessidade de N pela cultura. Trabalhos têm demonstrado que há uma correlação entre o aumento nos teores de clorofila nas folhas com doses crescentes de nitrogênio (DE PINHO COSTA et al., 2008).

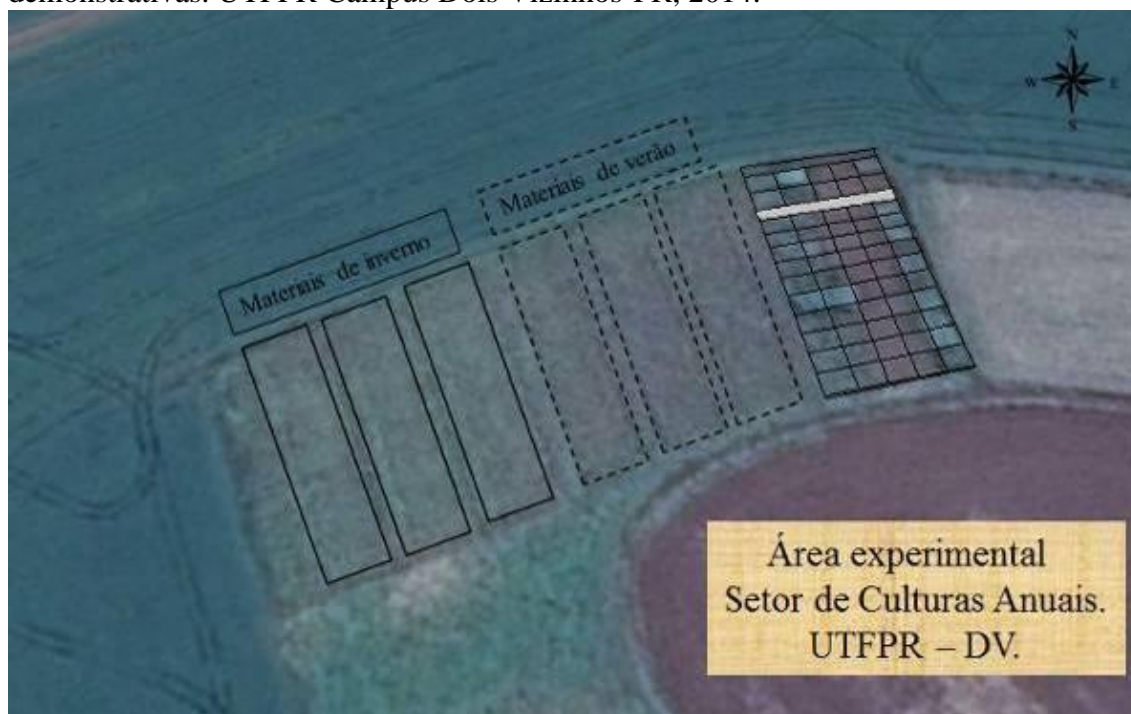
A utilização da determinação indireta do nitrogênio foliar através do índice SPAD se mostra bastante eficiente, para predizer o estado nutricional da cultura avaliada, haja vista que esse índice correlaciona-se com a concentração de N na planta e, também, com a produtividade das culturas. (ZUFFO, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi conduzido na Estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, situada a 25° 42' 52" de latitude S e longitude de 53° 03' 94" W-GR, a 530 metros acima do nível do mar. O solo local é do tipo Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013) com textura muito argilosa (773 g kg⁻¹, 224 g kg⁻¹ de silte e 3 g kg⁻¹ de areia). O clima da região é Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida com temperatura média do mês mais quente de 22°C (ALVARES et al., 2013).

Figura 1- Vista aérea da área experimental de culturas anuais e unidades demonstrativas. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2014.



O experimento iniciou-se no ano de 2010, sendo cultivada com sucessão de milho e plantas de cobertura do solo, em área que historicamente vinha sendo utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado, sob as seguintes condições químicas do solo na camada 0-20 cm: pH (CaCl₂) = 5,3; índice SMP = 6,4; MO = 40,8 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 4,3 mg dm³; K = 0,2 cmol_c dm³; Ca =

6,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$; Mg = 2,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$; H+AL = 3,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$; SB (soma de bases) = 9,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$; CTC = 12,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ e V (saturação de bases) = 70%.

O trabalho foi conduzido durante o ano agrícola 2015/2016, sob manejo de PD com uso de diferentes plantas de cobertura de hibernais antecedendo o cultivo de milho para produção de grãos, com ausência de aplicação de N-mineral (zero N) e fornecimento de N-mineral em cobertura na quantidade de 180 kg ha^{-1} aplicado em dose única.

Os dados climáticos de precipitação pluvial e temperatura média do ar, referente ao período experimental, foram obtidos da unidade de estação meteorológica INMET (Figura 1), instalada na estação experimental da UTFPR Campus Dois Vizinhos.

Figura 1- Médias de temperatura diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluvial acumulada mensal (mm), durante o período de desenvolvimento das plantas de coberturas e milho. Dados obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, instalada na UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. Temp PC= Temperatura média para plantas de cobertura; Temp Milho= Temperatura média para o milho; Ppa PC= Precipitação pluvial acumulada para plantas de cobertura; Ppa Milho= Precipitação pluvial acumulada para o Milho.

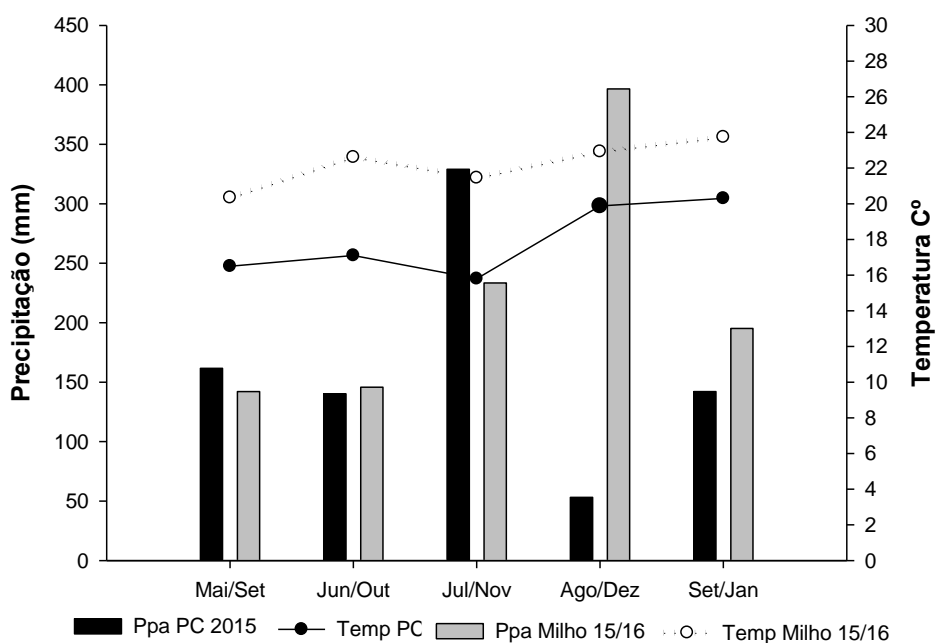
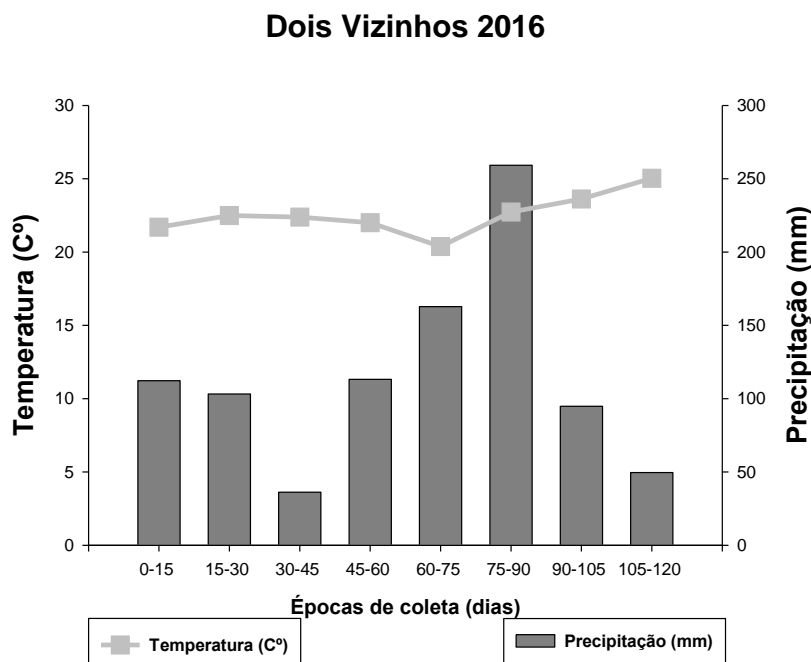
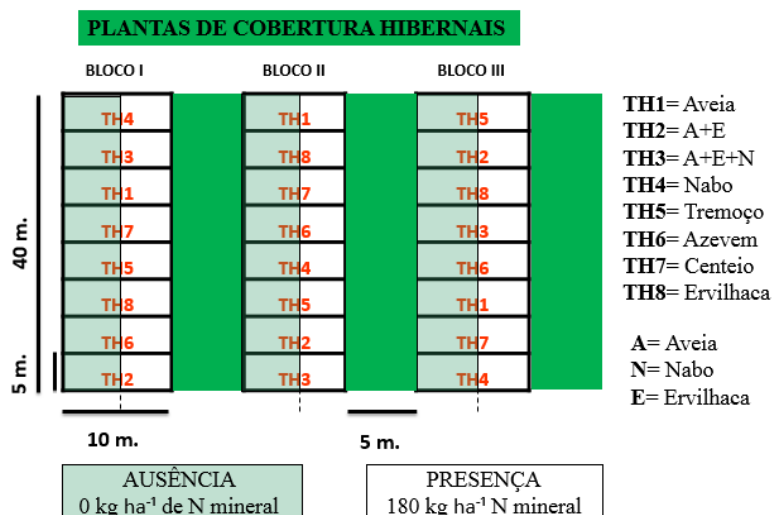


Figura 2- Médias de temperatura diária do ar (°C) e precipitação pluvial (mm), acumulada para cada época de coleta durante o período de avaliação do experimento. Dados obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, instalada na UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.



3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Figura 3- Croqui mostrando os tratamentos e delineamento experimental utilizado no Experimento.



O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições, constituído por parcelas principais de 5m x 10m (fator A), com o estabelecimento das plantas de cobertura do solo e parcelas subdivididas de 5m x 5m (fator B), com a utilização das doses de adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, tendo o experimento área total de 1.200 m² (Figura 3).

Foram utilizados oito sistemas com plantas de cobertura do solo, antecedendo o cultivo de milho em plantio direto, apresentados abaixo com as respectivas densidades de semeadura.

1. Aveia Preta – (*Avena strigosa* Schreb) 90 kg ha⁻¹
2. Azevém – (*Lolium multiflorum* Lam.) 50 kg há⁻¹
3. Centeio Serrano – (*Secale cereale* L.) 50 kg há⁻¹
4. Tremoço Azul – (*Lupinus angustifolius* (L.) 100 kg ha⁻¹
5. Ervilhaca Comum – (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha⁻¹
6. Nabo Forrageiro – (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha⁻¹
7. Aveia + Ervilhaca (A+E) - 60 + 40 kg ha⁻¹
8. Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) - 60 + 30 + 10 kg ha⁻¹

Excepcionalmente para a safra 2015/2016 o tremoço branco foi substituído pelo tremoço azul em função da baixa germinação e emergência das sementes a campo.

Antecedendo a semeadura das plantas de coberturas hibernais, foi realizada a aplicação de herbicida (Glifosato 576 g ha⁻¹ de i.a) para dessecação das plantas daninhas em toda a área.

As plantas de cobertura foram semeadas de forma mecanizada na segunda semana do mês de maio (13/05/16), com espaçamento de 0,17m entre linhas, para todos os sistemas. Para estas culturas não foram feitas adubações de base, nem de cobertura. O manejo de dessecação das plantas de cobertura ocorreu aos 114 Dias Após Semeadura (DAS) (04/09/15), através da aplicação de herbicida (Glifosato 576 g ha⁻¹ de i.a).

A semeadura do milho (AG 9045) sobre os resíduos das plantas de cobertura, em plantio direto, foi realizado 17 dias após o manejo químico dos sistemas de cobertura (21/09/15), com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura estimada para 75.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada com a

formulação de adubo 0:20:20, o que promoveu a disponibilização da mesma quantidade de P e K em todas as parcelas (50 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 50 kg ha^{-1} de K_2O).

Visando avaliar o efeito das plantas de cobertura na disponibilização de NO_3^- para a cultura subsequente, as parcelas foram subdivididas, onde utilizou-se doses de N-mineral, na quantidade de 0 e 180 kg ha^{-1} de N, fornecidos através de ureia (45% N).

A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura em dose única e sob condições de umidade e temperatura adequada, direcionadas próximo as linhas de semeadura do milho aos 37 DAS quando as mesmas apresentavam-se com quatro folhas completamente desenvolvidas (V4).

Para o manejo de plantas daninhas e controle de insetos na cultura do milho foi realizada única aplicação de herbicida (Nicosulfuron 60 g ha^{-1} de i.a) e inseticida (Deltametrina $37,5 \text{ g ha}^{-1}$ de i.a), respectivamente.

3.3 PARÂMETROS AVALIADOS

Para as plantas de cobertura hibernais: avaliou-se a produção de MS da parte aérea, acúmulo de N, relação C/N e liberação de nitrogênio dos resíduos; no solo: o teor de N mineral (NO_3^- e NH_4^+); e na cultura do milho: teor relativo de clorofila na folha (índice Spad), número de espigas e produtividade de grãos.

3.3.1 Plantas de cobertura hibernais

Aos 110 DAS (31/08/15) avaliou-se a MS da parte aérea das plantas de cobertura, em duas subamostras de $0,25 \text{ m}^2$ em cada parcela, formando uma amostra única. No momento da avaliação, azevém, aveia preta e tremoço apresentavam-se em fase de florescimento; a ervilhaca estava iniciando a floração e o nabo forrageiro estava no final do florescimento. O material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 55^\circ\text{C}$ por 48 horas, até peso constante, e, em seguida, pesado para a obtenção da MS.

Para os consórcios (A+E e A+E+N) foi realizado a separação botânica, determinando a produção de MS de cada espécie, para posterior preenchimento das bolsas de decomposição com a quantidade de MS proporcional a produzida por cada espécie no consórcio.

Para a confecção das bolsas, foi utilizado material vegetal, previamente seco em estufa de circulação de ar forçado, posteriormente fracionados em pedaços de aproximadamente 10 cm. A quantidade de MS utilizada para o preenchimento das bolsas, foram baseadas conforme a produtividade (kg/MS/ha^{-1}) de cada planta de cobertura, calculando-se a quantidade do material para preenchimento de acordo com a área da bolsa ($0,04 \text{ m}^2$).

A campo, antes de colocar as bolsas de decomposição, afastou-se da palhada das plantas de cobertura hibernais nas suas entrelinhas, de modo que apenas materiais vegetais da cultura anterior às plantas de cobertura permaneçam sobre o solo, com objetivo de simular com maior precisão o processo de decomposição que ocorre na parcela.

Após, foram depositadas e fixadas em superfície de seis bolsas de decomposição, de igual peso, nas respectivas parcelas do material de origem, nas entrelinhas, logo em seguida a semeadura do milho. Uma das amostras serviu como controle (tempo zero) sendo armazenado em local seco e protegido.

A quantificação da taxa de decomposição foi realizada através da determinação de perda de massa, sendo as coletas realizadas (uma por subparcela) em intervalos regulares de tempo pré-determinados correspondendo aos 15; 30; 45; 60; 90 e 120 dias após a deposição dos mesmos no campo.

Após cada coleta, as bolsas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 55^\circ\text{C}$, por 75 horas, em seguida, o material vegetal remanescente foi pesado em balança semi-analítica. Posteriormente, foram triturados em moinho de facas tipo *willey*, equipado com peneira de 20 mesh.

As determinações dos teores de N total presente nos tecidos vegetais das plantas de cobertura foram realizadas conforme metodologia descrita em Embrapa (1999). Para estimativa de liberação de N pelas plantas de cobertura foi calculada pela diferença nos teores de N do tempo zero em relação aos demais períodos coletados a campo.

A quantidade de C orgânico foi analisada seguindo indicações do método de Yeomans e Bremner (1988), com algumas modificações. Utilizou-se 0,1 grama de tecido vegetal, seco e moído, colocado em tubo de ensaio, onde foram acrescentados 10 ml (pipetados) de solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,337M e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Em bloco digestor pré-aquecido por 30 minutos a 150°C foram colocados os tubos de ensaio com as amostras, sendo depositadas sobre cada

tubo, esferas de vidro para evitar perdas de gases por volatilização, permanecendo no bloco digestor por 30 minutos sob mesma temperatura. Após a digestão as amostras foram transferidas para erlenmeyers de 250 ml, foram adicionados 2 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) (puro) e 4 a 5 gotas de indicador difenilamina 1% (diluído em H_2SO_4 concentrado), sendo as amostras tituladas com sulfato ferroso (0,5M).

3.3.2 Análise de solo

Após o manejo das plantas de cobertura e semeadura do milho, foram realizadas coletas de solo aos 15; 30; 45; 60; 90; 120 dias, para acompanhamento dos teores de N-mineral na profundidade de 0-5 e 5-10 cm em cada tratamento. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados e levadas imediatamente para um *freezer*, permanecendo sob refrigeração, visando paralisar o processo de mineralização e nitrificação, desempenhado pelos microrganismos do solo.

Para preparo das amostras e realização das análises, as mesmas foram retiradas do *freezer* para descongelamento em temperatura ambiente. Posteriormente foi realizado a pesagem em duplicada de 5g de solo para cada tratamento, para determinação do N mineral do solo ($N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$), através do método Kjeldahl de extração com KCl 1 mol L^{-1} e destilação por arraste de vapores, após a adição de MgO e liga Devarda, conforme descrito por Tedesco et al. (1985), com algumas alterações propostas em Embrapa (2009).

Para determinação da umidade foi realizada pesando-se 50g de solo, os quais foram colocados em latas de alumínio e levadas para estufa de circulação de ar, sob temperatura de 105°C por 48 horas, para obtenção do peso seco.

3.3.3 Cultura do milho

As avaliações do teor relativo de clorofila nas folhas, foram realizadas aos 45, 60, 75 e 90 DAS, onde avaliou-se dez plantas por tratamento com clorofilômetro SPAD, modelo Minolta. Foi realizada uma leitura por planta na última folha completamente expandida, no seu terço final, na parte adaxial em ponto situado entre a margem e a nervura da folha. As leituras foram realizadas nos horários mais quentes (10:00 a 17:00) evitando-se horários de maior ocorrência de umidade sobre as folhas, geralmente início da manhã e após a ocorrência de chuvas.

A colheita do milho foi realizada de forma manual em uma área total de 4,5m² dentro de cada parcela, determinando o número de espigas por hectare (NEH). Posteriormente, as espigas foram passadas em debulhador elétrico, sendo realizada a pesagem da produção de grãos e determinado a umidade dos grãos através do método da estufa a 105 C° por 48 horas. O rendimento de grãos foi estimado por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para hectare, corrigindo-se para 13% de umidade.

3.3.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, os que não obedeceram esta condição foram transformados utilizando as equações $X = \text{Raiz } X$ e $X = \log(X)$, após, foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Skoott Knott a 5% de probabilidade, pelo programa computacional Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009). A MS remanescente das plantas de cobertura foi submetida à análise de regressão não linear, com decaimento exponencial, seguindo a equação matemática: $f = a \cdot \exp(-b \cdot x)$. E para a quantidade de N liberado, os valores observados foram aplicados ao modelo de regressão não linear tendendo ao máximo através da equação matemática: $f = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$, adotando-se como critério para escolha do modelo, a significância dos coeficientes da regressão e a magnitude dos coeficientes de determinação, utilizando o programa SigmaPlot 10.0. Para a determinação da quantidade de N liberado dos resíduos em função da decomposição foi realizada uma única análise de regressão simples entre os valores de N e MS remanescente para cada sistema de cobertura, dos períodos avaliados (T0-T7). Para os valores de MS e acúmulo de N foi realizado análise de correlação e posteriormente análise de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

4.1.1 Produção de matéria seca e acúmulo de N no tecido

Para definição dos índices (baixa, média e alta) de produção de matéria seca foi considerado a seguinte classificação, fabáceas: baixa $< 2 \text{ Mg ha}^{-1}$, média $2-3 \text{ Mg ha}^{-1}$, e alta $> 3 \text{ Mg ha}^{-1}$; poáceas: baixa $> 2 \text{ Mg ha}^{-1}$, média $2-4 \text{ Mg ha}^{-1}$, $> 4 \text{ Mg ha}^{-1}$. O nabo pode ser considerado como leguminosa de média produção para solos com $> 2,5\%$ MOS e produção de MS $> 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ e leguminosa de baixa produção para solos com $> 2,5\%$ MOS e produção de MS $< 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (SBCS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004; DE LIMA FILHO et al., 2014).

Não houve interação entre as plantas de cobertura do solo e adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do milho (180 kg ha^{-1}), sobre a produção de matéria seca e acúmulo de N (Tabela 1).

Tabela 1- Produção de matéria seca (MS) e nitrogênio total (N) acumulado na parte aérea das plantas de cobertura hibernais, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	PRODUÇÃO MS	N ACUMULADO
	----- Mg ha^{-1} -----	----- N kg ha^{-1} -----
Aveia	7,5 a*	89,3 a
A+E	6,8 a	104,3 a
A+E+N	6,7 a	105,6 a
Nabo	3,8 b	56,4 b
Tremoço Azul	1,2 c	31,2 c
Centeio	7,2 a	81,4 a
Azevém	3,4 b	52,3 b
Ervilhaca	2,4 c	67,4 b
CV (%)	19,96	23,92
ADUBAÇÃO NITROGENADA		
0 N	4,8 ns	69,2 b
180 N	4,9	77,7 a
CV (%)	16,03	20,81

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott ($P < 0,05$).

ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott ($P < 0,05$).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Para a produção de MS houve variação entre os diferentes sistemas de plantas de cobertura hibernais cultivadas no 5º ano de condução do experimento, com rendimentos médios de 2,4 a 7,5 Mg ha⁻¹ para a ervilhaca e aveia preta, respectivamente (Tabela 1). A elevada produção de MS da aveia, sendo 212,5% superior a produção da ervilhaca, pode ser atribuída a alta capacidade de perfilhamento e rusticidade (CARVALHO et al., 2010). Ressalta-se, que durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de cobertura as condições climáticas de precipitação mensal e temperatura apresentaram-se adequadas (Figura 1).

A produção de MS da aveia obtidos por Ziech et al. (2015) e Ziech (2016) para os anos de 2010 a 2015 em mesma área experimental foram de 3,0; 4,7; 6,6; 4,5 e 4,8 Mg ha⁻¹ respectivamente. Estes resultados, indicam que no decorrer dos anos a aveia apresentou aumento na sua produção de MS, por sua vez, a ervilhaca que manteve sua produção de biomassa da parte aérea variando entre 2,4; 2,0; 3,0; 3,0 e 2,1 Mg ha⁻¹ para os mesmos anos. Possivelmente este resultado pode estar atrelado a maior eficiência das poáceas em utilizar o N presente no solo, que aumenta com a estabilização do SPD.

A elevada produção de MS proporcionada pelo centeio serrano (7,2 Mg ha⁻¹) é característica desta cultivar, devido a elevada rusticidade as diversas condições edafoclimáticas, sendo considerado o mais eficiente entre os cereais de inverno no aproveitamento da água, podendo produzir até 10,7 Mg ha⁻¹ de MS (SANTOS et al., 2006).

Verifica-se que a produção de MS dos consórcios A+E+N e A+E, foi estatisticamente igual aos sistemas com poáceas (excetuando o azevém), sendo ainda 78% superior ao nabo solteiro, e, quando comparado a ervilhaca, os consórcios chegam a produzir 181% a mais de MS. Produções de MS altas de aveia e consórcios, A+E+N e A+E (8,3, 6,4 e 5,2 Mg ha⁻¹) também foram relatadas em trabalhos de Cherubin et al. (2014), no entanto, com altas produções para a ervilhaca (7,2 Mg ha⁻¹).

A alta produção de MS dos consórcios deve-se a diversidade de culturas que proporcionam melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior ciclagem de nutrientes, rápida cobertura do solo (ZIECH et al., 2015), diminuição da ocorrência de pragas e doenças, melhor controle das invasoras, menor sensibilidade a estresses climáticos (AMADO et al., 2014).

A produção média de MS proporcionada pelo azevém e pela ervilhaca, pode estar relacionada ao fato de apresentar um ciclo de desenvolvimento mais longo em

relação aos demais sistemas, em que, no momento da coleta do material vegetal a campo, estes apresentavam-se em início do florescimento.

O tremoço branco apresentou baixa quantidade de biomassa aportada (Tabela 1), esse resultado deve-se a problemas na emergência devido à baixa viabilidade das sementes utilizadas, aliado a ocorrência da ressemeadura mais tardia (20 dias), ocasionando redução do seu ciclo de desenvolvimento, associado ao ataque de formigas, pois era o material mais atrativo entre os sistemas a campo.

Para efeito da discussão dos resultados do presente trabalho, deve-se levar em consideração que a produção média de MS do tremoço dos últimos cinco anos de condução do experimento (2010-2015) que é de 3 Mg ha⁻¹, sendo seu acúmulo de nitrogênio, estatisticamente inferior somente ao da ervilhaca e igual aos consórcios A+E e A+E+N (DAHLEM, 2013; ZIECH, 2016). Desse modo, a discussão dos resultados referentes ao teor de N-NO₃⁻, NH₄⁺, índice SPAD, e produtividade de grãos de milho para o sistema utilizando o tremoço, levam em consideração os resultados médios apresentados dos anos anteriores (2010-2015), os quais proporcionaram uma “memória residual” nos atributos do solo.

A média produção de MS apresentada pelo nabo de 3,8 Mg ha⁻¹ em sucessão ao cultivo de milho é próxima daquela encontrada por Giacomini et al. (2003), que verificaram valores de 5,5 Mg ha⁻¹ para o nabo cultivado em sucessão a soja, sendo esta produção 65 a 75% superior ao encontrado sobre a palhada de milho em um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. Desse modo, as menores produções de MS verificadas para o nabo em sucessão à poácea é decorrente da imobilização microbiana do N, devido a elevada relação C/N do milho.

Rossato (2004) avaliando o potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro, intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto, verificou que o nabo cultivado após o milho sem adubação nitrogenada apresentou produção de 3,7 Mg ha⁻¹ MS, acúmulo de N 50 kg ha⁻¹ e relação C/N de 27. Quando o nabo foi cultivado sobre a dose residual de 180 kg ha⁻¹ de N, apresentou produção de 4,8 Mg ha⁻¹ MS, acúmulo de 98 kg ha⁻¹ de N e relação C/N de 21.

Quanto o acúmulo de N entre os sistemas de cobertura testados, as maiores quantidades acumuladas são apresentadas pelos consórcios (A+E+N e A+E), aveia e centeio, variando de 105,6 a 81,4 kg ha⁻¹, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 1).

A utilização dos consórcios A+E e A+E+N proporcionaram elevado acúmulo de N na parte área (104,95 kg ha⁻¹), sendo 86% e 56% superior ao obtido pela utilização do

nabo e ervilhaca de forma solteira. Esta quantidade representa 49 e 38 kg ha⁻¹ a mais de N acumulado nos tecidos da biomassa, respectivamente.

O acúmulo de N nos tecidos está altamente correlacionado com a produção de MS (Anexo 5), exceto para o nabo e centeio, onde o coeficiente de determinação e correlação não apresentaram significância, para as demais, quanto maior a produção de MS maior o acúmulo de N no tecido. A concentração de N pode variar de 2,4 a 4,3% nos tecidos de fabáceas, de 1 a 2% nas poáceas, e entre 2 a 2,5% brássicas (ZIECH, 2015; DAHLEM, 2013; DE LIMA FILHO et al., 2014). Segundo Rosato (2004) o nabo se mostra muito dependente da disponibilidade de N no solo, a cultura que antecede, a adubação fornecida e ao tempo de cultivo da cultura (ciclo).

A quantidade elevada de N nas fabáceas é atribuída a eficiência na fixação biológica de N₂ (SILVA et al., 2008), que proporciona uma concentração maior desse elemento em seus tecidos. Para a aveia a quantidade total de N acumulado é atribuída a grande capacidade de extração do N mineral do solo, proveniente da MO ou da adubação mineral, aliado ao seu crescimento que proporciona elevadas produções de MS.

Considerando que a concentração de N no tecido da ervilhaca é de 2,8%, a quantidade de MS a ser produzida pela aveia com 1,2% de N, teria que ser 133% superior a produção de MS da ervilhaca para se ter a mesma quantidade de N acumulado no tecido. Enquanto que para o nabo com 2% de N no tecido, essa quantidade cai para 67% (Tabela 1). Resultados que justificam a importância em maior grau das fabáceas e em menor das brássicas para justificar a quantidade total de N acumulada nos consórcios.

Quanto ao acúmulo de N na biomassa das plantas de cobertura, em relação as doses de N mineral aplicadas no milho, houve diferença significativa, sendo observado aumento médio de 12,3%, no conteúdo deste nutriente na MS das plantas cultivadas sobre a dose 180 kg ha⁻¹, possivelmente devido a constante ciclagem do N oriundo da palhada residual do milho, que é absorvido pelas plantas de cobertura mantendo-o no sistema.

4.1.2 Relação C/N

Para a relação C/N dos tecidos, houve interação significativa entre os sistemas de cobertura e a adubação nitrogenada (Tabela 2), indicando que esta característica

bromatológica pode apresentar maior sensibilidade as variações na disponibilidade de N no solo.

Tabela 2- Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada para relação C/N da matéria seca, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	ADUBAÇÃO NITROGENADA		MÉDIA
	0 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹	
	-----RELAÇÃO C/N-----		
Aveia	39 aA	31 aB	35 b
A+E	27 cA	27 aA	27 c
A+E+N	28 cA	25 aA	26 c
Nabo	32 cA	23 bB	28 c
Tremoço Azul	20 dA	13 cB	17 d
Centeio	45 aA	33 aB	39 a
Azevém	27 cA	29 aA	28 c
Ervilhaca	13 dA	15 cA	14 d
MÉDIA	28	25	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott ($P < 0,05$). A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p < 0,05$ e $0,01$ respectivamente.

Para relação C/N houve efeito residual da dose de 180 kg ha⁻¹ aplicados em cobertura na cultura do milho proporcionando redução da relação C/N da aveia, nabo, centeio e tremoço em 26, 39, 36 e 54% respectivamente, em relação aos valores obtidos sobre a ausência de N mineral (Tabela 2). Segundo resultados de Ziech (2016) o conteúdo de carbono nos tecidos das plantas é pouco variável, situando-se na faixa de 39% a 45%, e o suprimento do N residual do milho pode favorecer o maior teor de nitrogênio nos tecidos destas plantas.

Para o nabo houve uma redução de 39% da relação C/N devido ao efeito do N residual aplicado em cobertura na cultura do milho. No entanto, observa-se que a relação C/N do nabo cultivado sobre o milho sem adição de N mineral, é alta (32), quando comparada ao obtidos por outros autores como Doneda et al., (2012) que obteve relação C/N de 17, e Ziech, (2016) que em três anos de avaliação encontrou valores de 21, 19 e 20.

Segundo Rosato (2004) o nabo se mostra muito dependente da disponibilidade de N no solo, a cultura que antecede, a adubação fornecida e ao tempo de cultivo da cultura (ciclo). Apesar de o nabo ter como principal característica a elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, contribuindo para o aumento da disponibilidade de N no solo

(GIACOMINI et al., 2004), o seu cultivo durante cinco anos consecutivos em sucessão ao milho sem adubação nitrogenada, pode ter propiciado a redução dos teores de N do solo em decorrência de só ocorrer exportação pelos grãos e não ocorrer adubação de manutenção, podendo ser um dos motivos para justificar a maior relação C/N dos tecidos desta cultura.

Este comportamento de aumento da relação C/N não é verificado quando se realiza o consórcio de poáceas e brássicas com uma fabácea, pois há incorporação do N₂, externo ao sistema através da FBN, evidenciando a importância de quando for realizada a consorciação de espécies, uma delas pertencer a família das fabáceas.

Para as médias da relação C/N, ou quando os sistemas de cobertura são cultivados sobre o milho na ausência de N mineral, valores intermediários são verificados com a utilização dos consórcios A+E+N (25) e A+E (27). Segundo Heinrichs et al. (2001), a relação C/N quando se realiza a consorciação varia de acordo com a proporção da espécie predominante e, quando a consorciação foi realizada utilizando a proporção de 75% aveia + 25% ervilhaca obteve relação C/N de 27. Embora a proporção utilizada no presente trabalho foi de 60% aveia + 40% ervilhaca, a participação da ervilhaca na biomassa final foi de apenas 14%, afetando sensivelmente a relação C/N final, corroborando com relatos de Ziech et al. (2015).

Entre os sistemas solteiros a menor relação C/N foi apresentada pela ervilhaca (14), enquanto as maiores para centeio (39) seguido da aveia (35). O cultivo de ervilhaca solteira é caracterizado pela rápida decomposição e liberação de N, apresentando maior potencial de perdas de N por lixiviação do que quando comparado ao seu cultivo consorciado (AITA et al., 2004), já o cultivo de poáceas solteiras devido a elevada relação C/N provoca imobilização temporária do N presente no solo, porém maior tempo de permanência dos resíduos para proteção do solo (ZIECH et al., 2015).

Vários trabalhos verificaram que a utilização dos consórcios proporciona uma relação C/N intermediária em torno de 25 (AMADO et al., 2001; DAHLEN, 2013; ZIECH et al., 2015), valor este, considerado próximo ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização.

4.1.3 Liberação de Nitrogênio

A dinâmica de liberação do N contido na biomassa é um processo dinâmico e mediado pela ação de microrganismos que utilizam compostos orgânicos como fonte de

energia e principalmente sofrendo fortes influências das condições edafoclimáticas e características intrínsecas dos resíduos (CARVALHO et al., 2011). Segundo Ziech (2016), que avaliou a decomposição da MS e liberação de N em um período de três anos, a dinâmica de liberação do N sofre grandes variações em função das precipitações pluviométricas.

É válido salientar que o nitrogênio liberado pelas plantas de cobertura, não expressa a real disponibilização deste elemento para a cultura do milho em sucessão, pois pode ocorrer lixiviação, volatilização e imobilização pelos microrganismos do solo.

As precipitações ocorridas logo nos primeiros dias após a deposição dos resíduos a campo, possibilitaram a rápida taxa de decomposição inicial dos tecidos, (Anexo 2), o qual apresenta uma correlação direta com a liberação de N (Anexo 4) acarretando no aumento da quantidade de N liberado com aumento da taxa de decomposição dos resíduos.

A liberação de N nos primeiros quinze dias após a deposição dos resíduos vegetais a campo apresentou-se elevada (Figura 4) em função das precipitações ocorridas logo após a deposição das bolsas de decomposição a campo (Figura 2). Sendo que as maiores liberações neste período foram proporcionadas pelo consórcio A+E+N, ervilhaca e centeio com liberação de 33,9; 33 e 31,2 kg ha⁻¹, fornecimento que representa 62, 84, e 93% do nitrogênio liberado por estes sistemas de cobertura durante todo o período de avaliação (120 dias) (Anexo 1).

Figura 4- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. A+E+N=Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhca. **, * significativo a $p<0,05$ e $0,01$ respectivamente.

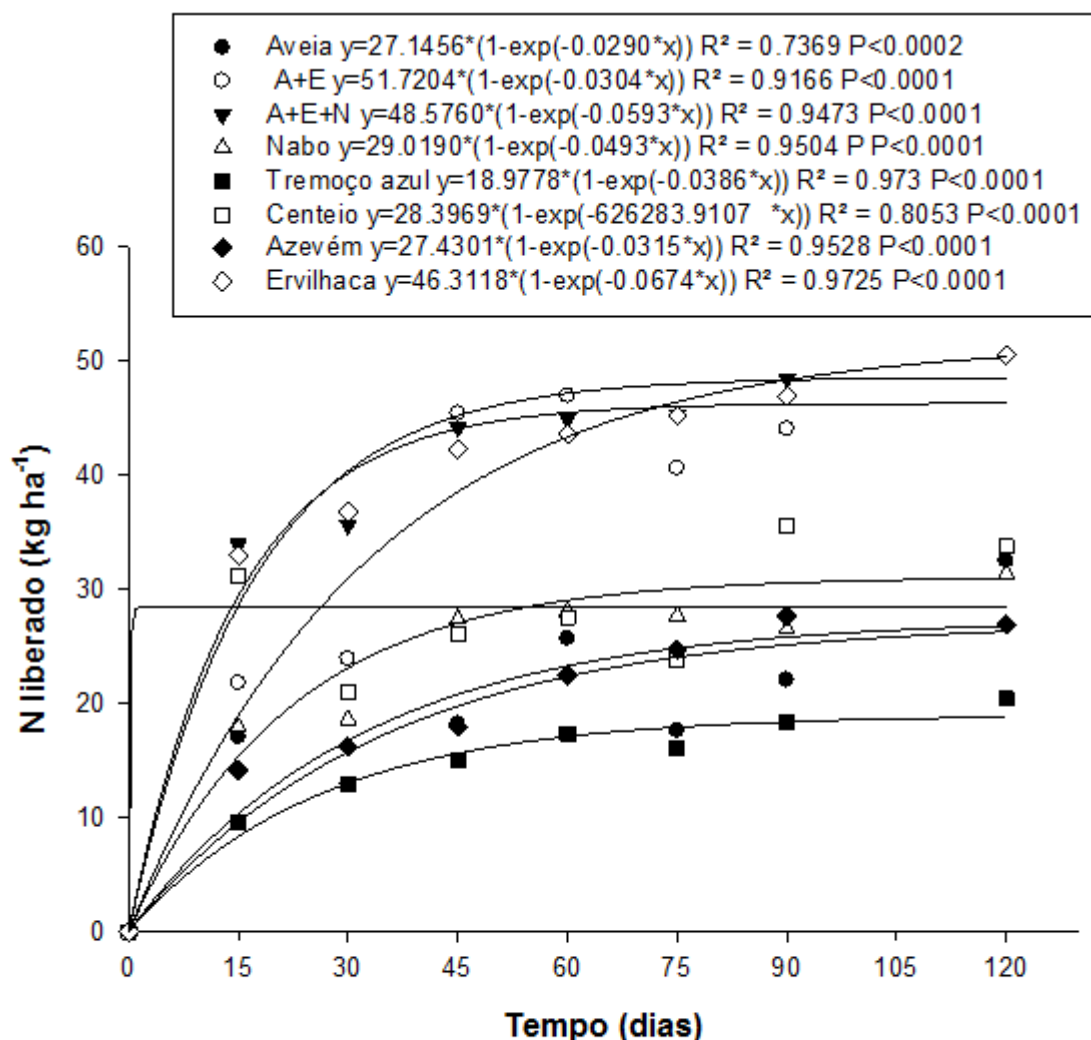


Figura 4- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. A+E+N=Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhca. **, * significativo a $p<0,05$ e $0,01$ respectivamente.

A alta quantidade de N liberado pelo centeio nos primeiros 15 DAS, pode estar associada a maior proporção de folhas em relação aos colmos (observação visual), ocorrido em função da grande quantidade de MS produzida por esta espécie (Tabela 1).

Apesar de o centeio apresentar alta percentagem de liberação inicial de N, a contribuição em quantidade fornecida deste nutriente foi de apenas $35,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ao longo dos 120 dias, enquanto que para os sistemas com A+E, A+E+N e ervilhaca essa

quantidade foi de 54,8; 55,0 e 50,5 kg ha⁻¹, respectivamente, ao longo dos 120 dias (Anexo 1).

Observa-se que os sistemas A+E, A+E+N e ervilhaca apresentaram as maiores quantidades N liberadas para o milho em sucessão em todas as épocas de avaliação, apenas não diferenciando do centeio aos 15 DAS, contribuindo com uma liberação acumulada de N aos 45 DAS de 45,4; 44,2 e 42,3 kg ha⁻¹ respectivamente, quantidades estas, representam 83, 80 e 87% do total de N disponibilizado ao longo dos 120 dias de avaliação da liberação do nutriente pelos resíduos dos sistemas de cobertura do solo.

Este período até os 45 DAS que apresenta maior liberação de N por estes sistemas de cobertura se adequa a uma das fases mais críticas na demanda de N pela cultura do milho para definição da produtividade, que ocorre entre V4 e V6 DAS, onde são necessários em torno de 30-50 kg ha⁻¹ de N (YAMADA; ABDALLA, 2000), aplicados via fertilizantes químicos, para suprir as exigências da cultura, afim de possibilitar adequada formação e diferenciação floral.

A quantidade de N disponibilizada pelos sistemas de cobertura compostos por A+E+N, A+E e ervilhaca, equivale a aplicação de aproximadamente 100 kg de ureia/ha⁻¹, e apresentam como vantagem a melhor eficácia na utilização quando comparada a aplicação da ureia em cobertura, podendo suprir parcial ou totalmente a demanda de N pela cultura do milho (ZIECH et al., 2015).

A liberação de N por Mg ha⁻¹ de resíduo decomposto ao longo do período de avaliação do experimento variou de acordo com os sistemas de cobertura (Tabela 3), onde a utilização da ervilhaca e tremoço apresentam liberação de 29 e 24,5 kg de N Mg ha⁻¹ respectivamente, enquanto o consórcio triplo apresenta liberação de 14,3 kg de N Mg ha⁻¹, sendo semelhante aos resultados obtidos com liberação do nabo forrageiro com 14,3 kg de N Mg ha⁻¹ de tecido decomposto.

Comparando o equilíbrio entre a MS remanescente aos 120 dias (Anexo 2) e liberação de N (Anexo 1), observa-se que A+E+N e A+E são os sistemas que apresentam as melhores condições tanto de proteção do solo, com manutenção de mais de 2,6 Mg ha⁻¹ de resíduos sobre a superfície do solo, para ambos os sistemas, como de liberação de N para a cultura do milho com 55,0 e 54,8 kg de N liberados ao longo dos 120 dias de avaliação.

Tabela 3- Regressão e Correlação entre liberação de N em função da decomposição dos resíduos vegetais para cada espécie de planta de cobertura. Safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

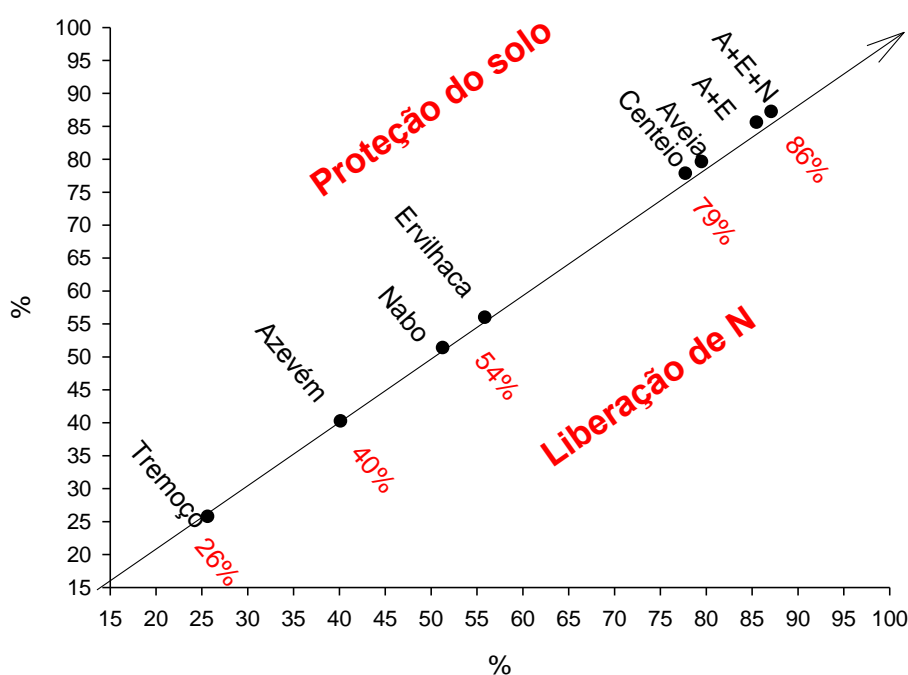
Sistemas de cobertura	kg N /Mg ha ⁻¹ de resíduo decomposto	Regressão* r	Correlação R ²
Centeio	5,8	0,43	0,65
Aveia	9,5	0,56	0,75
Azevém	10,2	0,87	0,94
A+E	11,8	0,78	0,88
Nabo	14,3	0,79	0,89
A+E+N	14,3	0,78	0,88
Tremoço	24,5	0,74	0,86
Ervilhaca	29,0	0,91	0,95

A+E+N =Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca.

* Anexo 4.

E quando verificado a média das % de liberação de N e MS remanescente em relação às máximas dessas variáveis obtidas com os sistemas de coberturas analisados, verifica-se que estes sistemas apresentam na média 87% da liberação máxima de N (55 kg ha⁻¹) e da máxima proteção do (3,5 Mg ha⁻¹ MS) verificada sobre estes sistemas até os 120 dias de avaliação (Figura 5).

Figura 5- Esquema teórico para análise de equilíbrio entre liberação e proteção do solo ao longo dos 120 dias de avaliação, considerando a maior liberação de N (55 kg ha⁻¹) e maior quantidade de MS remanescente no solo (3,5 Mg ha⁻¹) ao final de 120 dias de avaliação como 100%, considerando-se a média dos resultados das %. Safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.



A utilização de consórcios entre espécies de poáceas e fabáceas e/ou brássicas tem se mostrado uma estratégia eficiente, pois a decomposição e liberação de nutrientes ocorre em sincronia com a demanda do milho (DONEDA et al., 2012), além de proporcionar maior tempo de proteção do solo, devido a rápida cobertura do solo e menor taxa de decomposição após o manejo, proporcionado pela poácea (ZIECH et al, 2015) atendendo os aspectos conservacionistas e melhorando a sustentabilidade do SPD.

Estes resultados evidenciam a necessidade de se consorciar espécies de fabáceas com elevada fixação de nitrogênio e rápida decomposição dos resíduos em superfície, com outras espécies de elevada relação C/N. Pois além da elevada adição de MS (Tabela 1) e quantidade total de N acumulada, proporcionam uma relação C/N intermediária (Tabela 2), melhorando a proteção do solo contra os agentes erosivos e possibilitando uma melhor aproveitamento do N pela cultura em sucessão.

5.2 NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO

5.2.1 N nítrico (NO_3^-)

Os resultados para o N-mineral na forma de N-NO_3^{-1} (N nítrico) para a profundidade de 0-5cm de profundidade, coletados juntamente com a avaliação de decomposição e liberação de N dos tecidos, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura milho, estão apresentados na (Tabela 4)

Verifica-se que há respostas significativas da utilização das plantas de cobertura na disponibilidade de N nítrico na profundidade de 0-5 até 60 DAS da cultura do milho. Em avaliações realizadas por Dahlem (2013), quando o experimento estava no segundo ano de implantação (safra 2011/12), verificou que a utilização das plantas de cobertura influenciou a disponibilidade de N nítrico na camada de 0-5 cm, somente aos 15 DAS após a semeadura da cultura do milho. Justificando para tal, o pouco tempo de uso das plantas de cobertura no sistema, as quais ainda não haviam agregado resultados quanto as diferenças no solo, tendo em vista que as melhorias ocorreram com a estabilização do sistema de plantio direto, que para alguns autores ocorre de 3-5 anos de condução do sistema.

Tabela 4- Evolução da disponibilidade de N-NO₃⁻ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹													
	15		30		45		60		75		90		120	
Aveia	43,6	c	29	b	55,7	b	65,6	c	25,5	ns	28	ns	37	ns
A+E	118,9	a	80,5	a	66,2	b	82,5	c	23,4		42		35,7	
A+E+N	92,6	b	74,8	a	191	a	84,4	c	34,2		48,9		44,5	
Nabo	90	b	66,9	a	171,6	a	72,4	c	28,8		41,7		25,7	
Tremoço	55,3	c	51,6	a	194,8	a	125,9	b	39,4		45,2		36	
Centeio	54,1	c	26,9	b	82,2	b	80,8	c	31,1		38,7		34,4	
Azevém	40,2	c	37,7	b	117,5	a	106,4	b	27,9		25,8		29,1	
Ervilhaca	144,9	a	99,5	a	171	a	163,4	a	42,5		36,5		47,6	
CV (%)	17,78		16,81		16,12		11,89		43,49		9,81		16,8	
ADUBAÇÃO NITROGENADA														
0 N	64,7	b	47,8	b	81,5	b	49,9	b	25,3	b	33,4	b	35,4	ns
180 N	95,2	a	69	a	181	a	145,5	a	37,9	a	43,3	a	36	
CV (%)	13,47		24,48		11,86		13,87		22,6		8,35		16,11	

*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott (P<0,05). ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Para Aita et al. (2004) que avaliou a dinâmica do N mineral em cultivo consorciado de plantas de cobertura (fabáceas, brássicas e poáceas) no outono/inverno durante os anos de 1998/99 e 1999/00, em Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. Verificou que as diferenças na disponibilidade de N no solo entre os tratamentos, ocorreram entre 42 e 56 dias após o manejo das plantas de cobertura para os respectivos anos avaliados, sendo que a partir dessas datas houve uma redução na disponibilidade N mineral, que atribui ao aumento da demanda de N pela cultura do milho e diminuição da taxa de liberação de N pelos resíduos das plantas de cobertura.

No presente trabalho, considerando a época de manejo, as diferenças ocorrem até os 77 dias após o manejo das plantas de cobertura (60 DAS), com redução na disponibilidade de N nítrico, na avaliação realizada aos 75 DAS que equivale a 92 dias após o manejo das plantas de cobertura.

Para Vaughan et al. (2000) os resultados foram semelhantes aos encontrados por Aita et al. (2004) onde as diferenças para N mineral ocorreram até os 42 dias após o manejo das plantas de cobertura.

Aos 15 DAS da cultura do milho e fase inicial de decomposição dos resíduos (Tabela 4), verifica-se que os tratamentos com ervilhaca e consórcio A+E, apresentam as maiores quantidades de N nítrico prontamente disponível a cultura do milho, com 144,9 mg kg ha⁻¹ e 118,9 mg kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻ respectivamente, diferindo-se dos demais sistemas.

No entanto, para o consórcio A+E+N (92,6 mg N-NO₃⁻ kg) a sua disponibilidade inicial foi 22% (26 mg N-NO₃⁻ kg) menor em relação ao consórcio A+E, resultado que pode ter sido influenciado pela menor participação de ervilhaca (8%) na produção de MS final quando comparado ao consórcio A+E (14%). Para Aita et al. (2004), a disponibilidade de N mineral no solo durante a decomposição dos resíduos culturais dos consórcios entre aveia e ervilhaca é proporcionada pela proporção da leguminosa no consórcio, que por sua vez, determina o balanço entre os processos de mineralização e imobilização.

Na avaliação aos 30 DAS do milho, a utilização dos sistemas consorciados A+E e A+E+N, fabáceas e brássicas apresentam as maiores disponibilidades de N nítrico no solo com 74,66 mg N-NO₃⁻ kg, quantidade 139% superior ao proporcionado com a utilização os sistemas com poáceas que apresentaram em média 31,2 mg N-NO₃⁻ kg (Tabela 4).

Verifica-se que as utilizações dos consórcios A+E e A+E+N proporcionam disponibilização de N nítrico semelhante a utilização de fabáceas e brássicas cultivadas de forma solteira. Desta forma a quantidade de N que é liberada por estes sistemas e está prontamente disponível a cultura do milho durante a fase inicial de desenvolvimento na forma de N nítrico se assemelha às exigências verificadas por Yamada e Abdalla (2000), que implicam na necessidade de disponibilidade de pelos menos 30 a 50 kg ha⁻¹ de N, para suprir as exigências da cultura a fim de possibilitar adequada formação e diferenciação floral.

Para as doses de N verifica-se que a adubação nitrogenada na dose de 180 kg ha⁻¹ utilizada em cobertura na cultura do milho na safra anterior a avaliação, proporciona maior disponibilidade de N nítrico, nas datas de avaliações anteriores a aplicação de N mineral, sendo que aos 15 e 30 DAS apresentam disponibilidade de 30,2 mg NO₃⁻ kg⁻¹ (43%) 21,2 mg NO₃⁻ kg⁻¹ (44%) a mais em relação aos sistemas de cobertura que não receberam adubação nitrogenada (Tabela 4).

As maiores concentrações de N nítrico nas épocas anteriores a aplicação de N mineral ocorre possivelmente devido a constante ciclagem do N oriundo da palhada

residual do milho, que é absorvido pelas plantas de cobertura mantendo-o no sistema (DAHLEM, 2013) o que resulta em uma menor relação C/N (Tabela 2) das plantas de cobertura, e maior acúmulo de N nos tecidos destes sistemas de coberturas de acordo com resultados médios de três anos (2013, 2014 e 2015) de avaliação, verificados por Ziech (2016), em trabalho realizado na mesma área experimental.

Para as épocas de avaliação posteriores a aplicação do N mineral em cobertura, observa-se que as concentrações de N nítrico se apresentam acentuadamente maiores, sendo que após a aplicação de N mineral aos 45 DAS o aumento máximo na disponibilidade de N nítrico chega a 181,1 mg NO₃⁻ kg⁻¹, quantidade 122% a mais que os sistemas não adubados com ureia (81,5 mg NO₃⁻ kg⁻¹) (Tabela 4).

Na avaliação aos 60 DAS os sistemas adubados apresentam redução da disponibilidade para 144,5 mg NO₃⁻ kg⁻¹, enquanto os sistemas que não receberão adubação nitrogenada apresentam redução 49,9 mg NO₃⁻ kg⁻¹, momento de máxima amplitude entre sistemas adubados e não adubados para a disponibilidade de N nítrico com diferença de 192%, ocorrida em função de a maioria dos sistemas de cobertura apresentarem máxima liberação de N até os 45 DAS reduzindo nas avaliações subsequentes (60; 75; 90 e 120 DAS) (Anexo 1).

Para as avaliações aos 75 e 90 DAS, as diferenças tendem a diminuir entre os sistemas adubados e não adubados para 50 e 30% respectivamente e na última avaliação realizada aos 120 DAS a disponibilidade de N nítrico entre sistemas de cobertura se igualam (Tabela 4).

A aplicação de N provocou efeito imediato na disponibilização do N nítrico na camada de 0-5 cm aos 45 DAS, sendo que somente aos 120 DAS, que equivale a 83 dias após a aplicação de N mineral, a disponibilidade de N nítrico no solo dos sistemas que receberam adubação nitrogenada se iguala aos sistemas que não receberam aplicação de N mineral (Tabela 4).

Para Dahlem (2013), a aplicação de fertilizante nitrogenado aos 33 DAS resultou em aumento de 36,7% (6,2 mg NO₃⁻ kg⁻¹) na disponibilidade de N nítrico aos 45 DAS, em relação aos sistemas que não receberam adubação nitrogenada, porém para as demais épocas de avaliação 60 e 90 DAS, não verificou respostas significativas para as doses de N mineral.

Para a interação entre as plantas de cobertura e doses de N mineral para a disponibilidade de N nítrico na profundidade de 0-5 cm, os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Médias das interações das concentrações de $N-NO_3^-$ no solo, aos 45, 60 e 75 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5 cm, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTU RA	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)											
	45				60				75			
	ADUBAÇÃO NITROGENADA				ADUBAÇÃO NITROGENADA				ADUBAÇÃO NITROGENADA			
	0 N		180 N		0 N		180 N		0 N		180 N	
		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		
Aveia	17,4	cB*	93,9	bA*	57,9	aA*	73,4	cA*	13,8	bB*	37,2	bA*
A+E	41,2	bB	91,3	bA	37,4	aB	127,6	cA	21,2	bA	25,5	bA
A+E+N	73,4	aB	308,6	aA	55,4	aB	113,6	cA	25,5	bB	42,9	aA
Nabo	116,3	aB	226,9	aA	54,1	aB	90,6	cA	27,8	bA	29,8	bA
Tremoço	155,8	aB	233,8	aA	27,9	aB	223,8	aA	24,8	bB	54	aA
Centeio	47,2	bB	117,2	bA	68,8	aA	92,8	cA	25,3	bA	37	bA
Azevém	110	aA	125	bA	43,6	aB	169,2	bA	22,9	bA	32,9	bA
Ervilhaca	90,7	aB	251,3	aA	53,8	aB	273	aA	41,4	aA	43,6	aA

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Analisando os resultados pode-se verificar que os sistemas de cobertura que apresentam menor relação C/N, tendem a apresentar maiores diferenças nos teores de N nítrico no solo, pois as parcelas destes sistemas que receberam adubação nitrogenada já apresentam teores N nítrico elevados e, no caso da ervilhaca esses teores já seriam suficientes para atender as exigências do milho, sendo assim o N que é aplicado na cultura do milho é absorvido de acordo com o déficit provocado pelo sistema de cobertura que antecede a cultura comercial, ou seja, no sistema com ervilhaca o N que é aplicado permanece no solo, pois o milho já apresenta suas exigências totalmente atendidas; resultados que são confirmados quando verificamos os valores de índice spad no desdobramento da interação (Tabela 12), onde os sistemas com ervilhaca não apresentaram diferenças para os valores de índice spad na ausência da adubação nitrogenada sendo equivalentes aos teores obtidos quando se aplica 180 kg ha⁻¹ de N mineral e, também segue a mesma tendência para desdobramento da interação para produtividade (Tabela 13) onde a utilização da ervilhaca sem adubação nitrogenada é equivalente a utilização da dose de 180 kg ha⁻¹. Neste caso a aplicação do N em sucessão a plantas de cobertura com elevada disponibilização de N pode potencializar as perdas do N por lixiviação.

Para as plantas de elevada relação C/N ocorre o efeito contrário, onde ambos os tratamentos adubados e não adubados tendem a apresentar equivalentes ou menores diferenças para a disponibilidade de N nítrico no solo após adubação, nestes sistemas as exigências da cultura não estão supridas e quando da realização da adubação nitrogenada a maior parte do N aplicado é absorvido pelas plantas de milho para satisfazerem suas exigências, ou parte é imobilizado pelos microrganismos do solo, deste modo os teores de N disponível no solo para os sistemas adubados tende a se igualar aos sistemas não adubados, com tendência a se tornar equivalentes para os sistemas de elevada relação C/N.

A hipótese também é confirmada quando verificados os resultados do desdobramento da interação para os valores de índice spad (Tabela 12) e o desdobramento da interação para a produtividade de grãos do milho (Tabela 13), onde os sistemas com elevada relação C/N na ausência da adubação nitrogenada apresentam os menores valores para os teores de clorofila e produtividade em comparação a seus respectivos sistemas que receberam adubação nitrogenada, ou seja, o N aplicado no solo foi absorvido pela cultura do milho aumentando os valores para os índices de clorofila resultando na maior produtividade de grãos.

Observa-se que a aplicação de N no milho cultivado em sucessão as poáceas é essencial para suprir a demanda de N pela cultura do milho, enquanto para os sistemas que apresentam relação C/N mais equilibradas com os consórcios A+E+N, A+E e nabo, a quantidade de fertilizante nitrogenado pode ser reduzido sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura em sucessão.

Deste modo, pode-se sugerir que quando obtemos as diferenças na disponibilidade de N nítrico no solo entre os sistemas adubados com ureia e sem ureia (somadas das diferenças das três avaliações 45, 60 e 75 DAS), estamos verificando quais os sistemas de cobertura que apresentam as maiores disponibilidades de N nítrico para a cultura do milho em sucessão, sendo agrupadas na seguinte ordem de forma decrescente de disponibilidade de N nítrico: Ervilhaca ($381,4 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), A+E+N ($310,8 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), tremoço ($303,1 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), nabo ($148,1 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), A+E ($145,5 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), Azevém ($140,61 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$), aveia ($115,4 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$) e centeio ($105,7 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$).

A ordem de disponibilidade verificada tende a apresentar o mesmo comportamento obtido para a relação C/N (Tabela 2) e liberação de N dos tecidos dos sistemas de cobertura para cada Mg de resíduo decomposto (Figura 5). A

disponibilidade do tremoço tende a ficar menor em relação a ervilhaca em função da baixa produção de MS (Tabela 1).

Para os a concentração de N nítrico na profundidade de 5-10 cm as diferenças entre os sistemas de plantas de cobertura ocorreram até os 75 DAS (Tabela 6), com interação entre as doses de N mineral e plantas de cobertura aos 45, 60 e 90 DAS da cultura do milho (Tabela 7).

Tabela 6- Evolução da disponibilidade de $N-NO_3^-$ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão às plantas de cobertura hibernais na profundidade de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	15		30		45		60		75		90		120	
	N-NO ₃ ⁻ mg kg													
Aveia	32,1	c	19,9	b	18,1	c	23,5	b	10,2	c	21,5	ns	31,2	ns
A+E	53,5	b	39	a	25,6	b	37,8	a	16,1	c	24,4		34,7	
A+E+N	46,1	b	35,8	a	20,3	c	30,2	b	23,3	b	24,1		37,4	
Nabo	65,1	a	43,4	a	21,7	c	58	a	18	c	23		30,7	
Tremoço azul	34,7	c	25,4	b	32,8	a	56,2	a	32,9	b	19,7		36,6	
Centeio	34,1	c	18,1	b	16	c	24	b	26,6	b	19,9		25,3	
Azevém	20,3	c	22,1	b	19	c	52,4	a	26,5	b	19,5		27,6	
Ervilhaca	64,3	a	50,6	a	25,3	b	37,3	b	47,5	a	27,1		40,5	
CV (%)	27,03		24,14		24,16		7,39		17,99		6,58		29,33	
ADUBAÇÃO NITROGENADA														
0 N	40,6	ns	31,7	ns	15,6	b	25,7	b	18,4	b	19,8	b	26	b
180 N	46,9		31,9		29,2	a	54,1	a	31,9	a	25	a	40	a
CV (%)	30,15		23,94		23,05		6,26		26,29		6,32		21,96	

*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott (P<0,05).

ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Aos 15 DAS do milho, verificou-se que a maior concentração de $N-NO_3^-$ foi proporcionada pelos sistemas com nabo e ervilhaca (Tabela 6). As maiores concentrações de N nítrico, verificadas quando da utilização destas espécies pode ocorrer para o nabo em função da queda precoce das folhas que são rapidamente decompostas e devido da baixa relação C/N da ervilhaca, liberando rapidamente o N os tecidos (Anexo 1) (em comparação aos outros sistemas de cobertura), o qual é convertido em amônia (NH₃), que em reação com a água forma amônio (NH₄⁺), sendo posteriormente oxidado a nitrato (NO₃⁻). O N na forma de $N-NO_3^-$ apresenta pouca

afinidade com a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), movendo-se no solo a uma velocidade de 0,5 mm a cada mm de chuva (SANCHEZ, 1976).

Considerando a precipitação de 112,2 mm de chuva ocorridos até os 15 DAS (Figura 2), a movimentação do N-NO_3^- no perfil do solo seria de 5,6 cm estando na segunda camada de avaliação, podendo justificar as maiores concentrações de N-NO_3^- para o nabo e ervilhaca na profundidade 5-10 cm aos 15 DAS, indicando que estes sistemas apresentam alta taxa de decomposição inicial com a liberação do nitrogênio logo após o manejo, acarretando em maiores riscos de perdas de N por lixiviação.

Em trabalho realizado por Aita et al. (2004), avaliando a dinâmica do N após a utilização de plantas de cobertura com variação na proporção de cada espécie, verificou que o potencial de perdas por lixiviação foi maior após a ervilhaca solteira do que após a aveia e o nabo solteiros e os consórcios de aveia e ervilhaca.

Para as doses de N na profundidade de 5-10 cm, as épocas de avaliação aos 15 e 30 DAS da cultura do milho não apresentaram diferenças para a concentração de N nítrico, possivelmente em função do SPD e dos sistemas de cobertura que receberam adubação nitrogenada, apresentaram zona de maior influência na camada de 0-5 cm.

Para as épocas de avaliação subsequente as aplicações de N mineral, verifica-se que aos 45 DAS a concentração de N nítrico nos sistemas adubados foi de $29,2 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$, incremento de foi de $13,6 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (87%). No entanto, a maior diferença na quantidade de N nítrico disponível no solo foi verificada aos 60 DAS da cultura do milho, onde os tratamentos que receberam aplicação de ureia apresentaram disponibilidade de N nítrico de $54,1 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ com incremento de $28,4 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (110%) em relação aos sistemas não adubados (Tabela 6).

Para as concentrações de N nítrico na profundidade de 5-10 cm verifica-se que há um “*delay*” entre o momento de aplicação e de aumento máximo dos valores de N nítrico nessa profundidade, que pode ser verificado com maior intensidade aos 60 DAS que equivale a 23 dias após a aplicação do N mineral, sendo a disponibilidade de N nítrico continua maior para os sistemas adubados (Tabela 6).

Nas avaliações realizadas aos 90 DAS, as diferenças entre os sistemas de cobertura que receberam adubação nitrogenada caem para $5,2 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (26%) e na avaliação aos 120 DAS, este valor aumenta para $14 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (54%) (Tabela 6), que podem ter ocorrido em função das elevadas precipitações ocorridas dos 75 aos 90 DAS aumentado a velocidade de lixiviação do N nítrico (Figura 2).

Os dados de desdobramento da interação entre plantas de cobertura e adubação nitrogenada para disponibilidade de N nítrico para a profundidade de 5-10 cm estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Médias interações das concentrações de N-NO₃⁻ no solo aos 45, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMA S DE COBERTU RA	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)											
	45		60				90					
	ADUBAÇÃO NITROGENADA		ADUBAÇÃO NITROGENADA				ADUBAÇÃO NITROGENADA					
	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N				
N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹				N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹						
Aveia	12,0	bB*	24,3	bA*	19,4	bA*	27,5	bA*	17,7	aA*	25,3	bA*
A+E	16,0	aB	35,2	aA	30,2	aB	45,4	bA	23,2	aA	25,6	bA
A+E+N	3,1	bB	37,4	aA	22,6	bB	37,7	bA	14,6	aB	33,7	aA
Nabo	16,1	aB	27,3	bA	41,7	aB	74,2	aA	27,8	aA	18,2	bB
Tremoço	27,2	aB	38,4	aA	28,5	aB	83,8	aA	21,0	aA	18,3	bA
Centeio	17,2	aA	14,8	cA	17,6	bB	30,5	bA	19,9	aA	20,0	bA
Azevém	10,7	bB	27,3	bA	24,5	bB	80,2	aA	15,8	aB	23,1	bA
Ervilhaca	22,1	aA	28,6	bA	20,8	bB	53,7	aA	18,6	aB	35,6	aA

*Médias seguida pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Como verificado no desdobramento da interação para a camada de 0-5 cm (Tabela 6), os dados tendem a apresentar um comportamento semelhante, onde a ordem decrescente dos sistemas de coberturas para a disponibilidade de N foram: Tremoço (118,4 mg NO₃⁻ kg⁻¹), Azevém (75,6 mg NO₃⁻ kg⁻¹), A+E+N (68,5 mg NO₃⁻ kg⁻¹), Ervilhaca (56,4 mg NO₃⁻ kg⁻¹), A+E (36,8 mg NO₃⁻ kg⁻¹), Nabo (34,1 mg NO₃⁻ kg⁻¹), Aveia (28 mg NO₃⁻ kg⁻¹) e Centeio (15,4 mg NO₃⁻ kg⁻¹).

No entanto, para profundidade de 5-10 cm, observa-se que a ervilhaca diminui sua disponibilidade de N nítrico no solo enquanto os teores passaram a ser mais elevados para o azevém. Este aumento dos teores de N nítrico para o azevém podem estar relacionados a sua maior liberação de N que ocorre entre 45 até os 90 DAS, onde a liberação acumulada de N neste período para o azevém é de 9,8 kg ha⁻¹ enquanto para a ervilhaca é de apenas 4,6 kg ha⁻¹ (Anexo 1).

Embora para a camada de 5-10 cm de profundidade a disponibilidade de N nítrico aos 45 DAS já se diferencia dos sistemas não adubados, o auge de

disponibilidade ocorre aos 60 DAS (Tabela 6), momento que coincide com o pico de liberação de N no solo no sistema com azevém (Anexo 1).

Apesar de o sistema com azevém apresentar disponibilidade de N equivalentes ao observado com a ervilhaca nos sistemas não adubados aos 45 e 60 DAS para a profundidade de 0-5 cm e aos 60 DAS para a profundidade de 5-10 cm, não há respostas para o aumento dos teores de clorofila (Tabela 12), indicando que a liberação de N em assíncrona com a demanda de N pelo milho resulta na concentração desse elemento no solo.

5.2.2 N amoniacal (NH_4^+)

A forma de N amoniacal apresentou resposta significativa ao uso de plantas de cobertura até os 45 DAS do milho na profundidade de 0-5 cm (Tabela 8).

Tabela 8- Evolução da disponibilidade de N-NH_4^+ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais nas profundidades de 0-5cm, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	15		30		45		60		75		90		120	
	N-NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹													
Aveia	12,1	b	8,7	b	5,0	c	30,8	ns	19,6	ns	14,0	ns	18,3	a
A+E	18,5	a	11,7	a	5,8	c	24,9		28,2		8,0		10,2	b
A+E+N	16,0	a	11,0	a	14,8	b	36,0		24,3		12,2		14,8	a
Nabo	10,9	b	8,2	b	12,2	b	30,0		21,6		7,7		8,0	b
Tremoço	7,1	b	9,0	b	53,8	a	25,54		27,0		8,2		6,7	b
Centeio	15,0	a	5,0	b	7,9	c	27,9		24,4		8,8		7,8	b
Azevém	9,9	b	5,3	b	25,0	b	25,7		33,8		6,5		8,6	b
Ervilhaca	18,3	a	13,1	a	9,7	c	23,6		26,3		9,7		10,1	b
CV (%)	30,99		38,51		22,22		29,49		14,62		27,24		21,83	

ADUBAÇÃO NITROGENADA														
0 N	14,3	ns	9,7	ns	7,2	b	27,8	ns	28,7	a	10,2	ns	12,9	a
180 N	12,7		8,3		26,4	a	28,3		22,7	b	8,6		8,3	b
CV (%)	22,94		34,25		15,30		22,14		18,31		28,88		27,36	

*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott ($P < 0,05$).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott ($P < 0,05$).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Onde na avaliação aos 15 DAS, a maior disponibilidade de N amoniacal foi verificada com a utilização da A+E (18,5 mg NH_4^+ kg^{-1}), A+E+N (16 mg NH_4^+ kg^{-1}), ervilhaca (18,3 mg NH_4^+ kg^{-1}), e centeio (15 mg NH_4^+ kg^{-1}), diferindo dos demais sistemas de cobertura do solo.

Durante a segunda avaliação realizada aos 30 DAS da cultura do milho a disponibilidade de N amoniacal foi maior para os sistemas com ervilhaca (13,1 mg NH_4^+ kg^{-1}), A+E (11,7 mg NH_4^+ kg^{-1}) e A+E+N (11 mg NH_4^+ kg^{-1}) (Tabela 8).

Pode-se verificar que a liberação de N amoniacal nas profundidades analisadas, demonstra ter havido “pulsos” de disponibilidade deste. No primeiro aos 15 DAS, início da decomposição dos resíduos e o segundo aos 60 DAS (Tabela 8). Para os sistemas adubados este pulso de disponibilização pode ser verificado aos 45 DAS no desdobramento da interação para as doses de N mineral (Tabela 10).

O aumento da disponibilização de N amoniacal após a adubação nitrogenada pode ser explicado devido a liberação do amônio no meio como produto primário, após a ação da uréase, antes da ação dos microrganismos nitrificadores, e para os sistemas de cobertura devido a mineralização do N orgânico contido nos resíduos (CANTARELLA, 2007).

A influência na disponibilidade de N amoniacal pela aplicação de ureia pode ser verificada aos 45 DAS, onde os tratamentos que receberam adubação nitrogenada apresentam incremento de 19,2 mg NH_4^+ kg^{-1} (266%) na disponibilidade de N amoniacal aos 45 DAS. Com a aplicação de N mineral há um efeito imediato na disponibilização de amônio, visto que nas avaliações subsequentes (60, 45, 90 e 120 DAS), as quantidades de N amoniacal não foram suficientes para resultar em diferenças entre as doses de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura. Sendo que nas avaliações realizadas aos 75 e 120 DAS, a disponibilidade de N amoniacal foi maior para os tratamentos que não receberam adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 8)

Após a aplicação da ureia, as condições de umidade e temperatura apresentaram-se adequadas, e o NH_3^+ e o OH^- , resultantes da hidrólise enzimática da ureia (LARA CABEZAS et al., 1997), foram rapidamente convertidos em NO_2^- e posteriormente a NO_3^- . Inicialmente ocorre aumento do pH ao redor do grânulo de ureia que favorece o processo de amonificação, posteriormente inicia-se o processo de nitrificação baixando rapidamente o pH fazendo com que todo o N amoniacal resultando da hidrólise da ureia, juntamente com o N amoniacal liberado pelos microrganismos após a decomposição dos resíduos dos sistemas dos sistemas de cobertura sejam convertidos a N nítrico,

acarretando nas menores disponibilidades de N amoniacal para os sistemas que receberam adubação nitrogenada, justificando assim as maiores respostas obtidas para N mineral no solo na forma de N nítrico em detrimento do N amoniacal quando houve a aplicação de fertilizante nitrogenado.

Para a profundidade de 5-10 cm observa-se que as diferenças entre os sistemas de cobertura ocorrem somente aos 15 e aos 45 DAS. Na avaliação aos 15 DAS os sistemas com A+E (12,3 mg N-NH₄⁺ kg), A+E+N (10,1 mg N-NH₄⁺ kg),

Tabela 9- Evolução da disponibilidade de N-NH₄⁺ no solo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais nas profundidades de 5-10 cm, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	N-NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹												
	15		30		45		60		75		90		120
Aveia	8,2	b	4,4	ns	12	a	9,0	ns	6,9	b	5,8	ns	13,6
A+E	12,3	a	4,6		4,9	c	12,6		9,1	b	7,2		9,7
A+E+N	10,1	a	3,3		8,9	b	12,6		11,0	b	8,6		10,1
Nabo	10,9	a	4,9		9,2	b	15,4		9,4	b	7,6		7,6
Tremoço	7,4	b	4,2		8,1	b	9,3		10,1	b	6,5		7,5
Centeio	9,8	a	3,6		6,1	c	11,3		11,9	b	7,8		11,4
Azevém	8,1	b	4,3		4,8	c	11,7		11,9	b	8,3		10,6
Ervilhaca	11,0	a	4,9		8,8	b	10,0		19,3	a	7,4		9,0
CV (%)	24,19		56,32		18,18		28,43		12,51		11,72		34,10
ADUBAÇÃO NITROGENADA													
0 N	10,0	ns	4,0	ns	7,3	ns	12,0	ns	11,0	ns	7,3	ns	10,9
180 N	9,4		4,5		8,4		11,0		11,4		7,5		8,7
CV (%)	31,56		59,84		25,57		28,21		18,81		17,47		36,67

*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott (P<0,05).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

ervilhaca (11,0 mg N-NH₄⁺ kg), nabo (10,9 mg N-NH₄⁺ kg), e centeio (9,8 mg N-NH₄⁺ kg) apresentaram as maiores concentrações de N amoniacal (Tabela 9).

Para as doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha⁻¹) na profundidade de 5-10 cm, não há diferenças na disponibilidade de N amoniacal, possivelmente devido a rápida conversão do amônio (NH₄⁺) oriundo da ureia em nitrito (NO₂⁻) e posteriormente em nitrato (NO₃⁻). Outro fator que limita a mobilidade de N amoniacal no solo ocorre em função da sua

carga positiva, que lhe confere alta afinidade com a CTC do solo e, limitando sua movimentação no perfil do solo (Tabela 9).

Em trabalho realizado por Moro et al. (2013) em Nitossolo Vermelho distroférico, sendo manejado sob SPD há seis anos, verificou que a utilização de plantas de cobertura (Brachiarias, milho e crotalária) e o manejo da adubação nitrogenada influenciaram o teor de amônio no solo, observando menores teores com o aumento da profundidade, corroborando com resultados encontrados neste trabalho.

Lemos et al. (2014) que avaliou a disponibilidade de nitrato e amônio e quantificação de amônia volatilizada em área de cultivo de milho nos sistemas de plantio direto tradicional e orgânico após o cultivo de aveia verificou que a disponibilidade de amônio ocorreu em “pulsos” sendo o mais proeminente aos 15 dias após o plantio (DAP) do milho e o segundo em torno de 60 DAP, tanto para os sistemas adubados com fertilizante nitrogenado em cobertura (5 dias após o plantio do milho) como para os não adubados. E quando se sobrepõe as curvas de disponibilidade de N amoniacal no solo com a curva de volatilização, observasse que as maiores quantidades de amônia volatilizada são observadas após os picos de disponibilidade de N amoniacal no solo.

O desdobramento da interação para as doses de adubação nitrogenada para a disponibilidade de N amoniacal para as profundidades 0-5 e 5-10 cm está apresentada na Tabela 10.

Os sistemas de cobertura adubados com N mineral aos 37 DAS com exceção da aveia, A+E e ervilhaca, apresentaram disponibilidade de N amoniacal superior aos sistemas não adubados.

Para a interação na profundidade 5-10 cm aos 60 DAS da cultura do milho, a diferença na concentração de N amoniacal entre os sistemas adubados e não adubados tende a diminuir. No entanto, para o tremoço a disponibilidade de N amoniacal é duas vezes maior que o sistema com tremoço não adubado. Já o sistema de cobertura com aveia que recebeu adubação nitrogenada apresentou redução de 35% na disponibilidade de N amoniacal em relação ao sistema que não recebeu adubação nitrogenada (Tabela 10).

Tabela 10- Médias interações das concentrações de $N-NH_4^+$ no solo, aos 45 e 60 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura hibernais na profundidade de 0-5 e 5-10 cm respectivamente, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	45		60	
	0-5		5-10	
	ADUBAÇÃO NITROGENADA		ADUBAÇÃO NITROGENADA	
	0 N	180 N	0 N	180 N
	N-NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹		N-NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹	
Aveia	3,5 bA	6,4 dA	10,4 bA	7,7 aB
A+E	4,7 bA	6,8 dA	16,01 aA	9,2 aA
A+E+N	6,7 aB	22,9 bA	14,1 aA	11,2 aA
Nabo	8,1 aB	16,3 cA	14,7 aA	16,1 aA
Tremoço	17,2 aB	90,4 aA	6,0 bB	12,5 aA
Centeio	2,4 bB	13,5 cA	13,2 aA	9,3 aA
Azevém	5,1 bB	45,0 bA	9,2 bA	14,3 aA
Ervilhaca	9,6 aA	9,8 cA	12,3 aA	7,7 aA

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott ($P < 0,05$).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Observa-se que não há um comportamento padrão dos sistemas de cobertura que apresentaram maior disponibilidade de N amoniacal na ausência da adubação nitrogenada em apresentar o mesmo comportamento quando realizado a aplicação de N em cobertura

6.3 CULTURA DO MILHO

6.3.1 Número de espigas por hectare (NEH)

Os resultados para o NEH da cultura do milho cultivado sobre sistemas de cobertura hibernais sofreram grandes variações em função do sistema de cobertura utilizado (Tabela 11). Todos os sistemas apresentaram redução do NEH em função da densidade estimada de semeadura (75.000 plantas hectare). Entre os componentes de rendimento analisados o NEH é o que apresenta maior correlação com a produtividade de grãos em sucessão aos sistemas de coberturas hibernais avaliados.

Tabela 11- Número de espigas por hectare (NEH) de milho cultivado sucessão a sistemas de cobertura hibernais, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	NHE	
Aveia	62.586	a
A+E	61.475	a
A+E+N	51.106	b
Nabo	49.254	b
Tremoço azul	62.586	a
Centeio	38.515	c
Azevém	40.366	c
Ervilhaca	65.179	a
CV (%)	12,74	
ADUBAÇÃO NITROGENADA		
0 N	48.976	b
180 N	58.790	a
CV (%)	14,27	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott (P<0,05). (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Pode-se sugerir que as influências dos sistemas de cobertura no número de espigas por hectare se classificam em três níveis: Alta NEH <40.000; Média NEH <50.000; Baixa: NEH <63.000.

No primeiro nível que é de alta interferência (NEH <40.000), os menores valores para o número de espigas por hectare foram verificados no milho cultivado sobre os resíduos de centeio e azevém, onde apresentam redução de 47% do número de espigas quando comparado a densidade de semeadura que foi estimada para 75.000 plantas hectare.

Tal fato pode estar relacionado com potencial destas plantas em reduzir o crescimento pelo efeito físico ou químico através da liberação de substâncias alelopáticas (ALMEIDA, 1991). Em estudo realizado por Rodrigues et al. (1999), o centeio e a aveia não influenciaram a germinação do milho, porém, afetaram seu crescimento. Para a cultura do centeio, a razão específica para o efeito negativo no milho é desconhecida, vários fatores podem estar envolvidos e, para evitar possíveis efeitos negativos na produtividade do milho, a semeadura em sucessão ao centeio é recomendada com intervalo de duas semanas (HARTZLER et al., 2014). Embora a

semeadura foi realizada 17 dias após o manejo químico dos sistemas de cobertura, a elevada produção de MS (7,2 Mg ha⁻¹) pode ter potencializado os efeitos negativos dificultando a emergência e o crescimento do milho.

Para o cultivo de milho em rotação com a cultura do azevém, o intervalo de pré-semeadura de 21 dias é recomendado para minimizar os efeitos alelopáticos (NOGUEIRA et al., 2015). Entretanto, além dos efeitos químicos provocados pelo azevém que podem reduzir a germinação do milho em até 34% (MARTIN et al., 1990), a grande quantidade de raízes decorrentes do seu crescimento fasciculado e formação de touceiras dificultam a emergência das plântulas de milho, pois após o corte do solo e deposição da semente no sulco de semeadura, o mesmo se “fecha” com maior intensidade, dificultando a emergência das plântulas.

Importante salientar que houve ocorrência do ataque do percevejo-barriga-verde (*Dichelops melacanthus*) e lagarta do cartucho (*Spodoptera fugiperda*) logo no início do desenvolvimento do milho, atacando com mais intensidade os tratamentos com poáceas (constatação visual) que apresentavam as plântulas menores devido ao atraso na emergência. Além dos problemas nutricionais, provocados pela imobilização de N em função da elevada relação C/N destas espécies, que acabam por potencializar estes efeitos, resultando no baixo NEH ao final do ciclo de desenvolvimento do milho.

Quando realizado o cultivo sobre o nabo forrageiro, verifica-se que a redução no NEH é de 32% em relação a densidade estimada de semeadura, porém não se diferenciando do sistema onde está consorciado com aveia e ervilhaca (A+E+N) que apresenta redução de 34% no NEH se enquadrando no nível de média interferência (<50.000). Já para os sistemas com ervilhaca, tremoço, aveia e para o consórcio A+E que apresentaram aos maiores valores de NEH, a redução foi de 16% em relação a densidade estimada.

Quando se compara o NEH do consórcio A+E aos obtidos sobre o sistema com A+E+N, a redução para o NEH é de 20%. Em trabalho realizado Almeida (1991) utilizando extratos aquosos de diversos sistemas de cobertura, entre eles, ervilhaca, tremoço, nabo, aveia e azevém, para verificar a influência destes na germinação e desenvolvimento de espécies cultivadas, verificou que o nabo apresentou redução da germinação de sementes de milho, porém não diferindo do centeio e aveia; as demais plantas aqui citadas não diferiram da testemunha para o número de sementes germinadas de milho. Quando avaliado o comprimento de caulículo, os extratos de nabo

e tremoço apresentaram os menores valores para esta variável, mas não se diferenciaram dos extratos com centeio e aveia.

Para as doses de N, verifica-se que os sistemas que receberam adubação nitrogenada apresentaram uma redução de 22% para o NEH, enquanto para os sistemas não adubados a redução foi de 34%, em relação a densidade estimada de semeadura (Tabela 11). No entanto, como não houve interação entre plantas de cobertura e doses de adubação nitrogenada para o NEH, pode-se supor que a adubação nitrogenada pouco contribui para aumentar o NEH em sucessão aos sistemas de coberturas, devido esta ser uma variável definida nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Podendo o aumento no NHE verificado para os sistemas adubados ter ocorrido para os sistemas que apresentam menor disponibilidade de N mineral, e nos sistemas com déficit de N que não receberam adubação nitrogenada, estas plantas acabaram morrendo. Porém, mesmo com a recuperação das plantas em deficiência após a adubação a produtividade (Tabela 13) tende a apresentar o mesmo comportamento verificado para o NEH (Tabela 11).

Deste modo, pode-sugerir que a redução do NEH causada ao milho em sucessão aos sistemas de cobertura hibernais avaliados é condicionada a ter maior sinergismo quando ocorre a combinação dos efeitos alelopáticos ou físicos com a menor disponibilidade de N mineral no solo que é causada em função da elevada relação C/N dos resíduos aportados a superfície do solo.

6.3.1 Teor relativo de clorofila (índice SPAD)

Os teores relativos de clorofila na folha do milho (Tabela 12) avaliado ao longo do desenvolvimento da cultura, apresentou interação significativa entre as plantas de cobertura e doses de N mineral, onde a utilização da ervilhaca comum antecedendo o cultivo do milho, sem adubação nitrogenada, apresentou teores relativos de clorofila equivalente ao verificado sob o cultivo com adubação em cobertura em todas as avaliações realizadas (45, 60, 75 e 90 DAS). A utilização do tremoço sem adubação nitrogenada proporcionou teores relativos de clorofila estatisticamente iguais ao verificado no cultivo com a adubação 60 e 75 DAS, enquanto a utilização do A+E+N somente diferenciou na avaliação realizada aos 45 DAS.

Tabela 12- Médias da interação para valores de índice SPAD aos 45, 60, 75 e 90 dias na última folha expandida de milho cultivado em sucessão a sistemas de cobertura hibernais, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N- mineral, para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos.

SISTEMAS DE COBERTURA	45		60		75		90	
	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N
	Unidades SPAD							
Aveia	60,7 cA	62,5 aA*	64,6 bB*	73,4 aA*	54,1 cB*	70 aA*	55,6 dB*	71,6 bA*
A+E	62,4 bA	64,2 aA	66,2 bB	73,1 aA	60,5 bB	67,8 aA	63,5 bB	76,7 aA
A+E+N	62,7 bA	64,1 aA	70,8 aB	73,8 aA	63,4 bB	67,9 aA	64,9 bB	74,4 aA
Nabo	62,1 bA	63,7 aA	65,5 bB	72,6 aA	62,8 bB	68,6 aA	60,2 cB	72,5 bA
Tremoço	61,5 cB	64,2 aA	68,9 aB	72,1 aA	65,1 aA	69 aA	67,1 bB	74,9 aA
Centeio	61,1 cA	63,0 aA	61,1 cB	72,9 aA	55,9 cB	68 aA	55,9 dB	72 bA
Azevém	59,0 dB	63,1 aA	61,2 cB	72,5 aA	54,1 cB	69,2 aA	51,6 eB	71,7 bA
Ervilhaca	64,5 aA	63,4 aA	70,6 aA	71,7 aA	67,1 aA	68,9 aA	74,0 aA	70,6 bA

*Médias seguida pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Os maiores teores de clorofila verificados no milho cultivado sobre a ervilhaca na ausência da adubação nitrogenada em todas as avaliações ocorrem pela elevada disponibilidade de N nítrico verificados ao longo do desenvolvimento da cultura do milho, apesar de a disponibilidade de N nítrico ser maior no sistema adubado aos 45 e 60 DAS (Tabela 5), a quantidade disponibilizada por este sistema de cobertura na ausência da adubação nitrogenada já é o suficiente para suprir as exigências da cultura do milho, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (Tabela 4 e Tabela 5).

Seguindo a mesma lógica feita para a interação das plantas de cobertura e doses de N onde verificamos potencial de disponibilidade de N nítrico no solo para cada sistema de cobertura na ausência da adubação nitrogenada na camada de 0-5 cm de profundidade (Tabela 5), podemos verificar se os sistemas de cobertura não adubados que apresentaram a maior disponibilidade de N nítrico tendem a apresentar os teores de clorofila equivalentes aos sistemas adubados, ou as menores diferenças nas unidade SPAD, que se correlacionam com os teores de N na folha pois 50 a 70% do N total das folhas fazem parte da constituição de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

Para verificar os sistemas de cobertura em ordem crescente de deficiência de N utilizando as medições dos teores de clorofila, foi realizado o cálculo das diferenças dos

destes teores entre os sistemas adubados e não adubados, nas avaliações realizadas aos 45, 60, 75 e 90 DAS. A ordem crescente de deficiência nos teores de clorofila do milho provocados pelos sistemas de cobertura que não receberam adubação nitrogenada em relação aos sistemas adubados estão apresentados a seguir: Ervilhaca (0 SPAD), tremoço (17,65 SPAD), A+E+N (18,41 SPAD), nabo (26,8 SPAD), A+E (29,19 SPAD), centeio (41,93 SPAD), aveia (42,44 SPAD), e azevém (50,62 SPAD).

Considerando que a máxima deficiência de N ocorre sobre os sistemas com azevém e que são necessários aplicar na cultura do milho sobre este sistema 180 kg de N ha⁻¹ para diminuir essa deficiência a 0 unidades SPAD, temos que são necessários 3,55 kg de N ha⁻¹, (media dos teores de clorofila do azevém: 180/50,62) para aumentar uma unidade SPAD. Desse modo, pode-se supor que podemos estimar a adubação necessária para cada sistema de cobertura para reduzir a deficiência de N a zero unidades SPAD, proporcionando rendimento de milho equivalente aos sistemas que receberam 180 kg N ha⁻¹.

Deste modo, considerando a contribuição de cada sistema de cobertura no fornecimento de N para a cultura em sucessão, a quantidade a ser aplicada de N ha⁻¹ para cada sistema de cobertura para obtenção de teores de clorofila equivalentes aos sistemas adubados é de: ervilhaca: 0 kg N ha⁻¹; tremoço: 63 kg N ha⁻¹; A+E+N: 65 kg N ha⁻¹; nabo: 95 kg N ha⁻¹; A+E: 104 kg N ha⁻¹; centeio: 149 kg N ha⁻¹; azevém: 180 kg N ha⁻¹; aveia 150 kg N ha⁻¹.

6.3.2 Produtividade de grãos de milho

Os resultados para produtividade de grãos para a safra 2015/2016 apresentou interação entre os sistemas de cobertura e as doses de adubação nitrogenada (Tabela 13), onde a produtividade de grãos para os sistemas com ervilhaca, A+E+N e nabo ausência da adubação nitrogenada não diferiram das produtividades para seus respectivos sistemas adubados com 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura.

Tabela 13- Médias de interação para produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N- mineral na cultura comercial, para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos.

SISTEMAS DE COBERTURA	ADUBAÇÃO NITROGENADA			
	0 N		180 N	
	Mg ha ⁻¹			
Aveia	3,4	cB	9,2	aA
A+E	5,4	bB	8,4	aA
A+E+N	5,0	bA	6,9	bA
Nabo	5,5	bA	6,5	bA
Tremoço azul	5,7	bB	8,3	aA
Centeio	2,9	cB	5,7	bA
Azevém	1,8	cB	6,3	bA
Ervilhaca	8,4	aA	8,8	aA
Médias	4,7	B	7,5	A

*Médias seguida pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skoott Knott ($P < 0,05$). (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

No entanto, quando se analisa a produtividade do milho sobre os sistemas de coberturas adubadas, observa-se que a produtividade para os sistemas com ervilhaca, tremoço, A+E e aveia é 37% superior ao obtido sobre os sistemas de cobertura com A+E+N, nabo, centeio e azevém. Tais resultados podem ser devido a ação alelopáticas ou física causadas por estes sistemas de cobertura na germinação e emergência das plântulas de milho, resultando em baixa densidade de plantas no final do ciclo de desenvolvimento do milho (Tabela 11), que é uma variável definida nos estágios iniciais de desenvolvimento do ciclo do milho, limitando o rendimento de grãos mesmo em condições ótimas de disponibilidade de N (Tabela 5).

A redução da produtividade de milho após a utilização dos sistemas com A+E+N, nabo, centeio e azevém pode ser observada com mais efeito sobre os sistemas de cobertura que não receberam adubação nitrogenada em cobertura. Porém na ausência da adubação nitrogenada, os sistemas com A+E+N e nabo apresentam produtividade 123% (2,9 Mg ha⁻¹) a mais em relação a utilização dos sistemas com azevém e centeio, em função destes sistemas apresentarem uma redução de 47% no stand final de plantas que era estimada para 75.000 ha⁻¹, associada a menor disponibilidade de N (Tabela 4 e Tabela 5), provocada pela elevada relação C/N dos resíduos aportados a superfície do solo por estes sistemas de cobertura (Tabela 2) que acarretam na menor quantidade de N absorvida pela cultura do milho (Tabela 12).

Em vários trabalhos são relatadas baixas produtividade de milho em sucessão a espécies de elevada adição de resíduo com alta relação C/N, causando imobilização temporária do N mineral pelos microrganismos do solo (AITA et al., 2001; SILVA et al., 2006; CHERUBIN et al., 2014; DAHLEN, 2013; ZIECH, 2016). No entanto, os efeitos alelopáticos e ou físicos destes sistemas de cobertura somadas a baixa disponibilidade de N, contribuíram para as baixas produtividades verificadas para a cultura do milho em sucessão aos sistemas de cobertura, tanto na ausência ou presença da adubação nitrogenada.

A maior produtividade na ausência da adubação nitrogenada foi verificada sobre o sistema com ervilhaca ($8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) e as menores produtividades sobre os sistemas com poáceas ($2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$). Comparando a produtividade de grãos de milho em sucessão a ervilhaca ($8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) ao obtido com poáceas, observa-se que esses valores superam as gramíneas em 211% ($5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Vários trabalhos têm relatado altas produtividades de milho em sucessão a ervilhaca Lourente et al. (2007), $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; Cherubin et al. (2014), $8,9 \text{ Mg ha}^{-1}$; Ziech (2016) $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, que se deve ao N adicionado ao solo pela fabácea via fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Tabela 1) e ao acelerado processo de decomposição e liberação do N, podendo liberar até 87% deste nutriente nos primeiros 45 DAS do milho (Anexo 1), desta forma apresentando alta disponibilidade de N nítrico no solo até os 45-60 DAS (Tabela 4) da cultura do milho e, pulsos na disponibilidade de N amoniacal aos 15 e 45 DAS da cultura do milho (Tabela 8).

Embora os sistemas de cobertura com A+E, A+E+N, nabo apresentaram disponibilidade de N nítrico ao longo do ciclo de desenvolvimento semelhante aos encontrados para a ervilhaca para a profundidade de 0-5 e 5-10, com respostas equivalentes para os valores de índice SPAD, que indicam a resposta do milho a absorção do N mineral presente no solo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho. A produtividade destes sistemas apresenta rendimento de grãos 58% ($3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) menor do que a utilização da ervilhaca.

Esperava-se que a produtividade para estes sistemas não apresentasse diferenças no rendimento de grãos. No entanto, pode-se verificar que a produtividade é o resultado da contribuição de uma série de eventos que ocorrem durante o ciclo de desenvolvimento da cultura milho, que apesar de em alguns momentos a estatística não apontar estas diferenças, há uma tendência de quando se utiliza a ervilhaca como sistemas de cobertura, antecedendo o cultivo do milho na ausência da adubação

nitrogenada, deste apresentar valores mais elevados para a maioria das variáveis analisadas. Somados a estes eventos, observa-se que em momentos críticos, como polinização e enchimento de grãos que ocorrem entre 60 e 90 DAS a disponibilidade de N nítrico proporcionado pela ervilhaca na avaliação realizada aos 75 DAS é 149% (19,1 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹) superior aos sistemas com A+E, A+E+N, nabo (Tabela 5), proporcionando maiores valores de índice SPAD no milho cultivado sobre a ervilhaca aos 90 DAS (Tabela 12), que resultam no final do ciclo de desenvolvimento nas maiores produtividades observadas (Tabela 13).

No entanto, há de se ponderar que a adubação de base na cultura do milho foi calculada para um teto de produtividade de 6 Mg ha⁻¹, dessa forma a disponibilidade de P e K, podem estar limitando a produtividade e, não somente a disponibilidade de N.

7. CONCLUSOES

Os consórcios A+E e A+E+N apresentam produção de MS e N total acumulado equivalentes a utilização de aveia e centeio de forma solteira, relação C/N intermediária, liberação de N equivalente a utilização da ervilhaca cultivada de forma solteira, aliado a maior proteção do solo ao longo dos 120 dias de avaliação.

A disponibilidade de N nítrico e amoniacal no solo é maior quanto menor a relação C/N dos sistemas de coberturas analisados.

A necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho considerando a contribuição de cada sistema de cobertura no fornecimento N, utilizando as leituras de índice spad para cálculo é de: ervilhaca: 0 kg N ha⁻¹, tremoço: 63 kg N ha⁻¹; A+E+N: 65 kg N ha⁻¹; nabo: 95 kg N ha⁻¹; A+E: 104 kg N ha⁻¹; centeio: 149 kg N ha⁻¹; azevém: aveia 150 kg N ha⁻¹; 180 kg N ha⁻¹.

O cultivo de milho sem adubação nitrogenada após ervilhaca, nabo e consorcio A+E+N, proporciona produtividade similares aos obtidos com a dose de 180 kg ha⁻¹. A produtividade do milho que recebeu adubação nitrogenada em sucessão aos sistemas de azevém, centeio, nabo e A+E+N (6,4 Mg ha⁻¹), apresentou produtividade 2,3 Mg ha⁻¹ menor em relação aos sistemas com ervilhaca, tremoço, aveia e A+E.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEAS. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto** (Curso Plantio Direto. Módulo 1). Tutor: LANDERS, John. ABEAS; Brasília. DF: Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 113 p. 2005.
- ACOSTA, J. A. A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- ACOSTA, J. A. A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Brasil. 200pp. 2009.
- ALMEIDA, F. S. de. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 26, n. 2, p. 221-223, fev. 1991
- AITA, C., GIACOMINI, S. J., HÜBNER, A. P., CHIAPINOTTO, I. C., & FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I-dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 739-749, 2004.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; & DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção, 1. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Setembro, 2010. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejo2.htm>. Acesso em: 17 mai. 2015.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J. Plantio direto e rotação de culturas com leguminosas - uma excelente combinação para promover o incremento da capacidade produtiva do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo v.50, p.23-27,1999.
- AMADO, T, J, C. FIORIN, J, E. ARNS, Ulfried. NICOLOSO, R, S. FERREIRA, A, O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema plantio direto. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, p.81-125.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLINI, C. G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 519-527, 2002.

BHERING, S. B. et al. **Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Floresta: Embrapa Solos, 2008.

BITTAR, I. M. B.; DE SIQUEIRA FERREIRA, A.; CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação= Influence of soil texture on microbial activity, carbon decomposition and. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, 2013.

BLANKENSHIP, R.E. Fotossíntese: As Reações Luminosas. In: TAIZ, L. & ZEIGER, E. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

CABEZAS, W. A. R. L.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

CALEGARI, A. PLANTAS DE COBERTURA: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ano XIII. n.80. p.62-70. 2004.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F. et al. (Ed.) Fertilidade do solo. 1ª ed. Viçosa, Minas Gerais. 2007. p.375-470.

CARVALHO, A. M. D., SOUZA, L. L. P. D., GUIMARÃES JÚNIOR, R., ALVES, P. C. A. C., & VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, P. C. F. et al. Forrageiras de clima temperado. Plantas forrageiras'.(Eds DM Fonseca, JA Martuscello) pp, p. 494-53, 2010.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil : Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina : IAPAR, 2012.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.

CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; DA ROCHA, E. M. T.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; & LAMEGO, F. P. Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, 2014.

CIESLIK, L. F. **Leguminosas de verão como cobertura do solo para produção de milho em sistema de plantio direto**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 17 Out. 2016. 2016.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciencia Rural**. v. 34, n. 2, 2004.

COSTA, S. D., MARTINEZ, M. A., MATOS, A. D., & RAMOS, V. B. N. Mobilidade de nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 190-194, 1999.

COMISSÃO, DE QUÍMICA E. FERTILIDADE DO; SOLO-RS, E. S. C. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Passo Fundo, 2004.

CRUSCIOL, C. A. C., GARCIA, R. A., CASTRO, G. S. A., & ROSOLEM, C. A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1975-1984, 2011.

DAHLEM, A. R. **Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no sudoeste do Paraná**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

DE LIMA FILHO, O, F. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. p.104. Embrapa, 2014.

DE PINHO COSTA, K. A., FAQUIN, V., OLIVEIRA, I. P., ARAÚJO, J. L.; RODRIGUES, R.B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu II – Nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1601-1607, 2008.

DECHEN, A. R., NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.

DONEDA, A., AITA, C., GIACOMINI, S. J., MIOLA, E. C. C., GIACOMINI, D. A., SCHIRMANN, J.; & GONZATTO, R. (2012). Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa. 2° ed. Revisão Ampliada. Brasília DF: Embrapa Informações Tecnológica, 627p.2009.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solo. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; TEIXEIRA, M. G.; SEGUNDO, A. Decomposição e liberação de nutrientes acumuladas em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.321-328, 2006.

FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. Piracicaba, São Paulo. **Departamento de Produção Vegetal**. São Paulo: ESALQ/USP, 2003, 9p. FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Evolução do sistema plantio direto no paraná. Disponível em:<http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2015.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011.

GIACOMINI, S. J. VENDRUSCOLO E. R. O.; CUBILLA M. ; NICOLOSO R. S.; FRIES M. R. Matéria seca, relação C:N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 325-334, 2003.

GIACOMINI, S. J., AITA, C., CHIAPINOTTO, I. C., HÜBNER, A. P., MARQUES, M. G., & CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.751-762, 2004.

GIACOMINI, S. J. **Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos**. 247 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; VILLAS BÔAS, R.L. & JÚNIOR, J.B.L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em Nitrogênio durante o ciclo de cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.217-226, 2008.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

GUERREIRO, C. P. V. Diferentes métodos de adubação verde, **Revista Agroecologia Hoje**, 2002.

HEINRICH, R., AITA, C., AMADO, T. J. C., & FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, 77 p. 331-340, 2001.

HARTZLER, Robert G. Cereal Rye Cover Crops, **Allelopathy and Corn**. 2014. Disponível em: <http://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2014/04/cereal-rye-cover-crops-allelopathy-and-corn>. Acessado em: 28/07/2016.

JESUS, S.V.; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, Manaus, v.38, n.4, p.815-818, 2008.

KLIEMANN, H.J.; BRAGA BRAZ, A. J. P.; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, 21- 28, 2006.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T.; SILVA, K. D. F.; SARTO, M. V. M.; & JUNIOR, J. B. D. (2013). Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 43, n. 1, p. DOI: 10.1590/S1983-40632013000100008, 2013.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; & MARCANDALLI, L. H. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

LIMA, R. P.; FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T. Aporte e Decomposição da serapilheira na Caatinga nenhuma Sul do Piauí. **Floresta Ambient**. 2015.

MAIA, S. C. M. **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. viii, 86 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2011.

MARTIN, V.L.; MCCOY, E.L. & DICK, W.A. Allelopathy of crop residues influences corn seed germination and early growth. **Agronomy Journal**, 82: 555-560, 1990.

MELLO, N.; CONCEIÇÃO, P. C. **Evolução de sistema de manejo do solo e produtividade agropecuária no estado do Paraná** IN: MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F. **Sistemas de Produção Agropecuária, Dois Vizinhos**, 2008. 336p.

MINOLTA, K. Chlorophyll Meter SPAD-502 Instruction Manual. **Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations Osaka, Japan**, 1989.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; & CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 424-435, 2013.

NOGUEIRA, P.; SEGATTO, C.; BORTOLOTTI, F.C.; RESCHKE LAJÚS, C.; LOPEZ DA LUZ, G. intervalos de pré-semeadura da cultura do milho (*zea mays* L.) após o cultivo do azevém (*lolium multiflorum* Lam.), sobre a emergência e o

crescimento inicial. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE AGRONOMIA** – ISSN: 1677-0293. Número 28 – Dezembro de 2015 –Periódico Semestral.

PIETERS, A. J. **Green Manuring, Principles and Practice**. Agronomist in Charge of Clover Investigations, Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture. 1927. Disponível em : <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010160.Pieters.pdf>: Acesso em: 24 abr. 15.

RAMBO, L.; SILVA, P. D.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. D.; SANGOI, L.; & VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 390-397, 2011.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; BAYER, C.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.731-738, 2007.

RAUN, W. R. & JOHNON, G. V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy journal*. Vol 91, n. 3, 357-363. 1999.

REIS, G. N.; FURLANI, C. E. AII; SILVA, R. P.; GERLACH, J. R.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Decomposição de culturas de cobertura no sistema de plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Engenharia Agrícola.Jaboticabal**, v.27, n.1, p.194-200, 2007.

ROCHA, F. A.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T; CANTARUTTI, R. B.; DA SILVA, J. O. Modelo numérico do transporte de nitrogênio sem a solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 54-61, 2008.

ROSSATO, R, R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal de Santa Maria. 2004.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENCO, R.A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, Supl. 2, p.159-161, 2007.

SANCHEZ, Pedro A. Properties and Management of Soils in the Tropics. **Soil Science**, v. 124, n. 3, p. 187, 1977.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. Cereais de inverno de duplo propósito para integração lavoura pecuária no Sul do Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 104 p.

SCHRODER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429000000721>>. Acesso em: 28 mai. 15.

SEAB/BERAL. Análise da conjuntura agropecuária 2011/2012: Leite. Disponível em:<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/leite_2012.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2015.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2014. Disponível em :<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2013_14.pdf> Acessado em: 17 mai. 2015.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; DA SILVA, A. A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, 2006.

SILVA A. A.; SILVA, P. R. F.; MINETTO, T.; STRIEDER, M.L; JANDREY, D. B; ENDRIGO, P.C. Desempenho agrônomo e econômico do milho irrigado em sucessão a espécies inverniais de cobertura de solo e/ou para produção de grãos. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.38, n.3, p.620-627, 2008.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A.; MOURA, B. F. Análise de nitrato e amônio em solo e água. **Embrapa Milho e Sorgo** (Documentos), 2010. 55p.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 353-362, 2005.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. IN: **World Congress on Computers in Agriculture**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009

TAVARES, R. L.; MELO, A. S.; ANDRADE, A. G.; ROSSI, C. Q.; CAPECHE, C. L.; BAILEIRO, F. C.; DONAGEMMA, G. K.; CHAER, G. M.; POLIDORO, J. C.; MACEDO, J. R.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; PIMENTA, T. S.; Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. **Manual publicado pela EMBRAPA** – Rio de Janeiro, p. 164-165. 2008.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOAHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Ed.UFRGS (Boletim Técnico), 1985.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J. D.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B. D.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.34, p.497-505, 2010.

VAUGHAN, J. D.; HOYT, G. D. & WOLLUM, A.G. Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: Soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 31:1017-1041, 2000.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J. H.; SILVA, E. C.; SOUSA, V. F. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.

WARNCKE, D.; BARBER, S. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays*, L.) as influenced by nitrogen concentrations and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ - ratio. *Agronomy Journal*, v.65, p.950-954, 1973.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? *biológica*, v. 25, p. 30, 2000.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

Ziech, A. R. D. **Sistema de produção de milho sob adubação nitrogenadae plantas de cobertura do solo**. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. A.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; & GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50, 375-82. 2015.

ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; SCHOSSLER, T. R.; MILHOMEM, D. M.; PIAUILINO, A. C.; PIAUÍ, B. J. Eficiência na determinação indireta do nitrogênio foliar a partir do índice spad. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 802.

Anexos

Anexo 1- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

SISTEMAS DE COBERTURA	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)													
	15		30		45		60		75		90		120	
													N kg ha ⁻¹	
Aveia	17,0	b*	12,9	ns*	18,2	b*	25,7	b*	17,6	b*	22,1	b*	32,5	b*
A+E	21,8	b	23,9		45,4	a	47,0	a	40,6	a	44,1	a	54,8	a
A+E+N	33,9	a	35,6		44,2	a	45,0	a	45,3	a	48,5	a	55	a
Nabo	17,9	b	18,6		27,4	b	28,1	b	27,7	b	26,5	b	31,3	b
Tremoço azul	9,6	b	12,9		15,0	b	17,3	b	16,1	b	18,3	b	20,4	b
Centeio	31,2	a	20,9		26,0	b	27,5	b	23,8	b	35,5	a	33,7	b
Azevém	14,1	b	16,2		17,9	b	22,5	b	24,7	b	27,7	b	26,9	b
Ervilhaca	33,0	a	36,8		42,3	a	43,6	a	45,2	a	46,9	a	50,5	a
CV (%)	59,77		54,41		44,34		40,28		44,42		40,87		18,47	

ADUBAÇÃO NITROGENADA

0 N	19,3	b	20,5	ns	26,7	ns	28,38	a	27,4	ns	29,3	b	33,6	b
180 N	25,3	a	24,0		32,4		35,78	b	32,8		38,0	a	42,7	a
CV (%)	35,62		72,49		32,72		37,08		40,94		38,64		15,12	

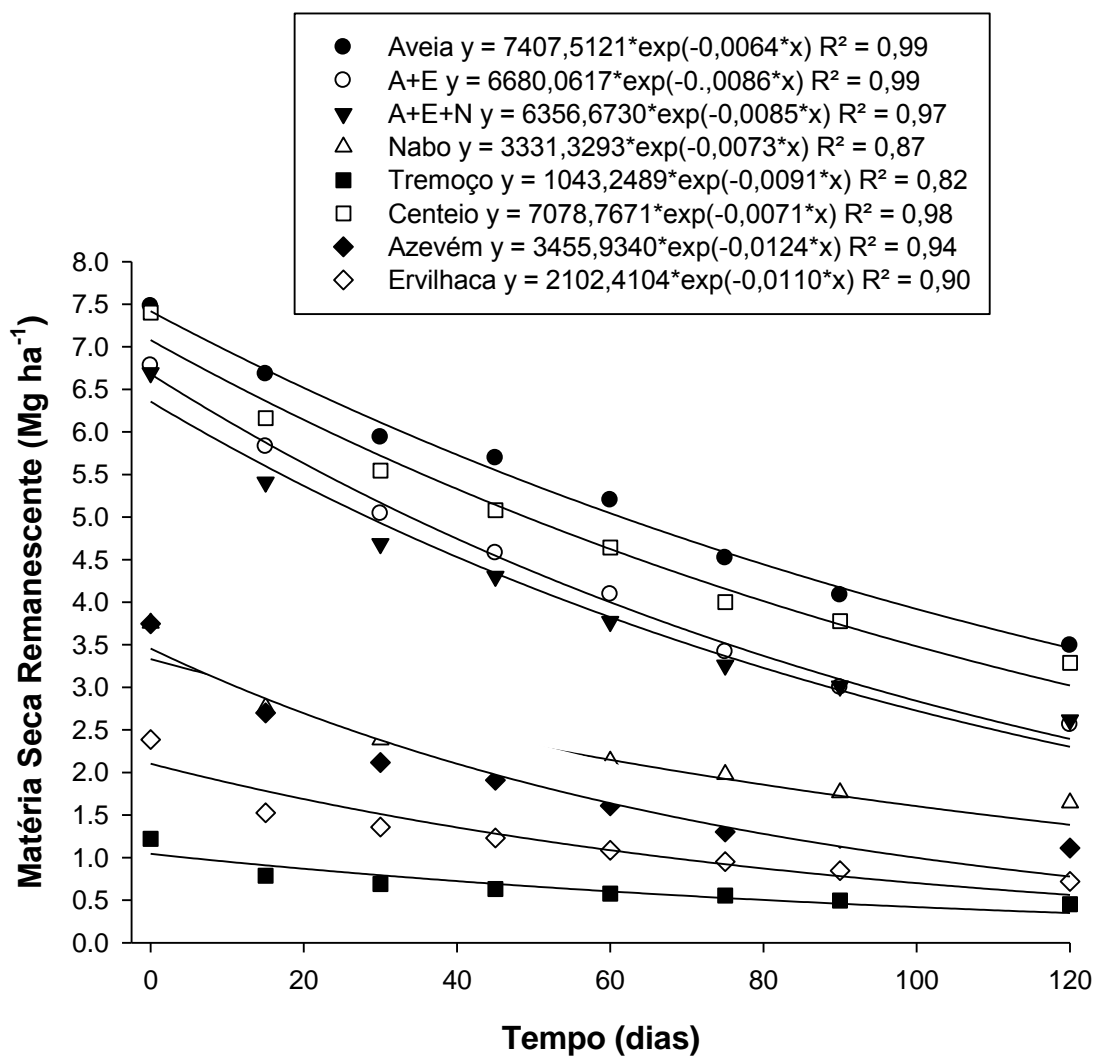
*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skoott Knott (P<0,05).

ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Skoott Knott (P<0,05).

(A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) =Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

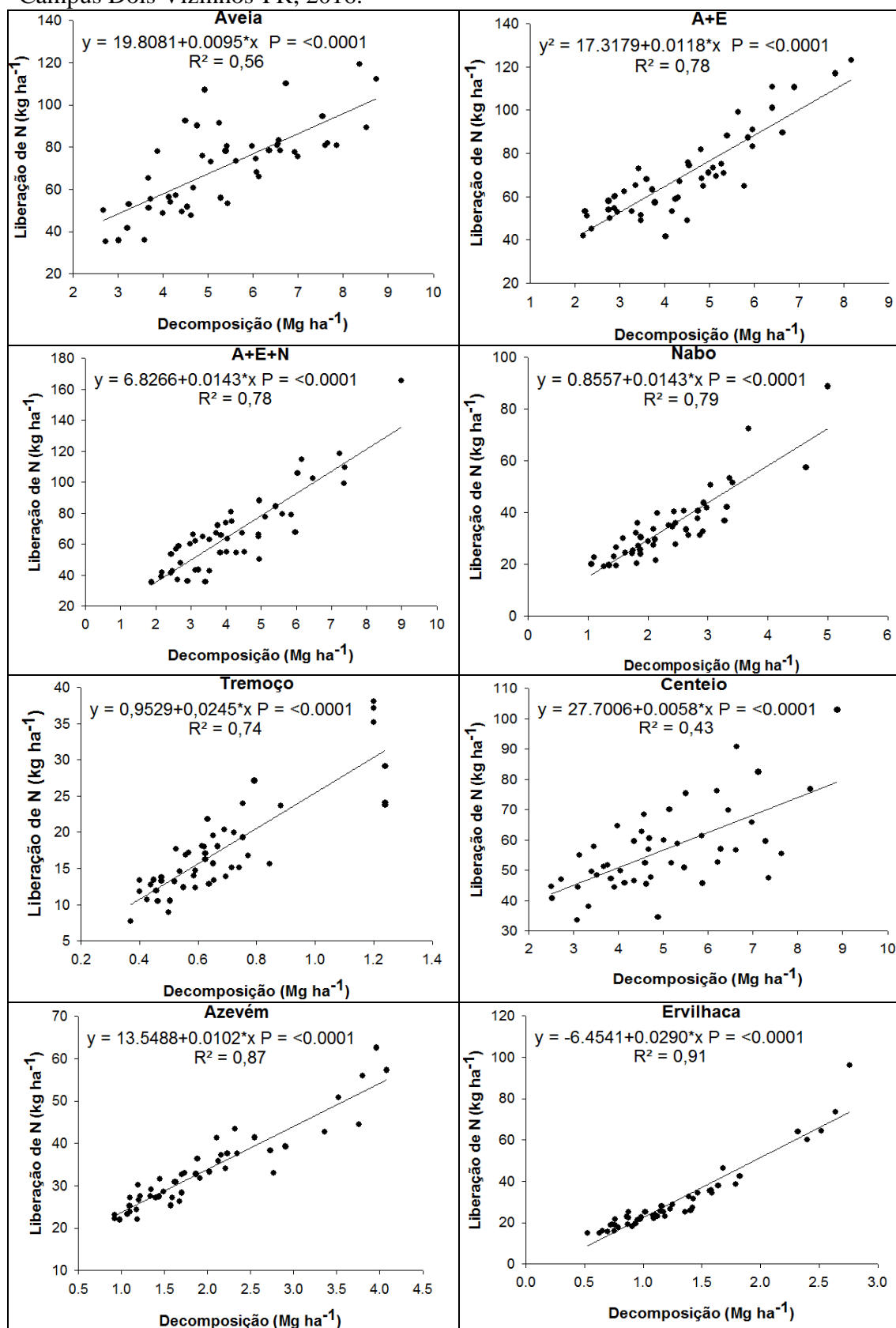
Anexo 2- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p < 0,05$ e $0,01$ respectivamente.

SISTEMAS DE COBERTURA	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)													
	15	30	45	60	75	90	120							
	DECOMPOSIÇÃO (kg ha⁻¹)													
Aveia	6680	a	5938	a	5693	a	5199	a	4519	a	4084	a	3492	a
A+E	5830	a	5040	a	4578	b	4093	b	3417	b	3000	b	2563	b
A+E+N	5409	a	4687	a	4303	b	3772	b	3258	b	3013	b	2617	b
Nabo	2768	b	2383	b	2208	c	2134	c	1976	c	1762	c	1643	c
Tremoço	786	d	691	d	630	d	576	e	554	e	496	f	453	d
Centeio	6160	a	5545	a	5080	b	4641	a	3999	a	3777	a	3288	a
Azevém	2700	b	2116	c	1910	d	1609	c	1303	d	1226	d	1112	c
Ervilhaca	1525	c	1358	c	1229	d	1085	d	951	e	845	e	720	d
CV (%)	10,58		10,83		11,74		10,38		12,33		11,69		25,75	
ADUBAÇÃO NITROGENADA														
0 N	4005	a	3523	a	3241	a	2917	a	2548	a	2334	a	2113	a
180 N	3959	a	3416	a	3166	a	2860	a	2447	a	2217	a	1859	b
CV (%)	8,17		8,07		8,90		9,55		9,03		9,60		20,10	



Anexo 3- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2015/2016. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p < 0,05$ e $0,01$ respectivamente.

Anexo 4- Regressão entre MS remanescente e concentração de N nos tecidos, para a ajustamento de equação para estimar a liberação de N para cada sistema de cobertura de acordo com a decomposição dos resíduos aportados a superfície do solo. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.



Anexo 5- Regressão entre MS acumulo de N no tecido dos sistemas de cobertura.
 UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

