

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIDIMAR CASSOL

**PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS: APORTE DE CARBONO E
NITROGÊNIO E VALIDAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANEJO
MECÂNICO DE PALHADA**

TESE DE DOUTORADO

PATO BRANCO

2023

CIDMAR CASSOL

**PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS: APORTE DE CARBONO E
NITROGÊNIO E VALIDAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANEJO
MECÂNICO DE PALHADA**

**PRODUCTIVE POTENTIAL OF SYSTEMS: CARBON AND NITROGEN
INPUT AND VALIDATION OF MECHANICAL STRAW HANDLING
TECHNOLOGIES**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco**



CIDIMAR CASSOL

**PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS: APORTE DE CARBONO E NITROGÊNIO E VALIDAÇÃO DE
TECNOLOGIAS DE MANEJO MECÂNICO DE PALHADA**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 31 de Agosto de 2023

Paulo Cesar Conceicao, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Caroline Amadori, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Utfpr)

Dra. Jaqueline Pereira Machado De Oliveira, Doutorado - Universidade Federal de Pelotas (Ufpel)

Dr. Jeferson Dieckow, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Laercio Ricardo Sartor, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/09/2023.

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição pela amizade e confiança concedida em mais esta etapa de formação pessoal e profissional.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa de Manejo e Conservação do Solo que ajudaram nas atividades referentes execução do projeto durante os anos de condução.

Aos professores que, de modo especial, que participaram da minha formação desde minha a escola primária até a graduação e pós graduação.

À CAMP Sementes, empresa que criamos e incubamos na UTFPR de Dois Vizinhos, durante o período de doutoramento e que visa facilitar a cadeia de produção e venda de sementes de plantas de cobertura e com isso aumentar a adoção dessa prática no Brasil

Agradeço às instituições que financiaram parcialmente ou totalmente este trabalho de pesquisa, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do Doutorado Acadêmico em Inovação, sob processo SEI 23064.035573/2019-23, à Fundação Araucária, à Agrisus e à UTFPR.

Ao CNPQ pela concessão de bolsa de estudos. A UTFPR Campus Dois Vizinhos e Pato Branco, pelos professores, pela infraestrutura disponibilizada e aos profissionais de campo que auxiliaram nas atividades.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

CASSOL, Cidimar. Produtividade de sistemas: Aporte de carbono e nitrogênio e validação de tecnologias de manejo mecânico de palhada. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2023.

A adequada condução do sistema de plantio direto está associada à inserção planejada das plantas de cobertura no sistema de rotação e a adoção por extensionistas e produtores dependem da viabilidade em relação ao sistema usual dos produtores. Objetivamos realizar análise conjunta de dados de um experimento de longa duração para a seleção de sistemas de produção de milho em sucessão a plantas de cobertura hibernais em condições de clima subtropical sob Latossolo Vermelho. Também propor, testar e validar um modelo de mini rolo faca de acoplagem ao eixo frontal da semeadora para manejo mecânico de palhada, com foco em melhorar a plantabilidade e desenvolvimento da cultura do milho. O estudo 1 foi baseado em um experimento de longa duração iniciado em 2010, cultivado com sucessão de milho sobre plantas de cobertura hibernais solteiras e consorciadas, e duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha⁻¹). Para a análise da viabilidade técnica dos sistemas foi considerado o incremento de produtividade ao longo dos 10 anos, balanço da adição de massa seca, C e N ao solo pelas plantas de cobertura e milho, e análise de viabilidade econômica ao longo dos 10 anos. No estudo 2, foi utilizado um experimento com plantas de cobertura hibernais solteiras e consorciadas com épocas de dessecação antecedendo a semeadura do milho. As variáveis foram a produção de massa seca (MS) das plantas de cobertura, a plantabilidade em função do embuchamento do mini rolo acoplado a semeadora, germinação e produção de MS da cultura do milho. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. As plantas de cobertura utilizando aveia+ervilhaca (A+E), aveia+ervilhaca+nabo (A+E+N), nabo e fabáceas, proporcionaram ao milho produtividade de 5,8 e 7,0 Mg ha⁻¹, com 68 e 82% da produtividade média (8,6 Mg ha⁻¹) com o uso de N mineral, enquanto sobre sistemas com poáceas, chegou a 40% (3,5 Mg ha⁻¹). As plantas de cobertura promovem incrementos de rendimento da cultura do milho ao longo dos 10 anos, regulado pela capacidade de fornecimento de N. O milho apresenta maior participação na adição de MS líquida (73-77%), mas a capacidade de adição de MS das plantas de cobertura, aliada a capacidade de fornecer N é determinante para se obter sistemas de cultivo com maior aporte de massa seca líquida a superfície do solo. As adições de C seguiram o mesmo comportamento da adição de MS líquida. O balanço de N nos sistemas foi negativo na ausência de N mineral, variando de -25 a -60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para tremoço e nabo, respectivamente. Na presença de N mineral os maiores valores foram verificados para os sistemas com fabáceas, com balanço positivo anual de 120 kg N ha⁻¹. A viabilidade econômica das plantas de cobertura foi positiva para os sistemas consorciados e ervilhaca, sendo dependente do custo de aquisição das sementes e do custo da fonte de N. A utilização de consórcios, tendem a apresentar maior retorno econômico quando comparado a utilização de espécies de fabáceas solteiras. O uso do mini rolo melhorou a plantabilidade da cultura do milho e a população final de plantas nas safras 19/20 e 20/21, com população 15% superior ao sistema com utilização de semeadora. A produção de MS de milho na safra 20/21 foi superior em 15% quando realizado com mini rolos. O aumento de número de lâminas, de forma encontrada ou desencontradas reduz a ocorrência de embuchamentos no mini rolo. A utilização de protetores intercambiáveis pode evitar embuchamentos em condições específicas para sua ocorrência.

Palavras-chave: Plantas de cobertura. consórcios. matéria orgânica. solos subtropicais. *Zea mays*

ABSTRACT

CASSOL, Cidimar. Productive potential of systems: Carbon and nitrogen input and validation of mechanical straw handling technologies. 107 s. Thesis (Doctorate in Agronomy) - Postgraduate Program in Agronomy (Concentration Area: Plant Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2023.

The proper conduct of the direct planting system is associated with the planned insertion of cover crops in the rotation system and the adoption by extension agents and producers depends on the viability in relation to the producers' usual system. We aimed to carry out joint analysis of data from a long-term experiment to select corn production systems in succession to winter cover crops in subtropical climate conditions under Red Oxisol. Also propose, test and validate a model of mini knife roller coupling to the front axis of the seeder for mechanical straw management, with a focus on improving plantability and development of the corn crop. Study 1 was based on a long-term experiment started in 2010, cultivated with corn succession on single and intercropped winter cover crops, and two doses of nitrogen (0 and 180 kg ha⁻¹). To analyze the technical feasibility of the systems, the increase in productivity over the 10 years, the balance of the addition of dry mass, C and N to the soil by cover crops and corn, and the analysis of economic viability over the 10 years were considered. In study 2, an experiment was used with single and intercropped winter cover crops with desiccation periods preceding corn sowing. The variables were the dry mass (DM) production of the cover crops, plantability as a function of the bushing of the mini roller coupled to the seeder, germination and DM production of the corn crop. The experiments were conducted in a randomized block design in split plots with three replications. Cover crops using oat+vetch (A+E), oat+vetch+turnip (A+E+N), turnip and fabaceae, provided corn productivity of 5.8 and 7.0 Mg ha⁻¹, with 68 and 82% of the average productivity (8.6 Mg ha⁻¹) with the use of mineral N, while in systems with poaceae, it reached 40% (3.5 Mg ha⁻¹). Cover crops promote increases in corn crop yield over 10 years, regulated by the N supply capacity. Corn has a greater share in the addition of liquid DM (73-77%), but the capacity to add DM of cover crops, combined with the ability to supply N, is crucial to obtaining cultivation systems with a greater contribution of liquid dry mass to the soil surface. The additions of C followed the same behavior as the addition of liquid MS. The N balance in the systems was negative in the absence of mineral N, varying from -25 to -60 kg ha⁻¹ year⁻¹ for lupine and turnip, respectively. In the presence of mineral N, the highest values were observed for systems with fabaceous plants, with a positive annual balance of 120 kg N ha⁻¹. The economic viability of cover crops was positive for the intercropped and vetch systems, being dependent on the cost of acquiring the seeds and the cost of the N source. The use of intercrops tends to present a greater economic return when compared to the use of crop species. single fabaceae. The use of the mini roller improved the plantability of the corn crop and the final population of plants in the 19/20 and 20/21 harvests, with a population 15% higher than the system using a seeder. Corn DM production in the 20/21 harvest was 15% higher when carried out with mini rollers. The increase in the number of blades, whether aligned or mismatched, reduces the occurrence of bushings in the mini roller. The use of interchangeable protectors can prevent bushings in specific conditions for their occurrence.

Keywords: *Cover crops. consortia. organic matter. subtropical soils. Zea mays.*

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

A	Aveia
A+E	Aveia+Ervilhaca
A+E+N	Aveia+Ervilhaca+Nabo
C	Carbono
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
COT	Carbono orgânico total
E	Ervilhaca
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRAPDP	Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
M	Milho
MS	Massa seca
MSL	Massa seca líquida
N	Nabo
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio Atmosférico
NT	Nitrogênio total
PD	Plantio direto
PR	Unidade da Federação – Paraná
SPD	Sistema de Plantio Direto
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISAO DE LITERATURA	10
2.1 Matéria orgânica no solo.....	10
2.1.1 Adição, conversão e perda de carbono e nitrogênio no solo	10
2.2 Plantas de cobertura.....	12
2.3 Sistema Plantio Direto.....	15
2.4 Cultura do milho.....	17
2.5 Hipóteses.....	20
2.5.1 Experimento 1: Sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem N mineral	20
2.5.2 Experimento 2: Tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura	20
2.6 Objetivos.....	20
2.6.1 Objetivo geral Experimento 1: Sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem N mineral.....	20
2.6.1.1 Objetivos específicos.....	20
2.6.2 Objetivo geral Experimento 2: Tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura	21
2.6.2.1 Objetivos específicos	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Experimento 1: sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem n mineral	22
3.1.1 Descrição do local	22
3.1.2 Tratamentos e delineamento experimental	22
3.1.3 Condução do experimento 2010-2019.....	24
3.1.4 Descrição das avaliações	25
3.1.4.1 Plantas de Cobertura Hibernais	25
3.1.4.2 Cultura do Milho	25
3.1.5 Cálculos das adições de massa seca, nitrogênio e carbono ao longo do tempo	26
3.1.5.1 Produtividade de milho absoluta	26
3.1.5.2 Produção de MS das plantas de cobertura	26
3.1.5.3 Adição líquida de MS da cultura do milho	27
3.1.5.4 Incremento de produtividade de milho e massa seca de plantas de cobertura ao longo de 10 anos	28
3.1.5.5 Balanço de adição de massa seca por plantas de cobertura e milho.....	30
3.1.5.6 Balanço da adição de nitrogênio por plantas de cobertura e milho.....	30
3.1.5.7 Nitrogênio fixado biologicamente	30

3.1.5.8 Nitrogênio reciclado nas plantas de cobertura.....	31
3.1.5.9 Nitrogênio reciclado pelo milho	31
3.1.5.10 Nitrogênio total reciclado por plantas de cobertura e milho	32
3.1.5.11 Nitrogênio total adicionado no solo.....	32
3.1.5.12 Carbono adicionado pelas plantas de cobertura	33
3.1.5.13 Carbono adicionado pela massa seca do milho	33
3.1.5.14 Balanço da adição de C pelas plantas de cobertura e milho no solo	34
3.1.5.15 Análise da viabilidade econômica dos sistemas de cultivos.....	34
3.1.5.16 Análise estatística	35
3.2 Experimento 2: tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura	35
3.2.1 Descrição do local	35
3.2.2 Tratamentos utilizados.....	35
3.2.3 Condução Safra 19/20	35
3.2.4 Condução Safra 20/21	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Resultados e discussão experimento 1: sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem n mineral	41
4.1.1 Produtividade de grãos e adição de MS por plantas de cobertura e milho ao longo de 10 anos.....	41
4.1.1.1 Produtividade de grãos de milho ao longo de 10 anos	41
4.1.1.2 Produção de massa seca de plantas de cobertura ao longo dos 10 anos.....	46
4.1.1.3. Adição de massa seca de milho na maturação fisiológica ao longo dos 11 anos ...	50
4.1.1.4. Balanço das adições de massa seca por plantas de cobertura e milho ao longo de 11 anos.....	52
4.1.2 Aporte de C e N por plantas de cobertura e milho com e sem N mineral ao longo de 10 anos.....	54
4.1.3 Análise de viabilidade econômica de sistemas de cultivo de milho em sucessão a plantas de cobertura do longo de 10 anos	60
4.1.4 Potencial produtivo do sistema.....	66
4.1.4.1 Interações entre os componentes	68
4.2 Resultados e discussão experimento 2: tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura	77
4.2.1 Avaliação do desempenho Rolo Max sobre plantas de cobertura na semeadura da cultura do milho nas safras 19/20 e 20/21	77
4.2.1.1 Safra 19/20.....	77
4.2.2.2 Safra 20/21.....	82
5. CONCLUSÕES.....	86
5.1 Conclusões sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho	

com e sem n mineral	86
5.2 Conclusões tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura	86
6. REFERÊNCIAS	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cultivares de milho, espaçamento, adubação de base, expectativa de rendimento, formulação NPK utilizada e dose de ureia aplicada de 2010 a 2019.....	24
Tabela 2. Produtividade de milho em sucessão a plantas de cobertura hibernais e duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 10 anos.....	42
Tabela 3. Incremento de produtividade de milho em função de plantas de cobertura e doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) após 10 anos de condução	45
Tabela 4. Produção de MS de plantas de coberturas hibernais durante 10 anos após cultivo de milho com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N.....	47
Tabela 5. Incremento produção de MS de plantas de cobertura hibernais ao longo de 10 anos sobre doses residuais de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N mineral.....	50
Tabela 6. Produção de MS de milho na maturação fisiológica em sucessão a plantas de cobertura hibernais e duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos	51
Tabela 7. Balanço da adição de MS das plantas de cobertura e milho sobre duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos	53
Tabela 8. Quantidade média (11 anos) anual de C adicionado sobre o solo de plantas de cobertura, milho e trigo mourisco.....	55
Tabela 9. Quantidades médias anuais estimadas de nitrogênio adicionado, reciclado e retirado nos sistemas de plantas de cobertura e milho, com e sem adubação nitrogenada	57
Tabela 10. Porcentagem de nitrogênio derivado da fixação biológica em ervilhaca consorciada e solteira e tremoço branco em diferentes doses de N residual, dados médios 11 anos.....	58
Tabela 11. Quantidade média anual de N total reciclado, adicionado e depositado sobre o solo	59
Tabela 12. Custos médios de 10 anos para plantas de cobertura/milho e custos considerando a equivalência (Eq) em ureia para os sistemas de 2010 a 2019.....	61
Tabela 13. Custos da produção de milho em sucessão a plantas de cobertura na média de 10 anos sobre doses de N e considerando a contribuição de cada sistema de cobertura pelo N.....	62
Tabela 14. Produtividade média (10 anos) milho sobre plantas de cobertura e doses de N mineral e produtividade considerando a equivalência em N mineral	62
Tabela 15. Receita bruta com a venda do milho na média de 10 anos sobre plantas de cobertura doses de N e considerando N equivalente para cada sistema	63
Tabela 16. Lucro de sistemas de produção de plantas de cobertura/milho e doses de N na	

média de 10 anos	63
Tabela 17. Custos parciais médios para sistemas de plantas de cobertura/milho e custos considerando a equivalência (Eq) em ureia para os sistemas no ano safra 2021.....	64
Tabela 18. Lucro de sistemas de produção de plantas de cobertura/milho e doses de N para safra 2021	65
Tabela 19. Comportamento médio dos componentes do potencial produtivo médio dos 10 anos para sistemas nas doses de 0 e 180 kg de N mineral.	74
Tabela 20. Número de paradas por embuchamento em função de plantas de cobertura, manejo de semeadura e épocas de dessecação antes da semeadura. Safra 19/20	79
Tabela 21. Germinação de milho (mil plantas ha⁻¹) em função de plantas de cobertura, épocas de dessecação (0, 12 e 26 dias antes da semeadura) e manejo de semeadura. Safra 19/20	80
Tabela 22. Germinação de milho (plantas ha⁻¹) em função de épocas de dessecação (0, 12 e 26 dias antes da semeadura) e do manejo de semeadura. Safra 19/20.....	81
Tabela 23. Produção de massa seca de plantas de cobertura em dessecação antecipada e sem dessecação para semeadura da cultura do milho. Safra 20/21	82
Tabela 24. Número de paradas por embuchamento em função da utilização do Rolo Max com proteção (CP) e sem proteção (SP) contra embuchamento sobre plantas de cobertura dessecados e não dessecados (verde). Safra 20/21.....	83
Tabela 25. Número de paradas por embuchamento em função da utilização do Rolo Max com proteção (RCP) e rolo sem proteção (RSP) contra embuchamento sobre consórcio de aveia, nabo e centeio (verde) em cada conjunto na semeadora. Safra 20/21	84
Tabela 26. Germinação de milho (mil plantas ha⁻¹) semeado sobre plantas de cobertura verdes e dessecadas utilizando Rolo Max ou somente semeadora. Safra 20/21	85
Tabela 27. Produção de massa seca de milho semeado sobre plantas de cobertura verdes e dessecadas utilizando Rolo Max ou somente semeadora. Safra 20/21	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem área do experimento com milho aos 79 dias após a semeadura mostrando a distribuição dos blocos e doses de nitrogênio. Safra 19/20	23
Figura 2. Croqui com os tratamentos de sistemas de plantas de cobertura e milho (M) com doses de N mineral.....	23
Figura 3. Relação entre massa seca do milho na maturação fisiológica e produtividade de massa seca de grãos, no ano agrícola de 22/23, em experimento com oito sistema de culturas e dois níveis de N mineral	27
Figura 4- Rolo Max no eixo frontal da semeadora (A) Semeadora apenas acoplada ao trator sem sistema de rolos frontais (B).....	37
Figura 5. Semeadora com Rolo Max com e sem proteção contra o embuchamento no eixo central	38
Figura 6. Protetores intercambiáveis para proteção de pontos de embuchamento no Rolo Max. Safra 20/21	39
Figura 7. Protótipos de Rolo Max com modificações no número de lâminas. Dobro do número de lâminas desencontradas (A) e dobro do número de laminas encontradas (B) Safra 20/21.....	40
Figura 8. Produtividade de milho ao longo de 10 anos em sucessão a plantas de cobertura hibernais e doses de 0 (a) e 180 (b) kg ha⁻¹ de N mineral.....	44
Figura 9. Produção de MS de plantas de cobertura hibernais ao longo de 10 anos sobre doses residuais de 0 (a) e 180 (b) kg ha⁻¹ de N mineral.....	49
Figura 10. Balanço da adição de MS das plantas de cobertura e milho sobre duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos	54
Figura 11. Quantidade média (11 anos) anual de C adicionado sobre o solo de plantas de cobertura, milho e trigo mourisco.....	56
Figura 12. Quantidades anuais médias de N adicionadas ao solo pelas plantas de cobertura, em duas doses de N mineral.....	60
Figura 13. Componentes que compõem a potencial produtivo total de um sistema	67
Figura 14. Interações dos componentes do potencial de produtivo do sistema em função das adições de C e N pela biomassa de plantas de cobertura e de N mineral fertilizante	69
Figura 15. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com alta adição de C e baixa de N associado a baixa fertilização com N mineral na cultura do milho.....	70
Figura 16. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos	

em função da utilização de sistema de planta de cobertura com alta adição de C e baixa de N associado a alta fertilização com N mineral na cultura do milho71

Figura 17. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com baixa adição de C e alta de N associado a baixa fertilização com N mineral na cultura do milho- E= Ervilhaca..72

Figura 18. Comportamento dos componentes do potencial de produtivo do sistema ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com baixa adição de C e alta de N associado a alta fertilização com N mineral na cultura do milho. E= Ervilhaca.....73

Figura 19. Comportamento dos componentes potencial de produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral75

Figura 20. Comportamento dos componentes do potencial de produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral.....76

Figura 21. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral77

Figura 22 - Produção de massa seca de plantas de coberturas em função da época de dessecação aos 26, 12 e 0 dias antes da semeadura (ADS) do milho. Safra 19/20.....78

Figura 23. Início do processo de embuchamento do equipamento Rolo Max.....80

1 INTRODUÇÃO

O solo possui o segundo maior reservatório de carbono (C) do planeta, constituído e armazenado na forma de matéria orgânica do solo (MOS), a qual é formada de material de origem biológica viva e morta, esta última em diferentes níveis de decomposição e com tamanho inferior a 2 mm. A parte morta representa aproximadamente 96% do C presente do solo tendo em sua constituição C, (52 a 58%), O (34 a 45%), seguido de N e H (3,3 a 7%). S e P, apresentam-se com teores inferiores a 2% (DICK et al., 2009)

A dinâmica da MOS é avaliada principalmente pelas variações dos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) ao longo do tempo, a qual tem sido utilizada como indicador chave para avaliação da qualidade do solo, devido a sua interação com atributos (físicos, químicos e biológicos) essenciais para que o solo desempenhe suas funções (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Nos sistemas de produção nas diferentes formas de uso e manejo, a dinâmica da MOS é influenciada em maior grau pela mineralogia das frações areia, silte e argila, pela textura do solo, espécies de plantas utilizadas, rotações de cultura, adubação nitrogenada e das condições edafoclimáticas que controlam a produção de biomassa vegetal e os processos de decomposição e síntese de MOS.

O sistema plantio direto (SPD) tem demonstrado elevado potencial em aumentar os estoques de COT e NT, através de utilização de sistemas de cobertura diversificados, com elevada adição de resíduos em quantidade e qualidade e que promovem o aumento da capacidade produtiva do solo.

Não obstante, outros obstáculos relacionados a tecnologias de manejo de palha das plantas de cobertura, para semeadura das culturas de grãos, devem ser superados, como a validação de tecnologias para garantir a plantabilidade e produtividade da cultura em sucessão em função da alta adição de resíduos proporcionados pelas plantas de cobertura sobre a superfície do solo, e que dificultam o processo de semeadura e desenvolvimento inicial das plântulas das culturas comerciais.

As avaliações adequadas destas práticas de forma a selecionar sistemas com maior potencial necessitam de experimentos de longa duração, onde modelos de comportamento da dinâmica da MOS podem ser empregados e validados. Estes modelos matemáticos têm como objetivo prever o comportamento de determinada prática de manejo quanto a variação dos estoques de COT e NT no solo ao longo dos anos, e assim sugerir as práticas adotadas de forma a buscar manejos mais sustentáveis a longo prazo.

No Brasil, a agricultura é baseada predominantemente no modelo quimicista, onde se utiliza produtos químicos para realização do manejo das plantas de cobertura em pré-semeadura das culturas de grãos. Modelo este, que dificulta a realização da semeadura em algumas situações em função da cultura manejada permanecer ereta, acarretando em embuchamento da semeadora e redução do desempenho.

As semeadoras desenvolvidas para o sistema de plantio direto dispõem de tecnologias restritas para manejo de palha, como os discos de corte e os discos tapadores de linha, que em condições de alta quantidade de material vegetal sobre o solo são ineficazes (CASÃO JUNIOR, 2019).

Alternativas para este problema surgiram na década de setenta com o desenvolvimento do rolo faca, em função do aumento da utilização de plantas de cobertura decorrente da ascensão do sistema de plantio direto. No entanto, em 1972 com o surgimento da molécula de defensivo glifosato que apresentava alta eficiência e custo relativamente baixo para o manejo de dessecação e semeadura das culturas de grãos, o equipamento teve uma redução gradativa na sua utilização para realização do manejo das plantas de cobertura.

Sabe-se que a capacidade competitiva das culturas de grãos com as plantas daninhas é aumentada quando a semeadura é realizada mais próxima à data de dessecação (RIZZARDI et al., 2003). Já a semeadura do milho logo após a dessecação (Aplique-Plante) da aveia pode acarretar germinação desuniforme e desenvolvimento inicial inadequado (estiolamento) (CALEGARI et al., 1988), em função da grande quantidade de palhada com “arrepimento”.

Dessa forma, o estudo de mecanismos para superar tais problemas e que possam proporcionar vantagens no desenvolvimento inicial das culturas de grãos deve ser testado e validado a fim de estimular a adoção de práticas conservacionistas com sistemas de alta capacidade de aumentar os estoques de N e C do solo e conseqüentemente aumentar o potencial produtivo das culturas de grãos cultivadas no Brasil.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 Matéria orgânica no solo

2.1.1 Adição, conversão e perda de carbono e nitrogênio no solo

A adição de compostos orgânicos primários ao solo ocorre por intermediação dos vegetais durante o processo de fotossíntese, onde é utilizado energia solar, CO₂ do ar, água e nutrientes do solo ou no caso das fabáceas parte do nitrogênio utilizado é oriundo da fixação biológica de nitrogênio. A incorporação desses resíduos ao solo ocorre, principalmente por microrganismos heterotróficos, os quais consomem estes resíduos vegetais e a matéria orgânica do solo para obtenção energia. No processo de consumo desses resíduos (decomposição/oxidação) ocorre a liberação de CO₂ para a atmosfera, nutrientes e vários compostos secundários oriundos do metabolismo microbiano, e que passam a compor a matéria orgânica do solo (MOS) (VEZZANI, 2001).

A MOS pode ser definida como todo material de origem biológica viva e morta, sendo a parte morta em diferentes níveis de decomposição, as quais por sua vez passam por uma peneira de 2 mm (DICK et al., 2009; PRIMO et al., 2011). O C que é fotossintetizado e se encontram na estrutura dos organismos vivos e não vivos que compõem a matéria orgânica do solo (MOS). Sendo raízes de plantas e organismos do solo representantes da parte viva, com até 4% do carbono orgânico total (COT) e a parte morta contribui com até 98%, sendo constituída por resíduos de plantas em decomposição, substâncias humificadas e não humificadas, sendo a sua variação dependente de práticas de manejo (PRIMO et al., 2011).

A MOS se encontra, portanto, em compartimentos tanto dentro da parte viva como da parte morta, podendo o carbono se acumular em frações mais lábeis ou estáveis da MOS, o que pode ter implicações quanto a durabilidade do seu efeito na retenção do CO₂ atmosférico, bem como nas propriedades físicas químicas e biológicas do solo sob sistema de plantio direto (PULROLNIK, 2009; RIBEIRO et al., 2011).

O solo nas suas diferentes formas de uso e manejo possui capacidade limitada no tempo, tanto de acumular C como de perder e está capacidade está intimamente relacionada com suas características de textura (areia, silte e argila) e mineralogia, do sistema de manejo, espécies utilizadas, rotações de culturas, adubação e das condições edafoclimáticas que controlam os processos de decomposição da massa vegetal aportada ao solo e sua transformação/síntese de MO (BAYER et al., 1999; LOVATO, 2001; LOVATO et al., 2004; CAMPOS et al., 2011; BALIN et al., 2017)

Em um sistema convertido do ambiente natural para plantio direto em que se tem baixa adição de C e N nos primeiros anos, há uma tendência de se ter uma queda acentuada nos estoques de COT e nitrogênio total (NT) no solo. No entanto, essa taxa com o passar do tempo reduzirá gradativamente até um valor baixo tendendo a ficar estável. Nesse ponto, somente restará a MOS mais protegida a qual os organismos decompositores não conseguem acessar facilmente.

A textura e a mineralogia do solo possuem forte interação com os compostos orgânicos apresentando correlação positiva com a MOS (FENG et al. 2013). Deste modo, solos com maior teor de argila tendem a ter maior teor de MOS (DICK et al., 2009) e conseqüentemente apresentam menor magnitude de perdas quando comparados a solos com menor teor de argila, quando submetidos a práticas de revolvimento do solo (BAYER et al., 1999). Neste estudo, num Argissolo a taxa de decomposição da MOS no plantio convencional foi 86% maior que a verificada no plantio direto. Entretanto, em um Latossolo vermelho distroférico que apresentava elevados teores de argila, caulinitas e óxidos de ferro, a taxa de decomposição verificada no preparo convencional foi 17% superior ao plantio direto.

Os organismos (fungos e bactérias) responsáveis pelo processo de decomposição da biomassa vegetal adicionada a superfície do solo apresenta relação C/N média próxima a 8:1, ou seja, precisam incorporar oito partes de C para uma parte de N. Durante o processo de decomposição cerca de 1/3 do C é incorporado às suas estruturas e o restante é liberado na forma de CO₂. Desse modo os organismos precisam incorporar 1 g de nitrogênio para cada 24 g de C (BRADY e WEIL, 2013). Esta relação C/N de equilíbrio para os microrganismos do solo sugere qual será o grau de conversão do C em MOS, ou seja, de um total de 5 Mg ha⁻¹ de massa seca (MS) adicionada que contém aproximadamente 40% de C na sua composição (2 Mg ha⁻¹ de C), somente 660 kg serão convertidos em MOS anualmente.

A conversão do carbono adicionado pelas plantas em MOS é dependente da qualidade dos resíduos vegetais, como relação C/N, lignina/N e polifenóis/N, pois altera diretamente a taxa de decomposição, mineralização ou imobilização do N do solo. Quando ocorre o aporte ao solo de resíduos de elevada relação C/N, ou seja, de difícil decomposição, ocorrerá acúmulo de C e nutrientes nos compartimentos mais protegidos, pois o processo de humificação será favorecido. Já a adição de resíduos de baixa relação C/N que apresentam rápida decomposição favorecerá o aumento de nutrientes e C nas frações mais lábeis da MOS, resultando em ciclagem mais rápida de nutrientes no sistema (RIBEIRO et al., 2011).

No sistema de plantio direto a utilização e diversificação das culturas na rotação com fabáceas, poáceas favorece o aumento do aporte de resíduos e dessa forma o aumento do aporte

de N e C no sistema em relação a sucessão trigo-soja (JANTALIA et al., 2003). O uso de fabáceas no sistema associado a maior diversidade de espécies aumenta de forma significativa os estoques de NT e COT no solo (AMADO et al., 2001), pois com o aumento da diversidade de espécies e adição de resíduos ao solo com amplitudes na relação C/N evita-se perda de N liberado pelas culturas de baixa relação C/N, o qual é imobilizado para decompor os resíduos das culturas de alta relação C/N como poáceas, contribuindo para formação de compostos húmicos nestas condições (RIBEIRO et al., 2011).

O aumento dos estoques de COT no solo está diretamente correlacionado com o aumento do N do solo (MACEDO, 2007), sendo que a associação de N de resíduos orgânicos com N mineral promove maior eficiência de transformação de N mineral em humina, fração mais decompostas e estável da MOS. Embora esse aumento seja pequeno, mas a longo prazo pode resultar em grandes diferenças nos estoques de MOS (MORAN et al., 2005). Além disso, o N orgânico fixado pelas fabáceas se mostrou a forma preferencial utilizada pelos microrganismos do solo no processo síntese microbiana de substâncias húmicas.

Deste modo, pode-se sugerir que ao longo do tempo sistemas que apresentem biomassa adicionada ao solo com relação C/N próximas a estes valores de equilíbrio (24/1), associadas a adição de N mineral tenderão a proporcionar ao solo maior síntese de MOS pelos microrganismos.

2.2 Plantas de cobertura

O uso de plantas de cobertura, visando a melhoria da fertilidade do solo é uma técnica agrícola muito antiga, sendo a civilização chinesa a primeira desempenhar essa atividade, adicionando resíduos vegetais ao solo e posteriormente incorporando-os para promover o seu efeito de fertilizar o solo (1134-247 a.C). Depois dos chineses, os gregos e romanos passaram a utilizar plantas de cobertura como o tremoço e a fava, para aumentar os teores de matéria orgânica e a produtividade das culturas em sucessão (PIETERS, 1927). A observação dos resultados benéficos da adubação verde fez com que essa prática fosse utilizada por mais de dois mil anos, apesar de não ter nenhuma explicação técnica ou científica sobre o motivo desses benefícios (ROSSI; CARLOS, 2014).

No Brasil, o primeiro registro oficial sobre adubos verdes data do ano de 1919 e relata que o êxito na prática das plantas de cobertura depende do estudo e da escolha das espécies de acordo com a cultura que se pretende beneficiar, das características edafoclimáticas e das circunstâncias socioeconômicas locais. O conceito na época deixava explícito uma “visão

química”, cujo requisito era a incorporação da massa vegetal ao solo, com objetivo de melhorar sua fertilidade, passando na década 90 a ter uma visão mais “integral e holística” onde foram atendidos os aspectos de solo (proteção e recuperação física, química e biológica), dos animais (forragens), do homem (alimentação, fibras, produção sementes etc.) e do ambiente (diminuição dos impactos ambientais da agricultura e o sequestro do C). A definição também incorpora a possibilidade de utilização de outras famílias botânicas incorporadas ou não ao solo (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

A utilização de plantas de coberturas possibilita diversos benefícios para os sistemas de cultivo, tais como: a formação de cobertura vegetal para proteção do solo contra erosão, aporte de nitrogênio (no caso das fabáceas), 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; AMBROSANO et al., 2014).

Em relação às modalidades de semeadura no Brasil (WILDNER, 2014), as plantas de cobertura são classificadas e agrupadas de acordo com o período de semeadura, identificando-se três modalidades básicas: plantas de cobertura de primavera/verão, outono/inverno e verão/outono. O ciclo das plantas de cobertura para cada modalidade varia de acordo com as características climáticas do local e características fenológicas das plantas.

As de primavera/verão referem-se à semeadura que se estende de setembro/outubro a janeiro/fevereiro. Já seu ciclo vegetativo, poderá se estender até maio/junho (por ocasião da ocorrência de geadas). Quando semeadas na época recomendada (setembro/dezembro), apresentam grande produção de biomassa e elevado aporte N (quando fabáceas). No entanto, nessa época competem por área com espécies comerciais, dessa forma apresentando baixa aceitação pelos agricultores.

As espécies mais conhecidas nessa modalidade são: crotalária juncea (*Crotalaria juncea*); crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*); feijão de porco (*Canavalia ensiformes*); guandu anão (*Cajanus cajan*); lab-lab (*Dolichos lablab*); mucuna preta (*Stiolozobium aterrimum*); mucuna rajada (*Mucuna deeringiana*), mucuna cinza (*Mucuna pruriens* L.); Leucena (*Leucena leucocephala*); caupi (*Vigna unguiculata*) entre outras.

A adubação com plantas de cobertura de outono/inverno diz respeito à semeadura que

inicia em março e estende-se até junho, com ciclo variando do mês de agosto até o mês dezembro. Essa modalidade é a mais conhecida e adotada pelos agricultores na região sul do país. O seu cultivo foi difundido a partir do ano de 1971, com trabalhos realizados por Miyassaka, cujo objetivo era viabilizar a utilização de fabáceas durante a entressafra das culturas econômicas de verão (CALEGARI et al., 1993). O período de crescimento dessas plantas de cobertura coincide com o período que muitas áreas na região Sul do Brasil permanecem em pousio, período no qual o solo corre risco de erosão, proliferação de plantas daninhas, comprometendo dessa forma a produtividade de culturas tanto de inverno como de verão.

As espécies mais empregadas nessa modalidade são: aveia preta (*Avena strigosa* Schred.), aveia branca (*Avena sativa* L.) ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth.), ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço branco (*Lupinus albus* L.), tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.) centeio serrano (*Secale cereale* L.), azevém comum (*Lolium multiflorum* L.). Estas espécies podem cultivadas individualmente ou em consórcios.

A adubação com plantas de cobertura verão/outono é uma variante tanto da modalidade de primavera/verão quanto de outono/inverno. Essa modalidade procura viabilizar a semeadura de plantas de cobertura estivais (verão) em sucessão às plantas de interesse comercial (milho, soja e feijão) em semeaduras tardias e, semeaduras antecipadas de plantas de cobertura hibernais (inverno). O manejo dessas plantas pode ser realizado em junho com o objetivo de implantar a cultura do trigo (VIOLA et al., 2013; NETO et al., 2017) ou deixar as espécies vegetando até o mês de agosto onde se realiza o manejo para posterior semeadura da cultura do milho (CIESLIK, 2014).

Apesar da grande diversidade de espécies de plantas de cobertura para serem exploradas nas modalidades de cultivo: primavera/verão, outono/inverno e verão/outono, verifica-se ainda pouca exploração dessa diversidade, visto que conforme dados de Pessoa (2015) referentes ao Rally da Safra de 2015, os tipos de resíduos mais comuns que antecedem a cultura do milho na região sul são de aveia com 56% e de trigo com 24%. Dessa forma, um dos grandes desafios para os pesquisadores da área de manejo e conservação do solo é estimular a inserção de espécies para cobertura do solo, mediante conscientização dos agricultores, de que a adoção dessa prática é de extrema importância para se atingir parcialmente as premissas básicas do SPD (ZIECH, 2016). Dessa forma, pode-se reduzir as áreas que são mantidas em pousio, que no Paraná chega a 28% das áreas cultivadas durante a safra (SEAB/DERAL, 2023).

No Brasil, poucos estudos têm realizado análise de viabilidade econômica do uso de

plantas de cobertura na renda líquida da cultura do milho. Na depressão central do Rio Grande do Sul, Amado (1997), verificou que a utilização do sistema aveia/milho sem adubação nitrogenada provocou um prejuízo de R\$ 113,00 ha⁻¹. Já o sistema ervilhaca comum/milho resultou numa receita líquida de R\$ 154,00 ha⁻¹, demonstrando o potencial da fabácea na viabilização da cultura do milho. Em Latossolo Vermelho no município de Chapecó em Santa Catarina, Spagnollo (2001) verificou que o cultivo intercalar das fabáceas estivais com a cultura do milho promoveu incrementos na receita líquida que variaram de R\$ 64 a 312 ha⁻¹ no plantio convencional, e de R\$ 57 a 147 ha⁻¹ (79 a 204%), no preparo reduzido, na ausência de adubação nitrogenada.

Na região Sudoeste do Paraná, Ziech (2016) em análise da safra 14/15, verificou que o sistema ervilhaca comum/milho e nabo forrageiro/milho na ausência de N mineral, comparados a aveia/milho + 180 kg ha⁻¹ de N, apresentaram saldo positivo de R\$ 128,00 e R\$ 57,00 ha⁻¹ respectivamente. Já o sistema consorciado aveia+ervilhaca+nabo/milho sem adubação nitrogenada apresenta retorno econômico semelhante ao sistema aveia/milho + 180 kg ha⁻¹ de N, se considerado o custo com aplicação de ureia.

Em função desse contexto, ainda se faz necessário maiores esclarecimentos sobre a viabilidade de sistemas de produção de milho contabilizando o efeito, a médio e longo prazo, de diferentes espécies nas condições edafoclimáticas específicas de cada região e, voltadas às condições socioeconômicas locais.

2.3 Sistema Plantio Direto

Nos climas tropical e subtropical, os sistemas de manejo de solo, visando à conservação, a produtividade do solo e à expressão do potencial genético das culturas de grãos, devem ter como princípios o mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. O Sistema de Plantio Direto (SPD) é um dos principais exemplos desses princípios, pelo menos no que tange ao mínimo revolvimento do solo (AMADO et al., 2014).

O conceito de SPD passa por algumas controvérsias, pois não é praticado na sua essência, dessa forma, surge na literatura novas definições buscando defini-lo de acordo como ele realmente é praticado pelos produtores e mensurado pelos censos de pesquisa. Nesse novo conceito o plantio direto (PD), é definido como prática de manejo no qual o solo não sofre perturbação mecânica de base permanente, e a semeadura nas lavouras ocorre em sulcos abertos por uma semeadora diretamente na superfície coberta com biomassa de cultura, de safras

anteriores, de safras de cobertura e safras semeadas e que permanecem na superfície do solo (LLANILLO et al., 2021). Sendo os produtores que adotam e respeitam os pilares do SPD, estão praticando na sua essência, a agricultura de conservação.

Atualmente o PD é empregado pela maioria dos produtores brasileiros em 32,9 milhões de hectares (IBGE, 2021). No Brasil, PD na palha, 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).

Posteriormente, 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 (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008). Entretanto, sem aumentos significativos nas primeiras décadas de adoção.

A área em PD só passou a ter um aumento expressivo na década de 90, passando de um milhão de hectares para 14,3 milhões de hectares no ano de 2000, sendo que na última estimativa realizada no ano de 2017 a área em plantio direto estava em aproximadamente de 32,9 milhões de hectares (IBGE, 2021) sendo que deste total o estado do Paraná apresenta 4,9 milhões de hectares cultivados em PD (IBGE, 2021).

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 à 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 das emissões de gases do efeito estufa e, contribuindo para a redução do aquecimento global (ABEAS/LANDERS, 2005).

A utilização de plantas de coberturas é fundamental para viabilização do sistema de plantio direto, embora, com início da revolução verde tenha perdido temporariamente sua importância, devido o surgimento e desenvolvimento de máquinas, equipamentos e insumos modernos, foi a sua utilização que promoveu um salto de qualidade na agricultura, tornando-se componente fundamental nos arranjos de sucessão e rotação de culturas, possibilitando a viabilização dos sistemas de cultivos (WILDNER, 2014).

No cenário nacional, quando comparado às médias de área, produção e rendimento, nas primeiras dez safras da cultura do milho na década de 70 (início do PD) com as médias das

últimas dez safras (2011 a 2019) os aumentos foram de 35% na área, 326% na produção de grãos e 212% na produtividade (CONAB, 2021). Esses avanços só foram possíveis graças ao melhoramento genético de plantas e a adoção do PD que possibilitou às plantas maior expressão do potencial genético.

O SPD representa um dos maiores avanços conservacionistas para o sistema de produção em nosso país. No entanto, atualmente passa por um período de fragilidade, associado à ausência da adoção de suas premissas básicas, sejam elas a baixa adição de palhada, rotação de culturas e mínimo revolvimento do solo.

Os princípios do SPD podem ser obtidos de forma eficiente e econômica pela utilização de plantas de cobertura do solo estivais ou hibernais, aproveitando as entre safras das culturas de grãos, dessa forma não há competição com as culturas comerciais, mas sim uma modificação positiva quanto à redução de custo e aumento da rentabilidade.

2.4 Cultura do milho

O milho (*Zea mays*) é um dos principais cereais cultivados 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. Estima-se que há mais de 3.000,00 derivados do milho tanto para consumo humano como industrial, representando em torno de 21% da nutrição humana no planeta (SEAB/DERAL, 2018).

A cultura do milho destaca-se por ser a primeira cultura de grãos a atingir a marca de um bilhão de toneladas produzidas mundialmente, na safra 2014/15. A produção mundial de milho na safra 2019/20 foi de 1.125,0 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores os Estados Unidos, China e Brasil, responsáveis por 32, 23 e 9% da produção mundial respectivamente (USDA, 2021).

A expectativa de produção para safra 2020/21 está em 1.190,00 milhões de toneladas e o consumo em 1.173,00 milhões de toneladas. Esta elevada demanda já ocorre desde 2013, onde o consumo foi 37,1 milhões de toneladas superior ao produzido. Este cenário faz com que todos os anos os estoques mundiais baixem, o que está proporcionado o aumento dos preços nos últimos anos (USDA, 2021).

Segundo projeções do SISTEMA FARSUL utilizando dados USDA (2017), a demanda pelo grão no período 2016-2026 continua aumentando, sendo 52% (103,48 milhões) na Ásia, 39% (77,29) na América, 7% (13,36) África e 2% (4,63 milhões) na Europa.

A cultura do milho no Brasil ocupa 27% da área agricultada do país com uma produção

de 102,5 milhões de toneladas e representa 40% do total de grãos produzidos no país. A média de produtividade mostra aumentos consideráveis com o decorrer dos anos, sendo registrado produtividades de 6,0 e 5,5 Mg ha⁻¹ entre safra e safrinha no ano agrícola 2019/20 (CONAB, 2021).

O Paraná é o segundo maior produtor de milho do país com produção de 14,5 milhões de toneladas e com produtividade média do milho na safra 2019/20 variando entre 10,0 a 4,5 Mg ha⁻¹ na primeira e segunda safra, respectivamente, ficando entre os estados com a maior produtividade do país (CONAB, 2021).

Do total produzido de milho no Paraná nos últimos anos, em média 20% é destinado ao mercado externo (MAPA, 2018) e, os 80% restantes são destinadas principalmente às atividades pecuárias, mais especificamente para avicultura e suinocultura (SEAB/DERAL, 2013). Essas atividades são expressivas e fundamentais no desenvolvimento socioeconômico da região, uma vez que a avicultura, produção de milho e suinocultura ocupam o segundo (15,27%), terceiro (8,25%) e quinto (4,08%) lugares respectivamente do Valor Bruto da Produção (VBP) do estado do Paraná. Em primeiro e quarto lugar destaca-se a produção de soja com 21,84% e leite com 5,73% do VBP respectivamente. (FAEP, 2018).

No que diz respeito ao potencial produtivo da cultura do milho, os produtores brasileiros já vêm obtendo sistematicamente rendimentos de milho superiores a 12 Mg ha⁻¹ (200 sacas/ha⁻¹), não sendo raros aqueles que produzem mais do que 14 Mg ha⁻¹ (MIRANDA et al., 2013). Entretanto, estes resultados são encontrados em regiões com produtividades médias bem inferiores, demonstrando uma grande variação entre os sistemas de cultivo em uso no Brasil. Em função dessa grande variabilidade, o Brasil dispõe de um grande potencial de aumento da produção por aumento de produtividade.

Entre os fatores que ajudaram a compor este cenário, destaca-se o sistema de produção de milho em plantio direto, que praticamente foi adotado por unanimidade entre os produtores de milho comercial, possibilitando vantagens como redução da erosão, controle da temperatura, e aumento da capacidade de armazenamento de água no solo (OLIVEIRA et al., 2015).

Neste sistema, se recomenda elevar a disponibilidade de nitrogênio na forma mineral, principalmente quando a cultura antecessora for da família das poáceas (BASSO E CERRETA, 2000), em função da imobilização temporária de nitrogênio (N) na biomassa microbiana em função da alta relação C: N (>30:1) dos resíduos da espécie de cobertura. O nitrogênio também é um dos nutrientes requeridos em maiores quantidades pela cultura do milho e considerado um dos principais limitantes para obtenção de altas produtividades (LIU; WIATRAK, 2011) sendo também um dos que mais oneram os custos de produção (SOUZA et al., 2012).

No Brasil, a principal forma de fornecimento de nitrogênio a cultura do milho se dá mediante a aplicação de ureia em cobertura. No entanto, essa fonte de nitrogênio utilizada apresenta elevada suscetibilidade às perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (NH_3) (FRAZÃO et al., 2014). E quando não respeitados os aspectos técnicos para sua utilização, pode causar grandes perdas econômicas e também danos ambientais. Uma forma alternativa de atender a necessidade de nitrogênio pela cultura do milho é pela utilização de plantas de cobertura capazes de fazer a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (N_2), podendo reduzir parcialmente ou totalmente a utilização da adubação nitrogenada (CHERUBIN et al., 2014).

A utilização de plantas de cobertura antecedendo a cultura do milho em plantio direto determinando aspectos técnicos é um assunto relativamente bem documentado (AITA et al., 2001; HEINRICHS et al., 2001; AMADO et al., 2002; GIACOMINI et al., 2004; SILVA et al. 2006; CARVALHO et al., 2007; DA SILVA et al., 2010; DONEDA et al., 2012; LÁZARO et al., 2013; ALBUQUERQUE et al., 2013; DAHLEM, 2013; CHERUBIN et al 2014; ZIECH et al. 2016). Embora apresentem grande potencial para reduzir a demanda por insumos e aumentar a sustentabilidade do sistema de produção, verifica-se mínima adoção dessas técnicas, restringindo-se a poucas propriedades, o que pode estar relacionado ao não conhecimento sobre estas espécies, dificuldade de aquisição de sementes e ainda, falta de demonstração do impacto econômico positivo dessas espécies em relação ao sistema tradicional de cultivo.

Nos últimos anos, a estreita margem entre custo de produção versus preço recebido por saca de milho produzido vem deixando produtores preocupados em relação à viabilidade econômica da cultura do milho. Dessa forma, se torna imprescindível a adoção de práticas de cultivo que possam reduzir os custos de produção.

Considerando a importância da cultura do milho para viabilização da atividade agropecuária da região, é de fundamental importância a redução dos custos de produção, sendo que o principal componente dos custos são os fertilizantes que representam em média 26% dos custos variáveis e 20% do custo total da produção do milho, considerando uma expectativa de rendimento de 10 Mg ha^{-1} (CONAB, 2021). 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 (ACOSTA 2009).

2.5 Hipóteses

2.5.1 Experimento 1: Sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem N mineral

Na ausência de N mineral a presença de fabáceas e sistemas com maior diversidade de espécies proporcionaram ao milho maior incremento de produtividade e produtividade absoluta, porém com efeito nulo ou menor na presença de N mineral.

Os maiores incrementos de produção de MS ao longo dos 10 anos serão apresentados pelos sistemas consorciados em função da maior diversidade de espécies.

As maiores adições líquidas de MS nos sistemas de cultivo será verificada nos sistemas com plantas de cobertura com maior capacidade de adição de MS aliado a presença da adição de N por fixação biológica.

A maior viabilidade econômica será obtida nos sistemas com maior diversidade de espécies, em função do equilíbrio entre capacidade de fornecimento de N aliado a menores custos de implantação.

2.5.2 Experimento 2: Tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura

A utilização de tecnologias de manejo mecânico de plantas de cobertura proporciona melhorias na plantabilidade (pela redução do embuchamento) e desenvolvimento da cultura do milho quando comparado ao sistema de semeadura tradicional, utilizando somente semeadora.

2.6 Objetivos

2.6.1 Objetivo geral Experimento 1: Sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem N mineral

Objetiva-se realizar uma análise do comportamento ao longo do tempo (10 anos) de sistemas de produção de milho com e sem N mineral em sucessão a plantas de cobertura em condições de clima subtropical

2.6.1.1 Objetivos específicos

- Quantificar a produtividade de milho bem como o incremento destas variáveis ao longo dos 10 anos;
- Quantificar produção de MS das plantas de cobertura bem como o incremento ao longo dos 10 anos;
- Quantificar o somatório da produção de biomassa da cultura do milho ao longo do tempo;
- Quantificar a adição líquida de MS das plantas de cobertura e milho ao longo dos 10 anos;
- Quantificar o somatório da adição de carbono (C) das plantas de cobertura e da cultura do milho ao longo do tempo;
- Quantificar o acúmulo de N nos sistemas (via ciclagem, fixação ou adição de ureia) e a exportação desse nutriente;
- Efetuar a análise de viabilidade econômica dos diferentes sistemas de produção de plantas de cobertura/milho ao longo dos 10 anos.

2.6.2 Objetivo geral Experimento 2: Tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura

Tem como objetivo propor, testar e validar tecnologias de manejo mecânico de palhada com foco em melhorar a plantabilidade e desenvolvimento da cultura do milho em sistema de semeadura direta.

2.6.2.1 Objetivos específicos

- Avaliar a produção de massa seca (MS) das plantas de cobertura;
- Na semeadura avaliar o Rolo Max quanto a plantabilidade em função do embuchamento;
- Avaliar germinação e emergência da cultura do milho;
- Avaliar a produção de MS da cultura do milho;

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Experimento 1: sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem n mineral

3.1.1 Descrição do local

O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração localizado na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil (25°41'30.9"S 53°05'42.1"W, 530 m de altitude). O clima regional é subtropical úmido (Cfa, classificação de Koppen) com precipitação anual de 2.010 mm (Vieira et al., 2018). O solo local é Latossolo Vermelho (Embrapa, 2018), com textura argilosa (773 g kg⁻¹ de argila, 224 g kg⁻¹ de silte e 3 g kg⁻¹ de areia). As características químicas iniciais do solo, na camada de 0-20 cm, foram: pH (CaCl₂) = 5,3; índice SMP de pH = 6,4; matéria orgânica = 40,8 g kg⁻¹; P (Mehlich 1) = 4,3 mg dm⁻³; K = 0,2 cmolc dm⁻³; Ca = 6,0 cmolc dm⁻³; Mg = 2,8 cmolc dm⁻³; H+Al = 3,8 cmolc dm⁻³; Soma de bases = 9,0 cmolc dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) = 12,8 cmolc dm⁻³ e saturação por bases = 70%.

O trabalho foi baseado em um experimento de longa duração iniciado no ano de 2010, sendo cultivada com sucessão de milho e plantas de cobertura do solo, sobre duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura na cultura do milho (V4), em área que historicamente vinha sendo utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado.

3.1.2 Tratamentos e delineamento experimental

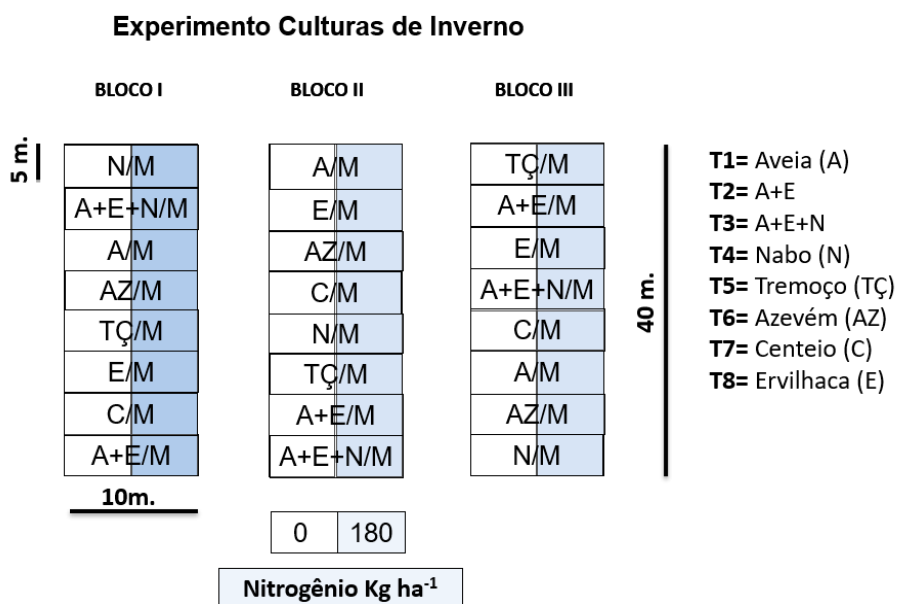
O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais de (5 x 10m), foram testados oito sistemas de plantas de cobertura de inverno: aveia preta (*Avena strigosa*) 90 kg ha⁻¹, ervilhaca comum (*Vicia sativa*) 40 kg ha⁻¹, nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), 15 kg ha⁻¹, tremoço branco (*Lupinus albus*) 100 kg ha⁻¹, centeio (*Secale cereale*) 50 kg ha⁻¹, azevém Comum (*Lolium multiflorum*) 50 kg ha⁻¹, consórcio aveia+ervilhaca 60+40 kg ha⁻¹, aveia+ervilhaca+nabo 60+30+10 kg ha⁻¹. A densidade de semeadura refere-se à quantidade de sementes viáveis. Nas subparcelas (5 x 5m), são aplicadas duas doses de nitrogênio (0, e 180 kg ha⁻¹), em cobertura na cultura do milho (V4), na forma de ureia. A imagem e croqui com a distribuição dos tratamentos podem ser visualizados na Figura 1 e

Figura 2.

Figura 1. Imagem área do experimento com milho aos 79 dias após a semeadura mostrando a distribuição dos blocos e doses de nitrogênio. Safra 19/20



Figura 2. Croqui com os tratamentos de sistemas de plantas de cobertura e milho (M) com doses de N mineral



3.1.3 Condução do experimento 2010-2019

A semeadura das plantas de cobertura ocorreu de forma mecanizada no mês de maio em todos os anos, com espaçamento de 0,17 m entre linhas, para todos os sistemas. Para estas culturas não foram feitas adubações de base e de cobertura e nem aplicações de inoculantes. O manejo de dessecação das plantas de cobertura ocorreu no mês de agosto/setembro com a aplicação de herbicida.

A semeadura do milho sobre os resíduos das plantas de cobertura foi realizada com espaçamento de 0,90 m entre linhas para os anos de 2010-2014, passando para 0,45m de 2015-2019. A densidade de semeadura sempre foi estimada para 75.000 plantas ha⁻¹, em todos os anos.

A adubação de base para a cultura do milho nos anos de 2010-2015 foi realizada com aplicação de 250 kg ha⁻¹ de fertilizante formulado 0-20-20 (N P₂O₅ K₂O), para uma expectativa de rendimento de 6 Mg ha⁻¹. Para os anos de 2016 e 2019 a adubação foi utilizada para uma expectativa de rendimento de 9 Mg ha⁻¹, sendo realizada com aplicação de 550 kg ha⁻¹ de fertilizante formulado 2-20-20 (N P₂O₅ K₂O) nos anos de 2016 e 2017 e 575 kg ha⁻¹ de fertilizante formulado 2-18-18 (N P₂O₅ K₂O) nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 1).

Tabela 1. Cultivares de milho, espaçamento, adubação de base, expectativa de rendimento, formulação NPK utilizada e dose de ureia aplicada de 2010 a 2019

Ano	Cultivar milho	ESPC (m)	ADB (kg ha ⁻¹)	ER Mg ha ⁻¹	NPK	Ureia (kg ha ⁻¹)
2010	Bandeirante	0,9	250	6	0-20-20	400
2011	Pioneer P32R48	0,9	250	6	0-20-20	400
2012	Pioneer P32R48	0,9	250	6	0-20-20	400
2013	Pioneer P32R48	0,9	250	6	0-20-20	400
2014	Pioneer P32R48	0,9	250	6	0-20-20	400
2015	AG 9045	0,45	250	6	0-20-20	400
2016	AG 9045	0,45	550	9	2-20-20	400
2017	AG8780 VTPRO3	0,45	550	9	2-20-20	400
2018	AG8780 VTPRO3	0,45	575	9	2-18-18	400
2019	AG8780 VTPRO3	0,45	575	9	2-18-18	400

ESPC: espaçamento; adubação de base (ADB); expectativa de rendimento (ER).

A adubação nitrogenada foi realizada manualmente em cobertura em dose única, em todos os anos, direcionadas próximo às linhas de semeadura do milho na fase V4 (quatro folhas

completamente expandidas).

O manejo de plantas daninhas e controle de insetos na cultura do milho foi realizada conforme recomendação técnica, com a aplicação de herbicida e inseticida, registrados para cultura.

3. 1.4 Descrição das avaliações

3.1.4.1 Plantas de Cobertura Hibernais

A coleta da biomassa das plantas de cobertura foi realizada todos os anos de acordo com o florescimento das espécies (90 a 110 dias) e de acordo com a época de semeadura do milho (setembro). Utilizou-se um quadro metálico com 0,25 m² em dois pontos aleatórios de cada subparcela. Nos tratamentos constituídos por consórcios procedeu-se a separação botânica das espécies a fim de determinar a participação de cada espécie na produção de biomassa total. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura de 55 °C \pm 5 por 48-72 horas até peso constante, determinando a produção de massa seca (MS).

3.1.4.2 Cultura do Milho

A avaliação da produção de MS da cultura do milho foi realizada na fase de enchimento de grãos (R2-R3), entre 87 e 97 dias após a semeadura. Coletou-se cinco plantas dentro da área útil de cada subparcela, sendo posteriormente moídas em triturador de forragens pesadas e subamostradas uma quantidade de 0,6 kg por subparcela, posteriormente, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, sob temperatura de \pm 55 °C, até atingirem peso constante. As amostras de tecido vegetal foram trituradas em moinho de facas tipo willey, equipado com peneira de 20 mesh, e posteriormente realizada a análise de N total (EMBRAPA, 2009) e C orgânico (YEOMANS e BREMNER, 1988).

A massa seca na maturação fisiológica foi realizada para safra 22/23, coletando-se 5 plantas por parcela e levando as plantas para casa de vegetação \pm 45 C° até peso constante. As espigas foram destacadas obtendo-se peso de palha mais sabugo e peso do grão, que foi corrigido para 13% de umidade. Somando-se peso de planta mais sabugo, palha mais peso do grão a 13% de umidade se obteve a MS na maturação fisiológica com base na população de plantas obtidas na avaliação da produtividade.

A colheita foi realizada manualmente em uma área total de 5,4 m² (1^a ao 5^a ano) e 2,7 m² (6^a ao 11^a ano) dentro de cada subparcela. 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.

3.1.5 Cálculos das adições de massa seca, nitrogênio e carbono ao longo do tempo

3.1.5.1 Produtividade de milho absoluta

A produtividade de grãos representa a quantidade de MS exportada da lavoura. A quantificação foi realizada pelo somatório da produtividade de milho nos 10 anos, com base na fórmula:

Equação 1:

$$\text{Prodt}_{10} = \sum \text{Prodt}_{\text{ano}1} + \dots + \text{Prodt}_{\text{ano}10}$$

Onde:

Prodt_{10} = Produtividade de milho em 10 anos

$\sum \text{Prodt}_{\text{ano}}$ = Somatório das produtividades dos anos de 2010 a 2019.

Para a produtividade do milho os dados estão completos.

3.1.5.2 Produção de MS das plantas de cobertura

A quantificação foi realizada pelo somatório da produção de massa das plantas de cobertura e do milho nos 11 anos, com base na fórmula:

Equação 2:

$$\text{MSpc}_{11} = \sum \text{MSpc}_{\text{ano}1} + \dots + \text{MSpc}_{\text{ano}11}$$

Onde:

MSpc_{11} = Massa seca adicionada em 11 anos

\sum MS ano= Somatório da produção de MS das plantas de cobertura dos anos de 2010 a 2020.

Para a produção de MS das plantas de coberturas os dados estão completos.

3.1.5.3 Adição líquida de MS da cultura do milho

A quantificação da produção de MS adicionada ao solo da cultura do milho foi estimada com base na Equação 3, obtida em avaliação realizada na safra 22/23 (Figura 3):

Equação 3

$$y=(4,669+2,116*x)-x$$

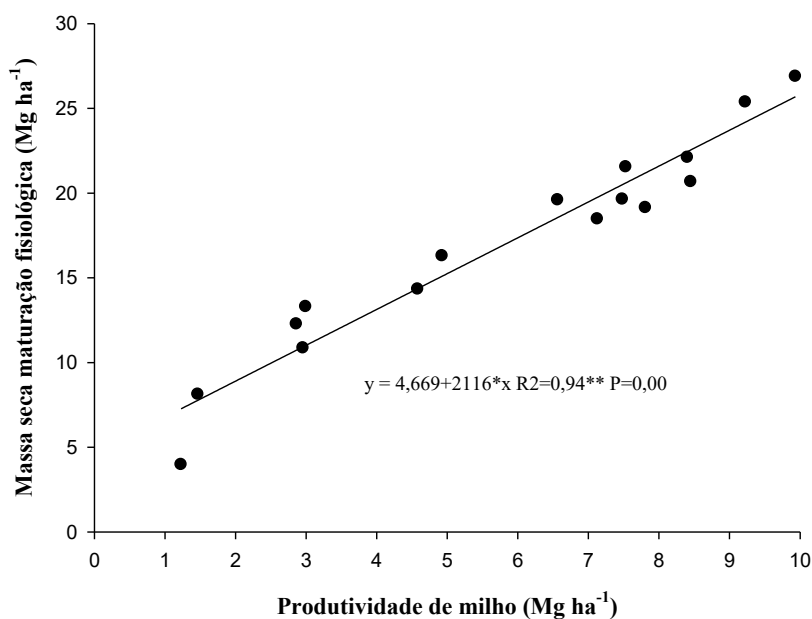
Onde:

y= Massa seca na maturação fisiológica (Mg ha⁻¹)

x= Rendimento de grãos (Mg ha⁻¹)

Substituindo a produtividade (x) obtém-se a MS na maturação fisiológica, sendo descontado a produtividade para encontrar a massa seca adicionada ao solo.

Figura 3. Relação entre massa seca do milho na maturação fisiológica e produtividade de massa seca de grãos, no ano agrícola de 22/23, em experimento com oito sistema de culturas e dois níveis de N mineral



Com a obtenção da MS na maturação fisiológica para todos os anos obteve-se a MS adicionada ao longo dos 11 anos pela Equação 4.

Equação 4:

$$MSm_{10} = \sum MSm_{ano1} + \dots + MSm_{ano11}$$

Onde:

MSm_{11} = Massa seca milho adicionada em 11 anos

$\sum MSm_{ano}$ = Somatório das produções de MSm dos anos de 2010 a 2020.

3.1.5.4 Incremento de produtividade de milho e massa seca de plantas de cobertura ao longo de 10 anos

Os dados de produtividade de milho e MS das plantas de cobertura para avaliação do incremento de produtividade foram ajustados a valores de média cumulativa em cada ano, isso visa a inclusão dos efeitos das safras anteriores e posteriores (efeito do sistema no solo, condições climáticas adversas e manejo) na produtividade de cada ano.

Com os dados ajustados foi gerado equações de regressão para cada sistema de plantas de cobertura/milho e dose de N mineral para avaliar comportamento destas variáveis ao longo dos 10 anos.

Equação 5:

$$y = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$$

$$Prdt_{x_{ano}} = Prdt_{IS} + I_{anual} \cdot x - FC_{anual} \cdot x^2$$

Onde:

$Prdt_{x_{ano}}$ (y): Produtividade no ano x ($Mg\ ha^{-1}$);

$Prdt_{IS}$ (y0) = Produtividade inicial do sistema ($Mg\ ha^{-1}$)

I_{anual} (a) = Incremento anual ($Mg\ ha^{-1}$)

FC_{anual} (b) = Fator de correção anual

Com essa equação foi calculado o incremento de produtividade/MS para cada sistema em relação aos rendimentos iniciais ($IS_{10\ anos}$) (Equação 6); incremento dos sistemas em relação

a um sistema de referência com utilização de aveia ($IS_{R-aveia}$) (Equação 7) e também o incremento absoluto do sistema considerando que todos partiram do mesmo patamar de rendimento do sistema de referência aveia (IAS) (Equação 8).

Equação 6:

$$IS_{10anos} = I_{10anos} - FC_{10anos}$$

Onde:

IS_{10anos} : Incremento do sistema em 10 anos ($Mg\ ha^{-1}$);

I_{10ano} = Incremento em 10 anos ($Mg\ ha^{-1}$)

FC_{10anos} = Fator de correção em 10 anos ($Mg\ ha^{-1}$)

Equação 7:

$$IS_{R-aveia} = IS_{10anos} - IS_{aveia10anos}$$

Onde:

IS_{Raveia} = Incremento de produtividade do sistema em relação a aveia ($Mg\ ha^{-1}\ 10\ anos$)

IS_{10anos} = Incremento de produtividade do sistema em 10 anos ($Mg\ ha^{-1}$)

$IS_{aveia10anos}$ = Incremento de produtividade do sistema aveia em 10 anos ($Mg\ ha^{-1}$)

A utilização do sistema aveia/milho como referência permite subtrair os efeitos de aumento de produtividade em função do material genético e aumento da adubação de base com N-P-K.

Equação 8:

$$IAS = IS_{Raveia} + (PrdtIS - PrdtI_{aveia})$$

IAS = Incremento absoluto de produtividade do sistema ($Mg\ ha^{-1}\ 10\ anos$)

IS_{Raveia} = Incremento de produtividade do sistema em relação a aveia ($Mg\ ha^{-1}\ 10\ anos$)

$Prdt\ IS$ = Produtividade inicial do sistema ($Mg\ ha^{-1}$)

$Prdt\ IS_{aveia}$ = Produtividade inicial do sistema aveia ($Mg\ ha^{-1}$)

3.1.5.5 Balanço de adição de massa seca por plantas de cobertura e milho

Foi realizada pela soma da massa seca das plantas de cobertura e milho, com base na fórmula:

Equação 9:

$$\text{BAMS} = \text{MSpc}_{11} + \text{MSm}_{11}$$

Onde:

BAMS= Balanço da adição de MS plantas de cobertura e milho

MSpc₁₀= Massa seca adicionada em 11 anos

MSm₁₀= Massa seca milho adicionada em 11 anos

3.1.5.6 Balanço da adição de nitrogênio por plantas de cobertura e milho

Para o balanço do N foi considerado o N adicionado pela fertilização com ureia, N fixado biologicamente pelas fabáceas (ervilhaca e tremoço) e N acumulado nos tecidos das plantas de cobertura e milho. Ao N reciclado das plantas de cobertura e milho foi acrescido 20% como contribuição do sistema radicular das plantas de cobertura na camada de 0-20 cm (Wolschick et al., 2016).

3.1.5.7 Nitrogênio fixado biologicamente

Para a quantificação do N adicionado pela fixação biológica das plantas fabáceas (ervilhaca e tremoço) utilizou-se o método de diferenças (Unkovich, 2008), conforme equação:

Equação 10:

$$\text{Nf} = ((\text{Tnpf} - \text{Tnpr}) \times \text{MSpf}) / 1000$$

Onde:

Nf= N fixado biologicamente (kg ha⁻¹)

Tnpf= Teor de N na planta fixadora (g kg⁻¹)

Tnpr= Teor de N na planta referência (g kg⁻¹)

MSpf= Massa seca da planta fixadora (kg ha⁻¹)

Para o cálculo do N fixado pela ervilhaca nos consórcios foi utilizado a participação média (10 anos) na produção de MS durante os anos avaliados, sendo 21% e 17% da participação na MS de ervilhaca nos consórcios A+E e A+E+N, respectivamente conforme equação.

Equação 11

$$Nf \text{ mix A+E} = (Tn_{pf} E - Tn_{pr}) * (0,21 * MS \text{ A+E})$$

$$Nf \text{ mix A+E+N} = (Tn_{pf} E - Tn_{pr}) * (0,17 * MS \text{ A+E+N})$$

Nf = N fixado biologicamente (kg ha^{-1})

Tn_{pf} = Teor de N na planta fixadora (g kg^{-1})

Tn_{pr} = Teor de N na planta referência (g kg^{-1})

MS = Massa seca do mix (kg ha^{-1})

3.1.5.8 Nitrogênio reciclado nas plantas de cobertura

A quantificação do N reciclado das plantas de cobertura foi realizado conforme equação:

Equação 12:

$$NR_{pc} = Napc - Nf$$

Onde:

NR_{pc} = N reciclado plantas de cobertura (kg ha^{-1})

$Napc$ = N absorvido pelas plantas de cobertura (kg ha^{-1})

Nf = N fixado biologicamente (kg ha^{-1})

3.1.5.9 Nitrogênio reciclado pelo milho

Para a estimativa do N reciclado pelo milho utilizou-se os teores de N na MS do milho avaliado no enchimento do grão multiplicado pelo MS líquida adicionada ao solo. Com os

dados estimados de N na maturação fisiológica é feito a subtração do N dos grãos para calcular a quantidade de N reciclado pelo milho e devolvido ao solo.

Equação 13:

$$NRm = Nmf - Neg$$

Onde:

NRm= N reciclado milho (kg ha⁻¹)

Nmf= N na massa seca na maturação fisiológica (kg ha⁻¹)

Neg= N exportado pelo grão (kg ha⁻¹)

3.1.5.10 Nitrogênio total reciclado por plantas de cobertura e milho

A quantidade de N total reciclado foi calculado pela somatória do N reciclado pelas plantas de cobertura e milho, com base na equação:

Equação 14:

$$Ntr = NRpc + NRm$$

Onde:

Ntr= N total reciclado (kg ha⁻¹)

NRpc= N reciclado plantas de cobertura (kg ha⁻¹)

NRm= N reciclado milho (kg ha⁻¹)

3.1.5.11 Nitrogênio total adicionado no solo

Foi calculado pelo somatório das adições de N via adubação nitrogenada com ureia e fixação biológica de N, com base na equação:

Equação 15:

$$Nta = Nureia + Nf$$

Onde:

N_{ta} = N total adicionado ao solo (kg ha^{-1})

N_{ureia} = N adicionado via ureia (kg ha^{-1})

N_f = N fixado biologicamente (kg ha^{-1}).

3.1.5.12 Carbono adicionado pelas plantas de cobertura

Foi calculado pelo somatório do C contido na MS das plantas de cobertura, acrescido 30% de forma a representar o C proveniente das raízes e exsudatos (LOVATO et al., 2004; WOLSCHICK et al., 2016), com base na equação:

Equação 16:

$$C_{pc10} = \sum C_{MSpc \text{ ano}1...} + C_{MSpc \text{ ano}10}$$

Onde:

C_{pc10} = C adicionado plantas de cobertura em 11 anos (kg ha^{-1})

$\sum C_{MSpc \text{ ano}}$ = Somatório da adição de C das plantas de cobertura em 11 anos (kg ha^{-1})
1)

Embora seja verificado diferenças entre as plantas de cobertura quanto a capacidade de aportar MS de raiz ao solo (WOLSCHICK et al., 2016). Neste estudo será considerado valores médios de forma a não beneficiar ou prejudicar os sistemas de cultivo.

3.1.5.13 Carbono adicionado pela massa seca do milho

Foi calculado pelo somatório do C contido na MS da cultura do milho na maturação fisiológica, com base na equação:

Equação 17:

$$C_{MSm10} = \sum C_{MSm \text{ ano}1...} + C_{MSm \text{ ano}11}$$

Onde:

C_{MSm10} = C adicionado pela MS da cultura do milho em 11 anos (kg ha^{-1})

$\sum C_{MSm \text{ ano}}$ = Somatório da adição de C pelo milho em 11 anos (kg ha^{-1})

3.1.5.14 Balanço da adição de C pelas plantas de cobertura e milho no solo

Foi calculado pelo somatório do C contido na MS das plantas de cobertura e cultura do milho, descontando o C exportado via colheita de grãos, com base na equação:

Equação 18:

$$\text{BaC}_{11} = \text{Cpc}_{11} + \text{CMSm}_{11} - \text{CProd}_{11}$$

Onde:

BaC_{11} = Balanço do C adicionado pela MS das plantas de cobertura e milho em 11 anos (kg ha^{-1})

Cpc_{11} = C adicionado plantas de cobertura em 11 anos (kg ha^{-1})

CMSm_{11} = C adicionado pela MS da cultura do milho em 11 anos (kg ha^{-1})

CProd_{11} = C exportado via colheita de grãos (kg ha^{-1}).

3.1.5.15 Análise da viabilidade econômica dos sistemas de cultivos

A análise econômica foi realizada com base nos custos de produção que se diferenciam entre os sistemas. Sendo considerado os custos para a aquisição das sementes de plantas de cobertura, e aquisição de ureia e gastos com aplicação com base nos preços médios de 2010 a 2019. Para dados de custo não registrados, foi utilizado como referência os dados da Conab para o estado do Paraná (CONAB 2021). Para a obtenção da receita foi considerado o preço da saca de milho comercializado na safra 21/22. Para obtenção da equivalência em N, foi utilizado dados de Cassol (2019) das safras de 17/18 e 18/19, onde foi introduzida uma dose intermediária de 90 kg de N mineral. Com a equação de regressão para o sistema com aveia, foi substituído o “y” da equação pela produtividade obtida nos sistemas com consórcios, fabáceas e brássicas na ausência de N mineral. Obtendo-se assim a “x”, ou seja, a quantos kg de N equivalem a produtividade de cada sistema.

3.1.5.16 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, após submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Skoot Knott a 5% de probabilidade utilizando o programa Sisvar 5.6 (SISVAR, 2011).

O comportamento da produtividade do milho e produção de MS das plantas de cobertura ao longo dos 10 anos foram avaliados por equações de regressão.

3.2 Experimento 2: tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura

3.2.1 Descrição do local

O estudo foi realizado na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil (25°42'52”S e 53°03'94”W, 530 m de altitude). O clima regional é subtropical úmido (Cfa, classificação de Koppen) com precipitação anual de 2.010 mm (Vieira et al., 2018). O solo local é Latossolo Vermelho (Embrapa, 2018).

3.2.2 Tratamentos utilizados

Para validação dos mini rolos foram utilizados sistemas de plantas de cobertura hibernais solteiras e consorciadas buscando diferentes níveis de adições de resíduos e plantas de características variadas (Quadro 1). As plantas de cobertura foram manejadas quimicamente em diferentes épocas antes da semeadura da cultura do milho para obtenção de materiais em diferentes estágios de umidade durante a realização da operação de semeadura.

3.2.3 Condução Safra 19/20

O experimento envolve culturas de inverno e épocas de dessecação antecedendo a semeadura (DAS) da cultura comercial aos 26, 12 e 0 dias, e, dois métodos de manejo mecânico junto à operação de semeadura: Rolo Max+semeadora e somente semeadora.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais (30 x 90 m) foram utilizados cinco tratamentos com mix comercial de plantas de cobertura cedidas por empresa produtora de sementes da Região (RX 110, 210, 330, 520 e 610) e uma cultura pura (Aveia IAPAR 61) e, nas subparcelas (30x30) três épocas de dessecação antecedendo a semeadura (DAS) do milho aos 26, 12 e 0 dias. Nas

subsubparcelas (15 x 30m) dois métodos de manejo mecânico da palhada das plantas de cobertura sendo a operação de semeadura com uso do Rolo Max+semeadora e somente semeadora. A cultura do milho foi utilizada para validação dessa tecnologia.

Quadro 1. Tratamentos e suas respectivas culturas e densidade de semeadura

Tratamento	Cultura	Densidade kg ha⁻¹
Aveia BRS 139	Aveia Preta	90
Aveia IPR 61	Aveia Preta	60
Rx110	Nabo IPR 116	5
	Centeio Serrano	35
	Aveia Branca Taurus	30
	Total	70
Rx210	Centeio Serrano	24
	Aveia Preta 139	14
	Aveia Branca Esmeralda	10
	Nabo Pé de Pato e comum	2
Total	50	
Rx220	Aveia Branca IPR Esmeralda	-
	Aveia Preta BRS 139	-
	Centeio BRS Progresso	-
	Nabo Pivotante	-
Total	45	
Rx330	Ervilhaca Ametista	17
	Centeio Serrano	12
	Aveia Preta IAPAR 61	12
	Total	40
Rx520	Centeio Serrano	7
	Ervilha Forrageira IPR 83	43
	Nabo Pé de Pato	1
	Total	50
Rx 610	Ervilhaca Ametista	24
	Nabo	2
	Aveia Preta IAPAR 61	14
	Total	40

Obs.: Rx 220 utilizado na safra 20/21.

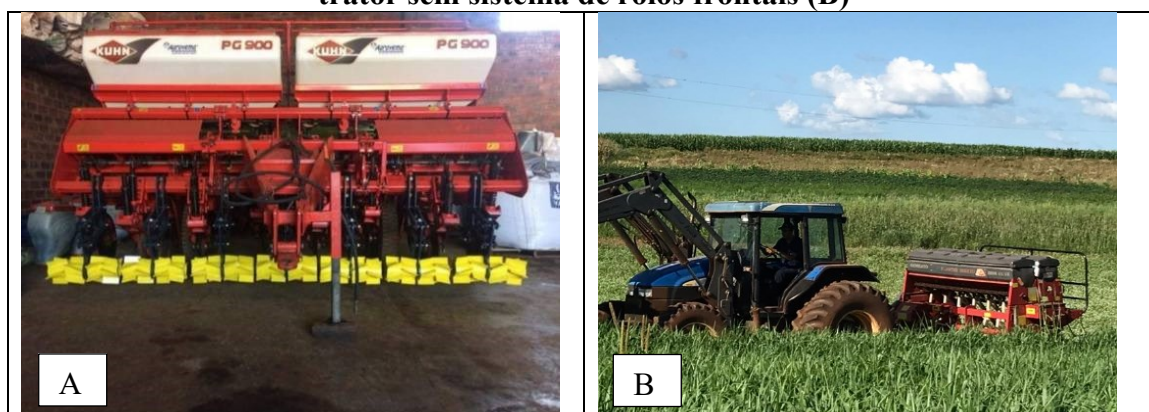
A semeadura das plantas de cobertura hibernais foi realizada de forma mecanizada em 17/05/2019, com espaçamento de 0,17 m entre linhas. A determinação da produção de massa seca das plantas de cobertura foi realizada em três épocas (correspondendo às épocas de dessecação), utilizando-se um quadro metálico com 0,25 m², coletando-se duas amostras em pontos aleatórios dentro de cada subparcela. Assim, tivemos composto as datas de pré

dessecação de 26, 12 e 0 dias antes da semeadura, respectivamente. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura de $\pm 55^{\circ}\text{C}$ por 48-72 horas, até peso constante, determinando a produção MS.

Para avaliação do Rolo Max foram avaliados dois métodos de manejo mecânico junto à operação de semeadura. O Rolo Max, constitui-se de um conjunto de mini rolos cuja instalação é feita no eixo frontal da semeadora (Figura 4A) permitindo a semeadura e rolagem simultânea, sendo definido como sistema Rolo Max+ Semeadora. Como testemunha às inovações propostas foram usadas a tecnologia usual dos produtores rurais que é o uso exclusivo da semeadora acoplada ao trator constituindo o sistema Trator +Semeadora (Figura 4B). A semeadura do milho sobre os resíduos das plantas de cobertura com os respectivos manejos mecânicos foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura estimada para 75.000 plantas ha^{-1} . A adubação de base foi de acordo com análise química do solo. A adubação nitrogenada no milho realizada manualmente em cobertura em dose única.

O embuchamento dos sistemas de semeadura foi avaliado pelo número de paradas do conjunto trator+semeadora e trator+semeadora+Rolo Max. Por embuchamento, considerou-se o acúmulo de palha nos discos de corte e Rolo Max, este nível acúmulo de palha impossibilitava o rolamento do disco ou Rolo Max afetando consideravelmente o processo de corte ou rolagem do conjunto. Para avaliar a plantabilidade da cultura do milho foi realizada contagem de plântulas emergidas 15 dias após a semeadura, as quais foram realizadas em doze metros lineares em cada sub parcela, Como planta emergida, foi considerada aquela com hipocótilo emitido.

Figura 4- Rolo Max no eixo frontal da semeadora (A) Semeadora apenas acoplada ao trator sem sistema de rolos frontais (B)



3.2.4 Condução Safra 20/21

Na safra 20/21 para validação do Rolo Max e as proteções desenvolvidas para evitar o embuchamento, utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso em parcelas subsubdivididas com três repetições. Nas parcelas principais (10 x 40 m) foram utilizados sete tratamentos com mix comercial de plantas de cobertura obtidas junto a empresa comercializadora na região (RX 110, 210, 220, 330, 520 e 610) e uma cultura pura de aveia IAPAR 61, nas subparcelas (5 x 40 m) constou dos tratamentos de dessecação antecipada (27 dias) e sem dessecação dos sistemas (verde). Nas subsubparcelas (2,5 x 40 m) constou de metade da semeadora com Rolo Max e com proteção e a outra metade com Rolo Max, porém sem proteção contra embuchamento, conforme Figura 5. A utilização da semeadora sem Rolo Max foi realizada na outra subparcela de 2,5 x 40 m, porém esse tratamento somente será discutido em avaliações de germinação e produtividade da cultura do milho, pois o objetivo aqui é verificar se as proteções evitam o embuchamento nos rolos.

Figura 5. Semeadora com Rolo Max com e sem proteção contra o embuchamento no eixo central

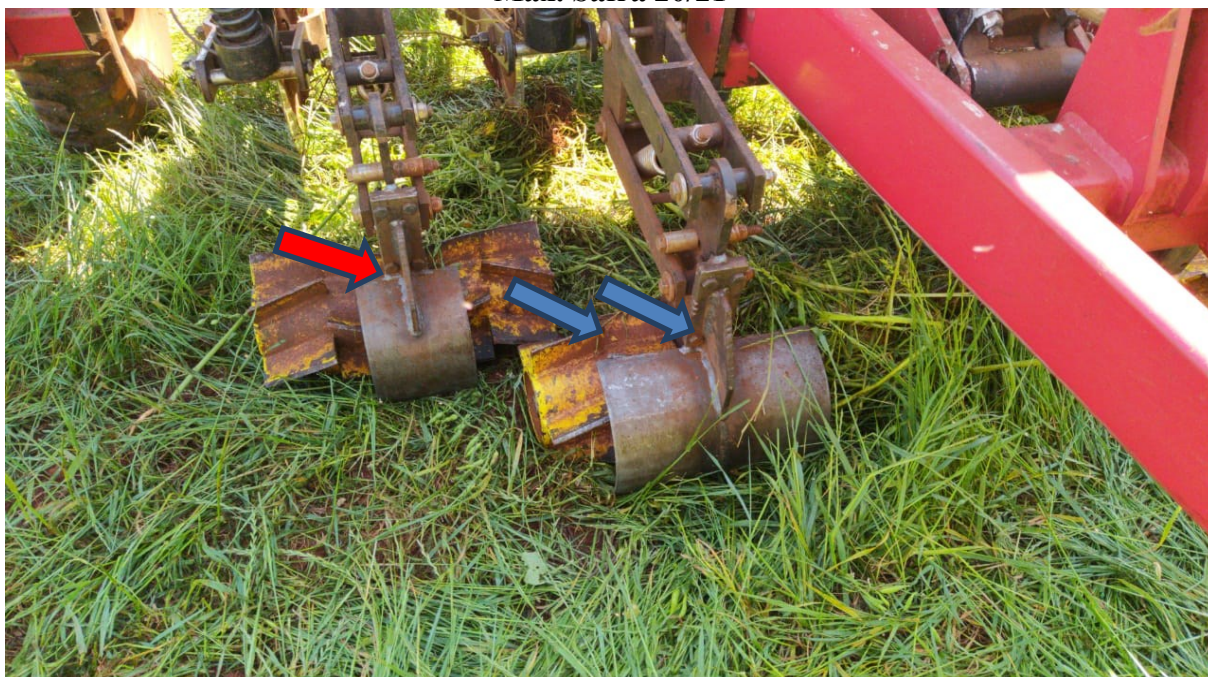


A semeadura das plantas de cobertura hibernais foi realizada de forma mecanizada em 27/05/2020, com espaçamento de 0,17 m entre linhas. A determinação da produção de massa seca das plantas de cobertura foi realizada nos tratamentos dessecados 27 dias antes da semeadura e nos tratamentos não dessecados (verde) seis dias antes da semeadura utilizando-

se um quadro metálico com 0,25 m², coletando-se duas amostras em pontos aleatórios dentro de cada subparcela. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura de $\pm 55^{\circ}\text{C}$ por 48-72 horas, até peso constante, determinando a produção MS.

A avaliação do desempenho do Rolo Max na safra 20/21 foi realizada sobre os resíduos de plantas de cobertura no dia 22/09/20. Nesta safra, em função de problemas de embuchamento no equipamento na safra anterior foram desenvolvidos protetores individuais intercambiáveis para testes de validação. Foram desenvolvidos dois modelos, o primeiro protetor menor a esquerda, com proteção apenas o centro do eixo (seta vermelha) e o segundo com proteção maior, protegendo o centro e também a junção das lâminas (setas azuis) onde ocorre o embuchamento (Figura 6). Os embuchamentos foram considerados apenas nos pontos de influência dos protetores.

Figura 6. Protetores intercambiáveis para proteção de pontos de embuchamento no Rolo Max. Safra 20/21

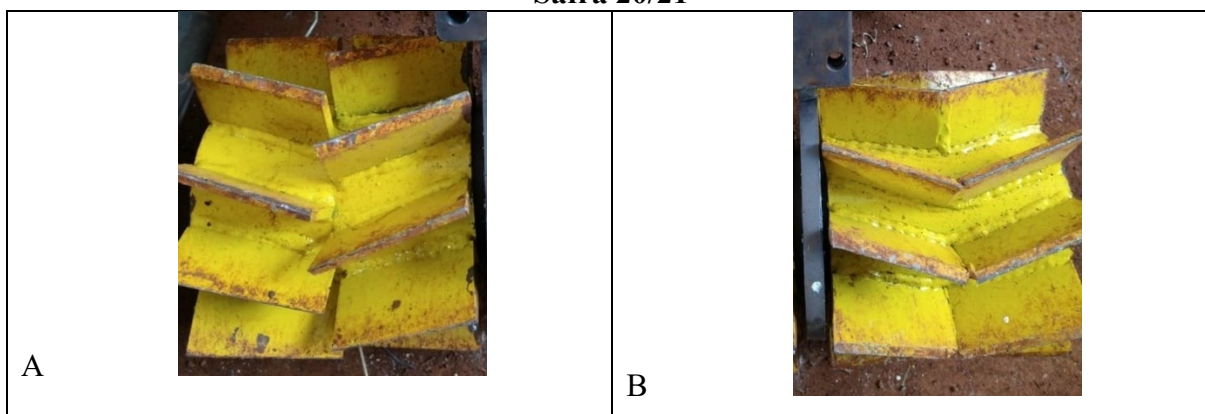


Em área adicional também realizamos testes com dois protótipos modificados do Rolo Max: o primeiro com dobro do número de facas, sendo elas desencontradas (Figura 7 A); O segundo também com dobro do número de facas sendo elas encontradas (Figura 7 B). Estes protótipos objetivam reduzir o embuchamento entre o encontro das lâminas verificado na primeira versão testada.

Montou-se um experimento em delineamento de blocos ao acaso com tratamentos e

quatro repetições. O comprimento total de cada parcela foi de 70 metros. Os seguintes arranjos de tratamentos foram testados (1) rolo sem proteção (RSP); (2) rolo com proteção (RCP), conforme Figura 5; (3) Rolos modificados (nas extremidades da semeadora) sem proteção (RMSP); (4) Rolos modificados (nas extremidades da semeadora) com proteção (RMCP).

Figura 7. Protótipos de Rolo Max com modificações no número de lâminas. Dobro do número de lâminas desencontradas (A) e dobro do número de laminas encontradas (B) Safra 20/21



Sobre o experimento de mix de plantas de cobertura foi avaliado a influência dos manejos de dessecação e de semeadura com Rolo Max x semeadora na germinação de milho e produção de massa seca. Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, onde nas parcelas principais continham cinco sistemas de plantas de cobertura (aveia, RX 110, 210, 220, 330 e 520) em parcelas de 10 x 40 m. Nas subparcela (5 x 40) utilizou-se os tratamentos de semeadura do milho no verde e dessecado. Nas subsubparcelas (2,5 x 40) utilizou-se os tratamentos de semeadura do milho com Rolo Max e somente semeadora.

A semeadura do milho sobre os resíduos das plantas de cobertura com os respectivos manejos mecânicos foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura estimada para 75.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi de acordo com análise química do solo. A adubação nitrogenada no milho realizada manualmente em cobertura em dose única (180 kg ha⁻¹ de N). A avaliação de germinação foi realizada 13 dias após a semeadura contando o número de plantas em 12 metros lineares. A avaliação da produção de MS foi realizada aos 85 dias após a semeadura coletando 5 plantas por parcela. O milho da área foi destinado a silagem, de acordo com projeto piloto, motivo pelo qual não foi realizada avaliação de produtividade de grãos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados e discussão experimento 1: sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem n mineral

4.1.1 Produtividade de grãos e adição de MS por plantas de cobertura e milho ao longo de 10 anos

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de produtividade de grãos, adição de massa seca por plantas de cobertura e milho e balanço da adição de massa seca ao longo dos 10 anos de condução do experimento.

4.1.1.1 Produtividade de grãos de milho ao longo de 10 anos

Os resultados de produtividade de milho estão apresentados na Tabela 2 e para melhor compreensão do comportamento de cada tratamento ao longo do tempo (10 anos) também constam os mesmos resultados na Figura 8. Os asteriscos ao lado dos valores 32,8, 52,5 e 60,4 Mg ha⁻¹, indicam a significância para interação, para doses de N e para as medias dos sistemas sobre as doses de N, respectivamente. Assim para as demais tabelas na sequência.

Os resultados de produtividade absoluta variaram entre as plantas de cobertura e as doses de adubação nitrogenada. No desdobramento da interação todos os sistemas apresentaram produtividade superior com a utilização da dose de 180 kg ha⁻¹ de N, variando de 82,9 a 89,5 Mg ha⁻¹ para azevém e consorcio A+E, respectivamente. Os maiores aumentos de produtividade quando aplicado a dose de N mineral, foram verificados para os sistemas com poáceas (147%), seguido de A+E, nabo e A+E+N (50%) e os menores pelos sistemas contendo tremoço e ervilhaca (21%). Isso ocorre em função dos sistemas com fabáceas e brássicas de forma solteira ou consorciada partirem de um patamar superior de produtividade, pela maior mineralização de N no sistema, que ocorre pela adição de massa seca de menor relação C/N (Ziech et al., 2015).

Esses resultados evidenciam a importância do N para a cultura do milho, e da avaliação dos resultados de rendimento ao longo do tempo, para compreender as interações dentro do sistema. As fabáceas apresentam alta capacidade de suprir a demanda de N da cultura do milho via FBN e os resultados que analisam anos individuais, em que as condições climáticas são adequadas, tendem a não diferenciar pequenas variações de produtividade (CASSOL, 2019), mas que se somadas ao longo dos anos mostram com mais clareza estes resultados

Tabela 2. Produtividade de milho em sucessão a plantas de cobertura hibernais e duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 10 anos

Ano	N	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
Prod^t (Mg ha⁻¹)											
1°	0	4,3	4,9	5,0	3,9	3,7	5,2	4,9	4,4	4,5	
2°	0	2,9	4,3	4,5	3,4	4,0	6,5	5,2	4,9	4,5	
*3°	0	3,9	7,1	7,7	4,0	3,6	8,2	6,4	6,3	5,9	
4°	0	2,5	4,5	5,9	2,0	2,7	7,0	6,7	7,7	4,9	
5°	0	3,0	4,2	5,8	2,8	3,0	6,0	5,5	5,8	4,5	
6°	0	3,4	5,4	5,0	1,8	2,9	8,4	5,5	5,7	4,7	
7°	0	2,6	6,4	5,8	2,6	3,6	8,1	6,5	7,9	5,4	
8°	0	4,5	8,4	7,9	5,5	5,9	9,6	6,7	9,2	7,2	
9°	0	2,5	4,8	6,8	3,5	4,9	8,0	5,0	7,6	5,4	
10°	0	3,3	5,1	6,3	4,2	3,4	6,8	6,4	7,6	5,4	
1°	180	6,2	6,2	6,4	5,4	6,1	6,8	6,5	6,7	6,3	
2°	180	7,0	6,5	6,7	5,6	6,6	5,8	6,1	5,2	6,2	
3°	180	10,5	11,2	10,6	9,9	8,9	9,9	8,4	8,2	9,7	
4°	180	10,6	11,2	11,1	9,2	9,9	9,7	9,7	10,6	10,2	
5°	180	6,8	7,2	6,0	6,8	6,1	7,3	6,2	6,4	6,6	
6°	180	9,2	8,7	6,9	6,3	5,7	8,8	6,5	8,3	7,5	
*7°	180	10,6	10,9	11,2	11,3	10,8	10,3	11,4	9,0	10,7	
8°	180	9,1	9,0	10,4	10,5	9,8	10,1	10,8	10,5	10,0	
9°	180	10,2	10,1	11,0	9,1	11,4	10,0	9,7	10,4	10,2	
10°	180	7,9	8,5	9,0	9,0	9,9	7,7	8,3	8,3	8,6	
Média	0	3,3	5,5	6,1	3,4	3,8	7,4	5,9	6,7	5,2	
	180	8,8	8,9	8,9	8,3	8,5	8,6	8,4	8,4	8,6	
Total	0	**32,8 cB	55,2 bB	60,8 bB	33,6 cB	37,7 cB	73,7 aB	58,8 bB	67,1 aB	**52,5 B	8,48
	180	88,0 aA	89,5 aA	89,2 aA	82,9 aA	85,1 aA	86,4 aA	83,5 aA	83,7 aA	86,1 A	
	Média	**60,4 b	72,3 a	75,0 a	58,3 b	61,4 a	80,0 a	71,1 a	75,4 a	10,2	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço branco

Quando comparamos os rendimentos de milho absoluto sobre as plantas de cobertura na ausência de N mineral, verificamos rendimentos que variam de 32,3 Mg ha⁻¹ para aveia até 73,4 Mg ha⁻¹ para ervilhaca. Sendo possível a distinção de três grupos quanto a capacidade de fornecimento de N ao milho. Aveia, azevém e centeio, baixa capacidade e rendimentos médios anuais até 3,5 Mg ha⁻¹; A+E+N, A+E e nabo, capacidade intermediária e com rendimentos médios anuais até 5,8 Mg ha⁻¹; e ervilhaca e tremeço com alta capacidade, possibilitando rendimentos médios anuais de até 7,0 Mg ha⁻¹ na média dos 10 anos.

Comparando os grupos com capacidade de fornecimento de N intermediário e alto em relação as produtividades absolutas na safra, no período de 2010-2019 no estado do Paraná (84,3 Mg ha⁻¹), temos que estes sistemas sem a utilização de N conseguiram produzir entre 70 e 84% da produção de milho, respectivamente (CONAB, 2021).

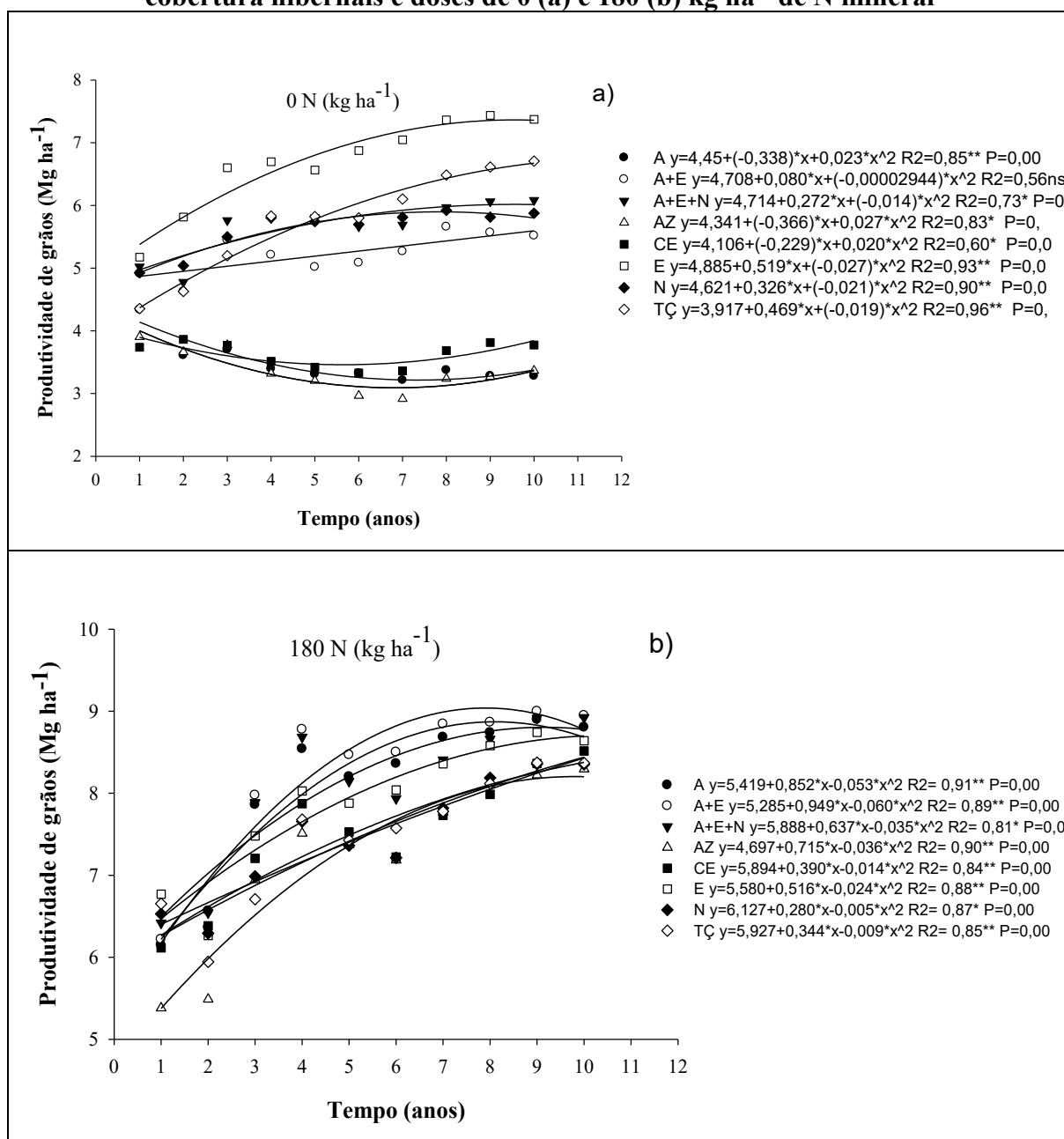
Com a utilização destes sistemas intermediários poderia se reduzir em 50% a dose de N (180 kg ha⁻¹ de N para expectativa de rendimento de 9 Mg ha⁻¹) e manter rendimentos superiores a 8,4 Mg ha⁻¹ (CASSOL, 2019). Considerando a utilização de 90 kg de N ha⁻¹ (Preço R\$ 4,28/kg de N) a economia gerada em função da área semeada na safra 2020/21 no estado do Paraná (373 mil ha⁻¹) seria de R\$ 144 milhões de reais.

No Brasil, o N representa 29% (4.845 mil toneladas) (P₂O₅ e K₂O representam 32 e 39%, respectivamente) de todo fertilizante utilizado na agricultura, aliado a isso temos uma demanda crescente e um decréscimo ou estagnação na produção nacional (4% da demanda) (AMA, 2021). Desse modo, uma forma eficiente de se reduzir a demanda por importação e ainda incentivar o mercado de plantas de cobertura e a agricultura conservacionista é pelo incentivo da utilização de espécies capazes de realizar fixação biológica de N.

Na comparação ao longo dos anos os rendimentos de milho nos sistemas com poáceas (aveia, azevém e centeio) na ausência de N mineral permaneceram baixos e estáveis. Estes sistemas de cobertura, na ausência de N mineral, tendem a ocasionar um leve declínio inicial na produtividade do milho, (em função da maior imobilização de N do solo pela adição de resíduos de maior relação C/N), enquanto os demais tratamentos com nabo, consórcios e fabáceas apresentaram incremento na produtividade com o passar dos anos (Figura 8a). Já quando comparamos os sistemas com N mineral verificamos que a produtividade de milho foi crescente sobre todas as plantas de cobertura avaliadas, sendo este crescimento de forma mais acentuada determinado pela presença da adubação nitrogenada (LOVATO, 2001) (Figura 8b).

De forma a obter melhores ajustes e previsões quanto ao incremento de produtividade dos sistemas de cobertura com as curvas de regressão (Figura 8a e b) foi utilizado média cumulativa para inclusão dos efeitos das safras anteriores e posteriores (efeito do sistema no solo, condições climáticas adversas e manejo) na produtividade de cada ano.

Figura 8. Produtividade de milho ao longo de 10 anos em sucessão a plantas de cobertura hibernais e doses de 0 (a) e 180 (b) kg ha⁻¹ de N mineral



Com as equações das curvas de regressão (Figura 8) é possível estimar o incremento de produtividade de cada sistema em relação aos rendimentos iniciais (**IS**_{10 anos}) (Equação 6); incremento dos sistemas em relação a um sistema de referência (**IS**_{R-aveia}) com utilização de aveia (Equação 7); e também o incremento absoluto do sistema (**IAS**) considerando que todos partiram do mesmo patamar de rendimento do sistema de referência aveia (Equação 8) (Tabela 3). A utilização do sistema aveia/milho como referência permite subtrair os efeitos de aumento de produtividade em função do material genético e aumento da adubação de base com N-P-K, sendo o resultado somente do efeito do sistema de plantas de cobertura.

Tabela 3. Incremento de produtividade de milho em função de plantas de cobertura e doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) após 10 anos de condução

Dose N	Sistemas	Prdt Ini (Mg ha ⁻¹)	I Anual	IP 10 anos	Fator de correção ano ²	Correção 10 anos	I 10 anos (Mg ha ⁻¹)	ISR	IAS
0	A/M	4,45	-0,338	-3,38	0,023	2,3	-1,08		
	A+E/M	4,708	0,08	0,8	-2,9E-05	-0,003	0,80	1,88	2,135
	A+E+N/M	4,714	0,272	2,72	-0,014	-1,4	1,32	2,40	2,664
	AZ/M	4,341	-0,366	-3,66	0,027	2,7	-0,96	0,12	0,011
	CE/M	4,106	-0,229	-2,29	0,02	2	-0,29	0,79	0,446
	E/M	4,885	0,519	5,19	-0,027	-2,7	2,49	3,57	4,005
	N/M	4,621	0,326	3,26	-0,021	-2,1	1,16	2,24	2,411
	TÇ/M	3,92	0,469	4,69	-0,019	-1,9	2,79	3,87	3,337
180	A/M	5,419	0,852	8,52	-0,053	-5,3	3,22		
	A+E/M	5,285	0,949	9,49	-0,06	-6	3,49	0,27	0,136
	A+E+N/M	5,888	0,647	6,47	-0,035	-3,5	2,97	-0,25	0,219
	AZ/M	4,697	0,7150	7,15	-0,036	-3,6	3,55	0,33	-0,392
	CE/M	5,894	0,39	3,9	-0,014	-1,4	2,5	-0,72	-0,245
	E/M	5,58	0,516	5,16	-0,024	-2,4	2,76	-0,46	-0,299
	N/M	6,127	0,28	2,8	-0,005	-0,5	2,3	-0,92	-0,212
	TÇ/M	5,927	0,344	3,44	-0,009	-0,9	2,54	-0,68	-0,172

Prdt Ini=Produtividade inicial de milho; I anual= Incremento anual; IP10=Incremento parcial em 10 anos; I10= Incremento em 10 anos; ISR (aveia)= Incremento do sistema em relação a referência (aveia); IAS (aveia)= Incremento absoluto de produtividade considerando que todos os sistemas partiram do patamar de produtividade da aveia. M=Milho; A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço branco.

A limitação de N, na ausência de N mineral proporciona melhor distinção entre os tratamentos quanto ao incremento de produtividade na comparação aos sistemas que receberam adubação nitrogenada. Entre os sistemas na ausência de N mineral a aveia, azevém e centeio apresentaram incrementos negativos de produtividade, com decréscimos de 108, 96 e 29 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. No decorrer destes 10 anos a adição de MS e relação C/N do azevém foi menor quando comparado a aveia, ou seja, com menor potencial de imobilização de N no sistema (DAHLEM, 2013; ZIECH, 2016; CASSOL, 2019), por isso, embora apresente maiores problemas de plantabilidade (embuchamento) os decréscimos no rendimento foram similares ao observado no sistema com aveia. Apesar do centeio pertencer a mesma família botânica a redução do incremento foi menor em relação ao observado pela aveia e azevém. Embora com adições de MS e relação C/N similares a da aveia, pode ter beneficiado o sistema pela sua capacidade de ciclagem de fósforo em formas não disponíveis, com posterior disponibilização para a cultura do milho.

Nos sistemas com a ausência de N mineral os maiores incrementos de produtividade ao longo dos 10 anos em relação ao patamar inicial da aveia, ocorreu de acordo com os graus de capacidade de fornecimento de N ao milho (baixa, média e alta). Quando utilizada a aveia como referência desconta-se o aumento de produtividade em função do material genético utilizado e adubação de base, sendo o resultado final somente do sistema utilizado. Para os sistemas com consórcios e nabo os incrementos médios foram de 2,4 Mg ha⁻¹ enquanto para os sistemas com fabáceas e com alta capacidade de fornecimento de N para a cultura do milho o incremento foi de 3,7 Mg ha⁻¹ ao longo dos 10 anos.

Na presença do N mineral, temos I 10 anos variando de 2,3 Mg ha⁻¹ até 3,55 Mg ha⁻¹ para nabo e azevém, respectivamente. No entanto, quando analisamos somente o efeito do sistema, verificamos que o I-Prdt In (aveia) são bem menores quando comparado a ausência de N mineral, mas ainda presentes para os sistema consorciados, variando de 136 a 216 kg ha⁻¹ ao longo dos 10 anos. A concentração de N no solo não é mais um fator limitante, mas a quantidade disponível na solução do solo para absorção, pelas raízes pode sofrer influência, onde sistemas que conciliam maior equilíbrio no fornecimento de N aliado a maior permanência de palhada, condicionam melhores condições de umidade do solo e que podem resultar em maior eficiência das que utilizam o N.

4.1.1.2 Produção de massa seca de plantas de cobertura ao longo dos 10 anos

A produção de massa seca média dos 11 anos não apresentou interação entre plantas de cobertura e as doses de N residual (

Tabela 4). Embora interações são verificadas em alguns dos anos de condução (ZIECH 2016, CASSOL 2019), onde ocorre maior produção de MS na presença de N mineral para os sistemas com poáceas, mas podendo afetar negativamente a fixação biológica de N das leguminosas (SANCHEZ, 2019), em específico nesse estudo a cultura do tremoço, afetando o desenvolvimento e produção de massa seca.

A ciclagem do N residual ocorre, resultando em alguns anos em maiores produções de MS e acúmulo de N pelas plantas de cobertura, mas esse N é exportado pelo grão da cultura de milho, ocasionando redução do efeito dessa ciclagem para as safras subsequentes.

Na média dos sistemas de plantas de cobertura as maiores produções de massa seca são observadas para os consórcios A+E+N, A+E seguido da aveia. Embora não houve diferença dos sistemas consorciados em relação a aveia cultivada de forma solteira ao longo dos 10 anos, os dados mostram essa tendência de aumentar a produção de MS.

Tabela 4. Produção de MS de plantas de coberturas hibernais durante 10 anos após cultivo de milho com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N

Ano	N	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
MS (Mg ha⁻¹)											
1°	0	3,0	4,0	2,6	2,8	4,1	2,4	2,2	3,0	3,0	
2°	0	4,6	4,4	4,3	3,6	5,4	2,1	3,5	2,5	3,8	
*3°	0	6,1	6,5	5,5	3,1	2,6	3,0	4,6	3,4	4,4	
4°	0	3,9	5,0	5,2	1,9	3,3	2,1	3,8	4,0	3,7	
5°	0	4,3	4,9	3,8	2,2	2,9	2,0	2,6	3,7	3,3	
6°	0	7,1	6,1	6,5	3,2	8,1	2,6	3,7	1,2	4,8	
7°	0	5,7	5,1	4,6	3,0	6,4	2,4	2,5	3,6	4,1	
8°	0	6,1	6,6	6,5	1,7	3,4	2,0	3,5	2,5	4,0	
9°	0	2,8	5,3	4,7	2,1	2,2	1,8	1,0	4,3	3,0	
10°	0	4,5	4,8	4,9	2,8	4,2	1,9	2,0	3,6	3,6	
11°	0	3,6	4,2	7,1	1,6	3,5	1,2	3,0	5,2	3,7	
1°	180	3,0	4,0	2,6	2,8	4,1	2,4	2,2	3,0	3,0	
2°	180	4,8	4,5	4,7	4,0	3,8	2,0	3,6	2,9	3,8	
3°	180	7,2	6,2	5,7	3,5	3,0	3,1	5,4	3,5	4,7	
4°	180	5,0	5,2	5,1	2,3	3,4	2,0	3,2	3,3	3,7	
5°	180	5,2	4,6	4,3	2,3	4,1	2,2	2,4	2,8	3,5	
6°	180	7,8	7,5	6,9	3,7	6,3	2,2	3,8	1,2	4,9	
*7°	180	4,8	4,4	3,9	3,4	4,1	2,4	2,7	3,5	3,7	
8°	180	3,8	6,5	6,9	1,6	3,0	2,4	2,4	2,0	3,6	
9°	180	3,2	4,6	5,6	2,3	3,0	1,9	1,3	4,4	3,3	
10°	180	4,2	5,1	5,2	3,0	4,4	1,8	2,3	2,2	3,5	
11°	180	4,2	3,1	7,3	1,7	3,3	2,6	3,0	4,3	3,7	
Média	0	51,8	56,9	55,7	27,8	46,0	23,4	32,4	37,1	41,4	
	180	53,4	55,7	58,0	30,5	42,6	24,7	32,2	33,2	41,3	
Soma	0	4,7 ^{ns}	5,2	5,1	2,5	4,2	2,1	2,9	3,4	3,8 ^{ns}	4,0
	180	4,9	5,1	5,3	2,8	3,9	2,2	2,9	3,0	3,8	
	Média	4,8 a	5,1 a	5,2 a	2,6 d	4,0 b	2,2 d	2,9 c	3,2 c		10,9

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço branco

A comparação de produção de MS do sistema como um todo em relação ao sistema solteiro não é a mais adequada, mas sim a comparação da produção de cada espécie dentro do sistema com sua respectiva espécie solteira, obtendo assim a quantidade de MS produzida em função da densidade de sementes utilizadas (kg de MS/kg semente ha⁻¹), de acordo com o realizado para este experimento nas safras 17/18 e 18/19 (Cassol, 2019). Nestes casos, a obtenção de dados de resposta da produção de MS em função da densidade de semeadura para cada espécie dentro do consórcio em relação a espécie solteira possibilita a determinação com

confiança das relações interespecíficas e intraespecíficas das espécies nas misturas (Hayden et al 2014).

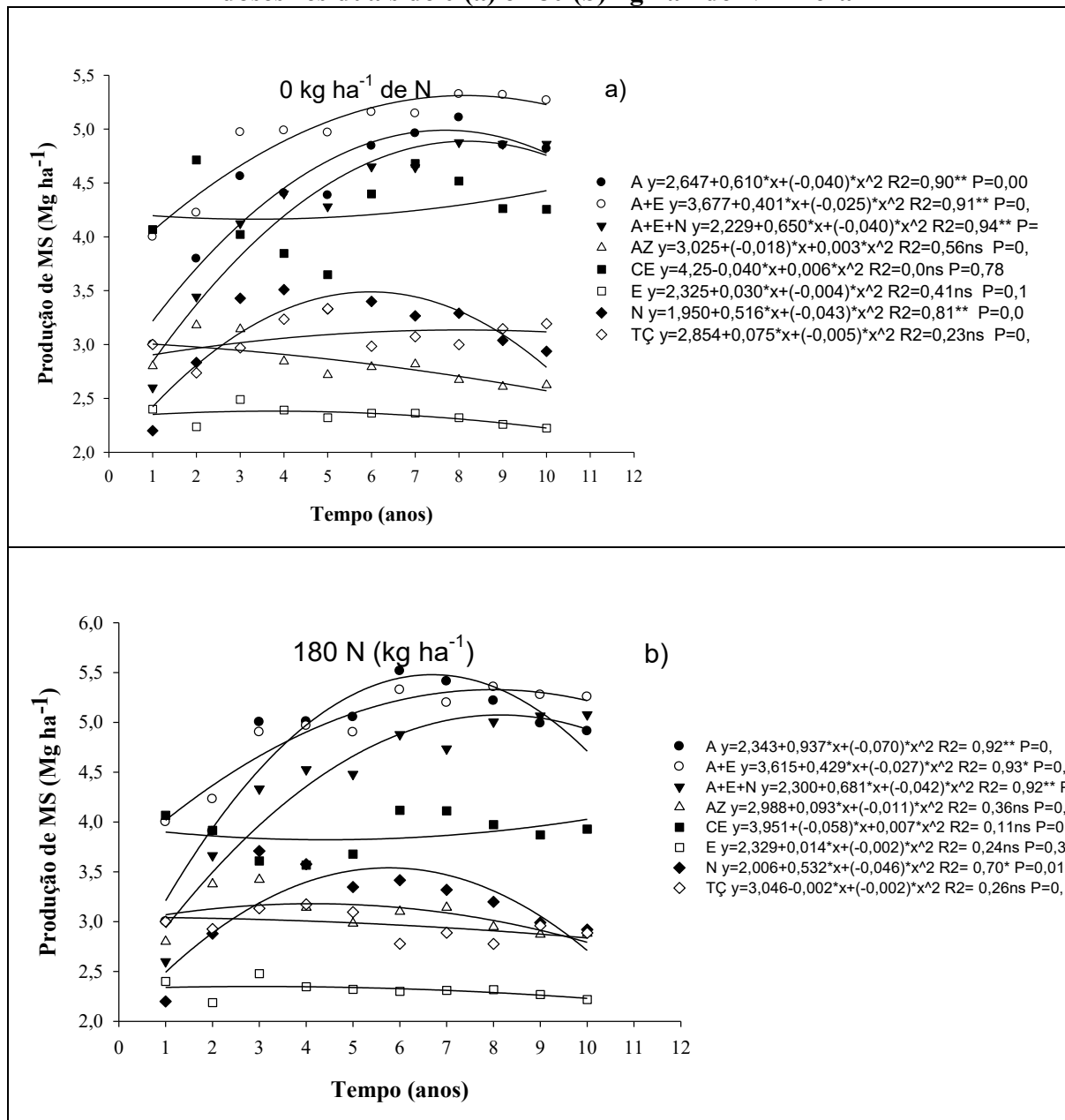
Com base nessa avaliação de eficiência podemos inferir qual espécie foi beneficiada ou prejudica no processo de interação, podendo assim, configurar a proporção das espécies de forma a obter maior sinergismo. Os resultados obtidos neste estudo denotam um aumento da produção da aveia de 47 e 30% no consorcio A+E e A+E+N em relação a aveia solteira (47 kg de MS/kg de semente ha⁻¹), e um redução para ervilhaca de 37 e 29%, respectivamente em relação a ervilhaca solteira (52 kg de MS/kg de semente ha⁻¹). O nabo na interação foi beneficiado com aumento de 27% na produção de MS em relação ao nabo solteiro (140 kg de MS/kg de semente ha⁻¹) (CASSOL, 2019).

Na literatura a uma grande quantidade estudos avaliando a consorciação de espécies, no entanto, os resultados nem sempre apontam superioridade em relação as espécies solteiras. (GIACOMINI et al., 2003; CARVALHO et al., 2007; DONEDA et al., 2012; ZIECH, 2016; CASSOL, 2019; MICHELON et al., 2019). Para conseguir aumentar os sinergismos entre as espécies é necessário avaliarmos a densidade de semeadura que proporciona maior sinergismo e menor custo com a implantação dos consórcios. Os estudos até então avaliaram proporções de mistura (HEINRICHS et al., 2001; GIACOMINI et al., 2003; AITA et al., 2003), mas não é conhecido qual é densidade nas proporções avaliadas e recomendadas, proporcionam maior sinergismo.

Ao longo dos 10 anos é observado grandes variações de produção de MS para uma mesma espécie, estas oscilações ocorrem tendo em vista a alta dependência das condições climáticas, fitossanitárias, das particularidades do ano em que é realizado o cultivo (AMADO et al., 2002) e do seu próprio efeito do sistema de cultivo ao longo do tempo.

Apenas os consórcios, aveia e nabo apresentaram ajustes significativos com incremento de produção ao longo do tempo em ambas as doses de N residual (Figura 9 a e b). Os incrementos de produção de MS para estes sistemas apresentaram pouca variação em função das doses de N residuais. Tanto na presença como na ausência de N residual os maiores incrementos de MS foram verificados para consórcios e aveia, variando de 2,5 a 1,51 Mg ha⁻¹ na ausência e de 2,61 a 1,59 na presença de N residual para A+E+N e A+E, respectivamente. O consorcio A+E+N apresentou incremento de produção de MS em relação a aveia de 0,4 Mg ha⁻¹ (Tabela 5).

Figura 9. Produção de MS de plantas de cobertura hibernais ao longo de 10 anos sobre doses residuais de 0 (a) e 180 (b) kg ha⁻¹ de N mineral



Essa capacidade de incremento na produção de MS dos consórcios independente do sistema com e sem N, ocorre em função da diversidade de culturas, onde é comum uma servir de tutora para outra e com isso ter melhor aproveitamento de luz em função da ocupação de diferentes estratos no dossel. A exploração de camadas distintas de solo possibilita maior ciclagem de nutrientes, rápida cobertura do solo com maior controle de plantas invasoras, menor sensibilidade a estresses climáticos (AMADO et al., 2014).

Tabela 5. Incremento produção de MS de plantas de cobertura hibernais ao longo de 10 anos sobre doses residuais de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N mineral.

Dose N	Sistemas	MS Ini (Mg ha ⁻¹)	I Anual	I 10 anos	Fator de correção ano ²	Correção 10 anos	I 10 anos (Mg ha ⁻¹)	I-R (aveia)
0	A/M	2,647	0,610	6,1	-0,04	-4,00	2,1	
	A+E/M	3,677	0,401	4,01	-0,025	-2,50	1,51	-0,6
	A+E+N/M	2,229	0,65	6,5	-0,04	-4,00	2,5	0,4
	AZ/M	3,025	-0,018	-0,18	0,003	0,30	0,12	-2,0
	CE/M	4,25	-0,04	-0,4	0,006	0,60	0,2	-1,9
	E/M	2,325	0,03	0,3	-0,004	-0,40	-0,1	-2,2
	N/M	1,95	0,516	5,16	-0,043	-4,30	0,86	-1,2
	TÇ/M	2,854	0,075	0,75	-0,005	-0,50	0,25	-1,9
180	A/M	2,343	0,937	9,37	-0,07	-7	2,37	
	A+E/M	3,615	0,429	4,29	-0,027	-2,7	1,59	-0,78
	A+E+N/M	2,3	0,681	6,81	-0,042	-4,2	2,61	0,24
	AZ/M	2,988	0,093	0,93	-0,011	-1,1	-0,17	-2,54
	CE/M	3,951	-0,058	-0,58	-0,007	-0,7	-1,28	-3,65
	E/M	2,329	0,014	0,14	-0,002	-0,2	-0,06	-2,43
	N/M	2,006	0,532	5,32	-0,046	-4,6	0,72	-1,65
	TÇ/M	3,046	-0,002	-0,02	0,002	0,2	0,18	-2,19

MS Ini=MS inicial; I anual= Incremento anual; IP10=Incremento parcial em 10 anos; I10= Incremento em 10 anos; I-R (aveia)= Incremento em relação a referência (aveia); M=Milho; A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremçoço branco.

O aumento na produção de MS ocorre também em função da contribuição indireta da passagem de nitrogênio das fabáceas para outras espécies no consórcio. Esse evento é conhecido como simbiose tripartite, onde os fungos micorrízicos arbusculares colonizam simultaneamente raízes de plantas de diferentes espécies formando uma rede e, quando as malhas fúngicas de diferentes espécies de plantas se encontram no solo, as hifas formam conexões ou anastomoses, por onde os nutrientes podem ser transferidos entre diferentes espécies de plantas (CRUZ e MARTINS, 1998).

4.1.1.3. Adição de massa seca de milho na maturação fisiológica ao longo dos 11 anos

Para a adição líquida de MS temos a interação entre fatores, onde, a adição é maior para todos os sistemas na presença de N (Tabela 6). Nessa fase toda a translocação de nutrientes da planta para a formação dos grãos já ocorreu e será maior no sistema que apresentou menor

limitação de N para formação dos componentes de rendimentos. Desse modo, nos sistemas onde a capacidade de fornecimento de N é maior, os componentes de rendimentos serão maiores, resultando em maior exportação de nutrientes.

Tabela 6. Produção de MS de milho na maturação fisiológica em sucessão a plantas de cobertura hibernais e duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos

Ano	N	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
MS Milho (Mg ha⁻¹)											
1°	0	9,5	10,2	10,3	9,0	8,8	10,4	10,2	9,5	9,7	
2°	0	7,9	9,5	9,7	8,5	9,1	11,9	10,4	10,1	9,6	
3°	0	9,0	12,6	13,3	9,1	8,7	13,8	11,8	11,7	11,3	
4°	0	7,4	9,7	11,3	6,9	7,7	12,5	12,2	13,3	10,1	
5°	0	8,0	9,4	11,2	7,7	8,1	11,4	10,8	11,1	9,7	
6°	0	8,5	10,7	10,2	6,6	7,9	14,1	10,8	11,0	10,0	
7°	0	7,5	11,8	11,2	7,6	8,7	13,7	11,9	13,5	10,7	
8°	0	9,7	14,0	13,5	10,8	11,3	15,4	12,1	14,9	12,7	
9°	0	7,5	10,1	12,3	8,6	10,1	13,6	10,2	13,2	10,7	
10°	0	8,3	10,3	11,7	9,4	8,5	12,3	11,9	13,1	10,7	
11°	180	7,1	9,5	9,5	7,5	8,3	10,4	8,4	11,4	9,0	
1°	180	11,5	11,6	11,8	10,7	11,5	12,2	12,0	12,1	11,7	
2°	180	12,5	11,9	12,1	10,9	12,1	11,1	11,4	10,5	11,6	
3°	180	16,3	17,2	16,5	15,7	14,5	15,7	14,0	13,9	15,5	
4°	180	16,5	17,1	17,0	14,9	15,7	15,5	15,4	16,5	16,1	
5°	180	12,3	12,7	11,4	12,3	11,5	12,8	11,6	11,8	12,0	
6°	180	14,9	14,3	12,3	11,6	11,0	14,5	11,9	13,9	13,1	
*7°	180	16,5	16,8	17,2	17,3	16,7	16,1	17,4	14,7	16,6	
8°	180	14,9	14,7	16,3	16,4	15,6	16,0	16,7	16,4	15,9	
9°	180	16,0	15,9	16,9	14,8	17,4	15,9	15,5	16,3	16,1	
10°	180	13,5	14,2	14,7	14,7	15,7	13,3	14,0	14,0	14,2	
11°	180	11,5	12,0	12,5	11,7	11,6	11,1	10,8	12,0	11,7	
Total	0	90,4	117,7	124,1	91,7	97,1	139,3	120,7	133,0	114,3	
	180	156,5	158,6	158,7	151,0	153,4	154,2	150,8	152,1	154,4	
Média	0	**8,2 cB	10,7 bB	11,3 bB	8,3 cB	8,8 cB	12,7 aB	11,0 bB	12,1 aB	**10,4 B	5,20
	180	14,2 aA	14,4 aA	14,4 aA	13,7 aA	13,9 aA	14,0 aA	13,7 aA	13,8 aA	14,0 A	
Média		**11,2 b	12,6 a	12,9 a	11,0 b	11,4 b	13,3 a	12,3 a	13 a		6,44

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *; ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço branco

Na presença de N mineral os sistemas não apresentam diferenças para adição líquida de MS. Na ausência de N mineral ocorre a formação de três grupos, onde o milho cultivado sobre leguminosas apresentam maior adição de MS líquida, acima de 12 Mg ha⁻¹, adição líquida 15% superior ao sistema de culturas com consórcios e nabo, e 50% acima da adição líquida de

MS do milho cultivado sobre poáceas. No entanto, a conversão em MO não é dependente somente da quantidade, mas da qualidade da MS adicionada, onde sistemas com maior diversidade de espécies poáceas e fabáceas tendem a ter maior conversão em MO (Lovato et al., 2004)

4.1.1.4. Balanço das adições de massa seca por plantas de cobertura e milho ao longo de 11 anos

As adições líquidas mostram o efeito do sistema como um todo ao longo dos 11 anos, somando-se as inter-relações das plantas de cobertura com a cultura do milho e as doses de N (Tabela 7). No desdobramento da interação é verificado que o sistema com tremoço/milho na ausência de N mineral proporcionou adição equivalente aos seu respectivo sistema que recebeu N mineral. Essa equivalência para o tremoço pode estar relacionada a maior produção de MS na ausência de N mineral, quando comparada a ausência de N mineral, somou 4,4 Mg ha⁻¹ ao longo dos 10 anos de estudo.

Verifica-se que a capacidade de adição de MS das plantas de cobertura é determinante para as maiores adições de MS líquida, essa condição é verificada tanto na ausência como na presença de N mineral. Onde os sistemas consorciados/milho na ausência de N mineral apresentam adições líquidas similares aos sistemas com leguminosas e quando na presença do N mineral as adições líquidas de MS são superiores em 18%.

Nas médias finais observa-se que os sistemas que promovem, tanto a alta adição de MS, como apresentam capacidade de fornecimento intermediário de N para o milho, apresentam significativamente maior quantidade de MS líquida adicionada a superfície do solo, de 2,52 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, totalizando 27,7 Mg ha⁻¹ ao longo dos 11 anos, em relação aos demais sistemas.

Segundo resultados de Aita (1997), quanto maior a adição de MS e esta apresentar maior diversidade de espécies, maior será o efeito no aumento dos teores de MOS no solo, pois, além da quantidade a qualidade da MS representada pela relação C/N e determinante nesse processo.

Estes resultados apesar de não considerar a contribuição do sistema radicular das espécies, se situa superior as adições mínimas anuais de 8-12 Mg ha⁻¹ de MS nos trópicos e subtropicos para assegurar a sustentabilidade do sistema de cultivo (DERPSCH, 2013; LOVATO et al., 2004).

Tabela 7. Balanço da adição de MS das plantas de cobertura e milho sobre duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos

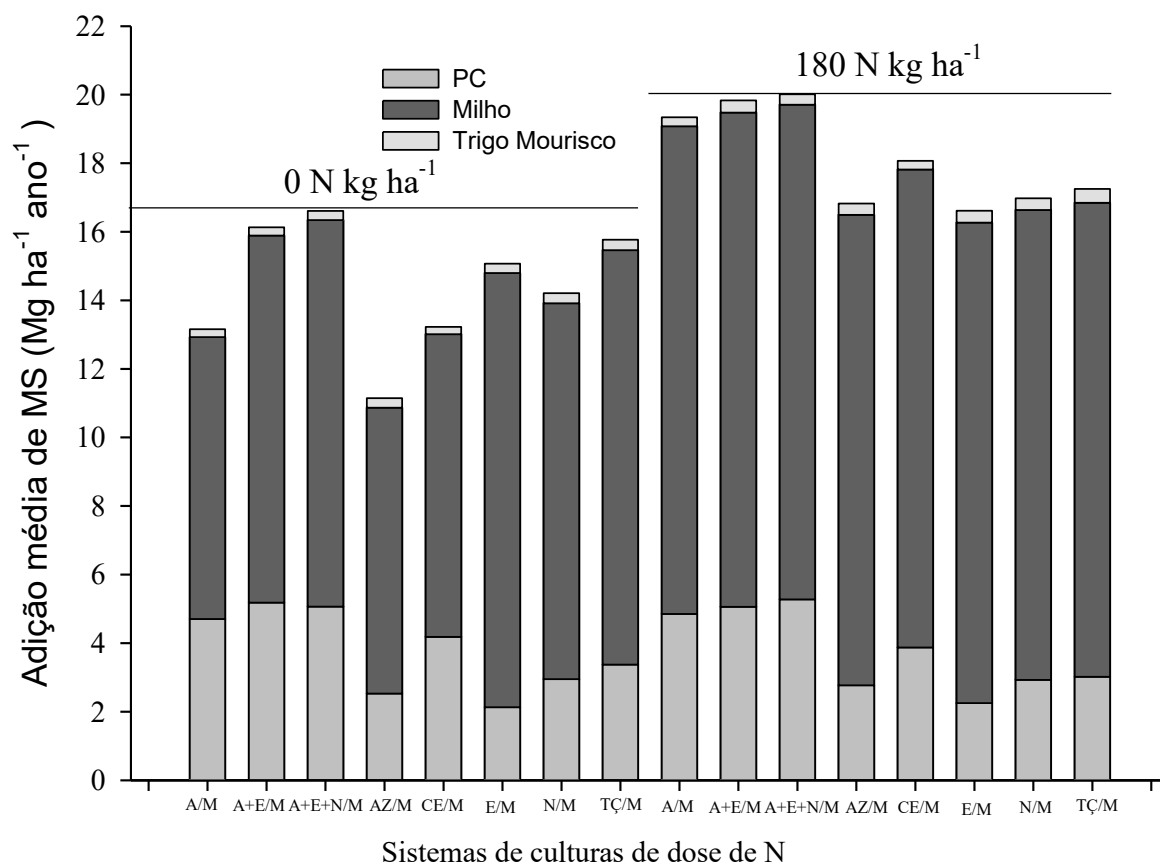
Ano	N	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv
MS PC+M+TM (Mg ha⁻¹)											
1°	0	12,5	14,2	12,9	11,8	12,9	12,8	12,4	12,5	12,8	
2°	0	12,5	14,0	14,0	12,0	14,5	13,9	13,9	12,6	13,4	
*3°	0	15,1	19,1	18,8	12,2	11,3	16,8	16,5	15,2	15,6	
4°	0	11,4	14,7	16,5	8,8	11,1	14,6	15,9	17,3	13,8	
5°	0	12,3	14,3	15,0	10,0	10,9	13,4	13,4	14,9	13,0	
6°	0	15,6	16,8	16,7	9,8	16,0	16,6	14,5	12,3	14,8	
7°	0	13,2	16,8	15,8	10,6	15,0	16,0	14,4	17,1	14,9	
8°	0	15,8	20,6	20,0	12,4	14,7	17,4	15,6	17,4	16,7	
9°	0	10,3	15,3	17,0	10,7	12,3	15,4	11,2	17,5	13,7	
10°	0	14,3	17,0	18,5	13,9	13,9	16,2	15,5	19,1	16,0	
11°	0	11,8	14,5	17,6	10,4	12,9	12,5	13,0	17,6	13,8	
1°	180	14,5	15,6	14,4	13,5	15,6	14,6	14,2	15,1	14,7	
2°	180	17,3	16,4	16,8	14,9	15,9	13,1	15,0	13,4	15,3	
3°	180	23,5	23,4	22,1	19,2	17,5	18,8	19,4	17,4	20,2	
4°	180	21,5	22,3	22,1	17,2	19,1	17,4	18,6	19,8	19,8	
5°	180	17,5	17,4	15,7	14,6	15,6	15,0	14,0	14,6	15,6	
6°	180	22,7	21,8	19,2	15,3	17,3	16,7	15,7	15,1	18,0	
*7°	180	21,3	21,3	21,1	20,6	20,8	18,5	20,2	18,3	20,3	
8°	180	18,7	21,2	23,2	18,0	18,6	18,3	19,1	18,4	19,4	
9°	180	19,2	20,5	22,4	17,1	20,4	17,7	16,8	20,7	19,4	
10°	180	19,4	22,0	22,2	19,9	21,8	17,6	18,7	19,1	20,1	
11°	180	17,0	16,3	20,8	14,7	16,0	14,9	15,1	17,9	16,6	
Total	0	144,8	177,3	182,7	122,6	145,5	165,8	156,3	173,4	158,5	
	180	212,7	218,2	220,1	185,1	198,7	182,7	186,7	189,7	199,3	
Média	0	13,2 bB	16,1 aB	16,6 aB	11,1 cB	13,2 bB	15,1 aB	14,2 bB	15,8 aA	14,4 B	4,4
	180	19,3 aA	19,8 aA	20,0 aA	16,8 bA	18,1 bA	16,6 bA	17,0 bA	17,2 bA	18,1 A	
Média	Média	16,3 b	18,0 a	18,3 a	14,0 c	15,6 b	15,8 b	15,6 b	16,5 b		6,3

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço branco. PC=Planta de cobertura; M= Milho; TM= Trigo Mourisco.

Estes resultados apesar de não considerar a contribuição do sistema radicular das espécies, se situa superior as adições mínimas anuais de 8-12 Mg ha⁻¹ de MS nos trópicos e subtropicos para assegurar a sustentabilidade do sistema de cultivo (DERPSCH, 2013; LOVATO et al., 2004). A adição de MS do sistema radicular de algumas espécies como ervilhaca, nabo e aveia podem chegar a valores de 24, 44 e 49%, respectivamente, da MS produzida pela parte aérea, até 0,20 m (WOLSCHICK et al., 2016), mas em estudos similares se usam valores próximos a 30% da MS adicionada pela parte aérea, de forma a representar a adição de MS proveniente das raízes

e exsudatos. Nestas condições todos os sistemas estão apresentando adições iguais ou superiores para manter ou elevar os estoques de MOS.

Figura 10. Balanço da adição de MS das plantas de cobertura e milho sobre duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹) N durante 11 anos



Podemos perceber a semelhança entre as adições de MS das plantas de cobertura tanto na presença como na ausência de N mineral (Figura 10). Já para a cultura do milho as maiores adições ocorrem na presença de N. Comparando as médias finais dos sistemas a adição de MS líquida do milho chega a 70% do total adicionado quando cultivado sobre consórcios, aveia e centeio e sobe para 80% quando cultivado sobre coberturas como ervilhaca, tremoço, nabo e azevém, culturas com adições de MS anuais inferiores a 2,7 Mg ha⁻¹.

4.1.2 Aporte de C e N por plantas de cobertura e milho com e sem N mineral ao longo de 10 anos

As adições médias de C (parte aérea e raízes) ao solo nos diferentes sistemas estão apresentadas na Tabela 8 e Figura 11. Verifica-se que as adições apresentaram interações para

plantas de cobertura e milho. Para as plantas de cobertura no desdobramento da interação a cultura do tremoço apresentou maior adição de C na ausência de N mineral, como discutido anteriormente o N residual da cultura do milho ocasionou redução do desenvolvimento e produção de MS em alguns anos, provavelmente em função da inibição do processo de simbiose com as bactérias fixadoras de N. O centeio apresentou maior adição de C na ausência de N mineral, embora quantitativamente a diferença seja baixa, mas pode estar relacionada a maior exportação de nutrientes pela cultura do milho no sistema com N mineral, associado a maior oferta de N com maiores teores disponíveis de P no solo, conforme discutido no capítulo 4.1.1.1.

Tabela 8. Quantidade média (11 anos) anual de C adicionado sobre o solo de plantas de cobertura, milho e trigo mourisco

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
C PC (Mg ha⁻¹)										
0	*2,55 aA	2,78 aA	2,65 aA	1,30 eA	2,25 bA	1,07 eA	1,49 dA	1,74 cA	ns1,98	4,16
180	2,63 aA	2,70 aA	2,75 aA	1,43 cA	2,06 bB	1,13 dA	1,45 cA	1,57 cB	1,96	
Média	**2,59 a	2,74 a	2,70 a	1,36 d	2,15 b	1,10 e	1,47 d	1,65 c	9,67	
C MS M (Mg ha⁻¹)										
0	**4,39 cB	5,74 bB	6,03 bB	4,44 cB	4,73 cB	6,57 aB	5,92 bB	6,39 aB	**5,53 B	4,36
180	7,18 aA	7,27 aA	7,23 aA	7,07 aA	7,07 aA	7,07 aA	7,0 aA	7,05 aA	7,12 A	
Média	**5,78 b	6,5 a	6,63 a	5,76 b	5,9 b	6,82 a	6,46 a	6,72 a	5,23	
C TM (Mg ha⁻¹)										
0	ns0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,07	0,08	**0,06 B	14,89
180	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	0,07	0,09	0,07 A	
Média	ns0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,08	20,94	
C Total (Mg ha⁻¹)										
0	**7,0 cB	8,6 aB	8,7 aB	5,8 dB	7,0 cB	7,7 bB	7,5 cB	8,2 aA	**7,6 B	6,1
180	9,9 aB	10,0 aA	10,0 aA	8,6 bA	9,2 bA	8,3 bB	8,5 bA	8,7 bA	9,2 A	
Média	**8,4 b	9,3 a	9,4 a	7,2 c	8,1 b	8,0 b	8,0 b	8,5 b	8,9	

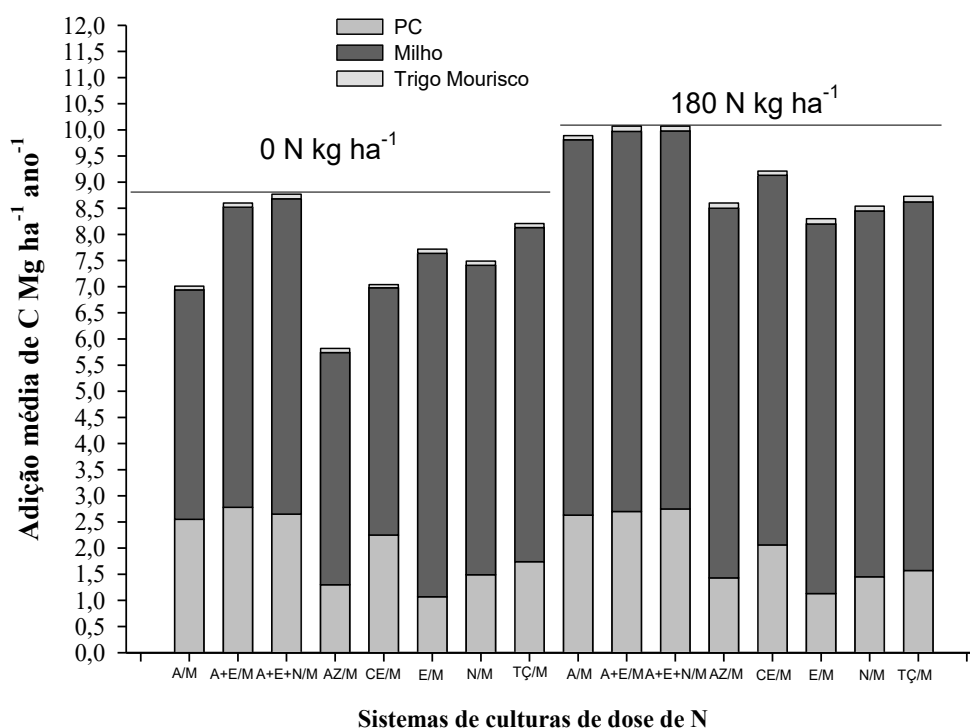
Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço branco; TM: Trigo Mourisco

A contribuição relativa das coberturas na adição de C variou de 14 a 37% na ausência de N mineral e 12 a 30% na presença do N mineral. As maiores adições na média final dos sistemas ocorrem para os sistemas consorciados e aveia.

Como regra geral o milho apresentou maior contribuição na adição de C, mas verificamos que as plantas de cobertura influenciam diretamente nessa capacidade. Onde o milho sobre leguminosas, consórcios e nabo tiveram uma adição equivalente a 82 e 92% respectivamente, da verificada no mesmo sistema com N mineral. Comparativamente no

sistema de milho sobre poáceas o aumento da adição de C pela adição de 180 kg de N foi de 2,59 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, já para os sistemas com leguminosas, consórcios e nabo na ausência de N, comparativamente ao sistema aveia/milho na ausência de N, foi de 1,96 e 1,38 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹, representando 78 e 50% da adição de C proporcionada pela adubação nitrogenada (2,59 Mg ha⁻¹), respectivamente. Em termos de N as fabáceas, consórcios e nabo proporcionaram um efeito nas adições de C equivalente a 140 e 90 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

Figura 11. Quantidade média (11 anos) anual de C adicionado sobre o solo de plantas de cobertura, milho e trigo mourisco



Esse aumento da adição de C na cultura do milho está relacionado diretamente ao fornecimento de N pelas plantas de coberturas, variando de acordo com a capacidade de fornecimento do sistema de cobertura utilizado, não sendo expressivo na presença de N mineral (AMADO et al., 2000; AMADO et al., 2001; LOVATO et al., 2004).

Para as adições totais de C destaca-se maiores adições para os sistemas de cultivo de milho sobre consórcios nas médias finais, resultado de adições de MS em quantidade e qualidade e que na ausência de N mineral resultou em adições de C pelo milho superior aos sistemas com poáceas.

A quantificação das quantidades de N adicionadas pelos sistemas apresentam maior dificuldade quando comparada as adições de C, pois o N é adicionado a biomassa vem do solo, FBN, e da adubação nitrogenada (Tabela 9). Já o C é adicionado a biomassa diretamente do ar via fotossíntese. Sem a utilização da técnica do N marcado (N15) a separação é feita com base em experimentos campo, embora podem sub ou superestimar as adições de N via FBN ou do N absorvido do solo. Quando se avalia experimentos a campo se considera que o N presente nas fabáceas vem do solo e da fixação biológica e o N das poáceas e brássicas (aveia, azevém, centeio, nabo e milho) vem exclusivamente do solo. No solo inclui o N aplicado via ureia.

Tabela 9. Quantidades médias anuais estimadas de nitrogênio adicionado, reciclado e retirado nos sistemas de plantas de cobertura e milho, com e sem adubação nitrogenada

Sistemas de culturas	Culturas de coberturas					Milho						
	N	MS	PC	TN	PC	N absorvido	N fixado ⁽¹⁾	N absorvido	N retirado grão	Total reciclado ⁽²⁾	Total adicionado ⁽³⁾	Total depositado sobre o solo ⁽⁴⁾
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		N g kg ⁻¹		-----kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----							
A/M	0	4517	12	67	0	66	34	133	-34	99		
A+E/M	0	5368	15	95	27	100	58	168	-31	137		
A+E+N/M	0	5036	17	105	21	105	67	189	-46	143		
AZ/M	0	2320	14	41	0	65	36	107	-36	71		
CE/M	0	4431	14	69	0	73	39	142	-39	104		
E/M	0	2277	32	82	52	133	87	164	-35	129		
N/M	0	2634	17	62	0	105	60	167	-60	107		
TÇ/M	0	3188	25	101	53	120	78	169	-25	144		
A/M	180	4550	13	77	0	174	111	251	69	321		
A+E/M	180	5277	16	95	22	175	125	247	77	325		
A+E+N/M	180	4922	18	115	19	171	115	267	84	351		
AZ/M	180	2717	15	49	0	161	105	209	75	284		
CE/M	180	4026	16	72	0	155	110	228	70	298		
E/M	180	2317	31	83	48	185	111	220	117	337		
N/M	180	2624	19	69	0	169	108	238	72	310		
TÇ/M	180	2785	27	97	50	176	108	223	122	345		

M=Milho; A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE= Centeio e TÇ= Tremoço branco. ⁽¹⁾N fixado mix A+E= (TN E-TNA)*(0,21*MS); ⁽¹⁾N fixado mix A+E+N= (TN E-TNA)*(0,17*MS). 21 e 17% é a participação da E na MS dos consórcios A+E e A+E+N, respectivamente. ⁽²⁾Total reciclado=(IV-V+VI); ⁽³⁾Total adicionado= (I+V)-VII; ⁽⁴⁾Total adicionado sobre o solo= (I+IV+VI)-VII

Para separação do N fixado biologicamente pelo tremoço e ervilhaca solteira e em consórcio foi utilizado a aveia como cultura de referência, descontando-se o teor de N da fabáceas do teor de N da aveia. Nesse caso, considera-se que a absorção do N oriundo do solo

é similar entre as espécies. A participação da ervilhaca na MS dos consórcios foi realizada para a maioria dos anos avaliados, na média ficando 21% e 17% no consórcio A+E e A+E+N, respectivamente.

Na Tabela 9 temos a estimativa do N total reciclado pelas plantas de cobertura e milho (coluna VIII), do N total adicionado, ou seja, do balanço da quantidade de N adicionada ao sistema anualmente (IX) e do N depositado sobre o solo (coluna X), que representa o N fixado, reciclado e N adicionado na forma de ureia, descontando o N retirado pelo grãos de milho.

A quantidade de N fixado pela ervilhaca de forma solteira ou no mix variou de 63 a 58% na dose 0 e 180 kg de N mineral, já o tremoço apresentou menor quantidade de N fixado biologicamente, com pouca variação entre as doses de N mineral, variando de 51 a 52% na dose 0 e 180 kg de N mineral (Tabela 10).

Tabela 10. Porcentagem de nitrogênio derivado da fixação biológica em ervilhaca consorciada e solteira e tremoço branco em diferentes doses de N residual, dados médios 11 anos

Plantas de cobertura	N	%NFB
E (A+E)	0	63
E (A+E)	180	57
E (A+E+N)	0	63
E (A+E+N)	180	57
E	0	63
E	180	58
TÇ	0	52
TÇ	180	51

E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; TÇ= Tremoço branco

Em alguns trabalhos que utilizaram método do N marcado, os valores de N fixado biologicamente para ervilhaca variaram de 60% (Enrico et al., 2020), 59 e 75% em dois locais (Perrone et al., 2020), chegando a valores de 86% (Hayden et al., 2014). A proporção do N oriundo da FBN varia entre agroecossistemas em função de fatores bióticos e abióticos (Figueiredo et al., 2008). No estudo em questão, onde o solo apresentar MO superior a 4% pode pela maior oferta de N no solo reduzir a quantidade de N fixado biologicamente.

As quantidades totais de N reciclado pelas plantas de coberturas e milho apresentaram interação entre os fatores, com maiores quantidades de N reciclado na presença do N mineral, justamente pelo maior desenvolvimento da cultura do milho (Tabela 11).

Para os sistemas na ausência de N mineral as adições líquidas de N foram negativas, variando de -60 a -25 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para nabo e tremoço, respectivamente (Figura 12). Em

trabalho realizado por Lovato et al., 2004, foi verificada adição líquida de N no sistema com ervilhaca/milho sem N mineral de 38 kg ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, a produtividade de milho foi de 4,0 Mg ha⁻¹, já neste trabalho a média foi 7,4 Mg ha⁻¹, gerando maior exportação de N no grão de milho. Associado a essa maior exportação pelo grão temos a menor adição de N pela ervilhaca, de 82 contra 114 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no trabalho mencionado. A menor adição de N pela ervilhaca está relacionada ao seu manejo antes da fase de florescimento (auge de produção de MS) em função da necessidade de manejo para semeadura da cultura do milho na época zoneamento recomendado. Para a região em questão a ervilhaca deve ser semeada final de abril a início de maio para que se consiga manejar em agosto no seu auge de produção de MS.

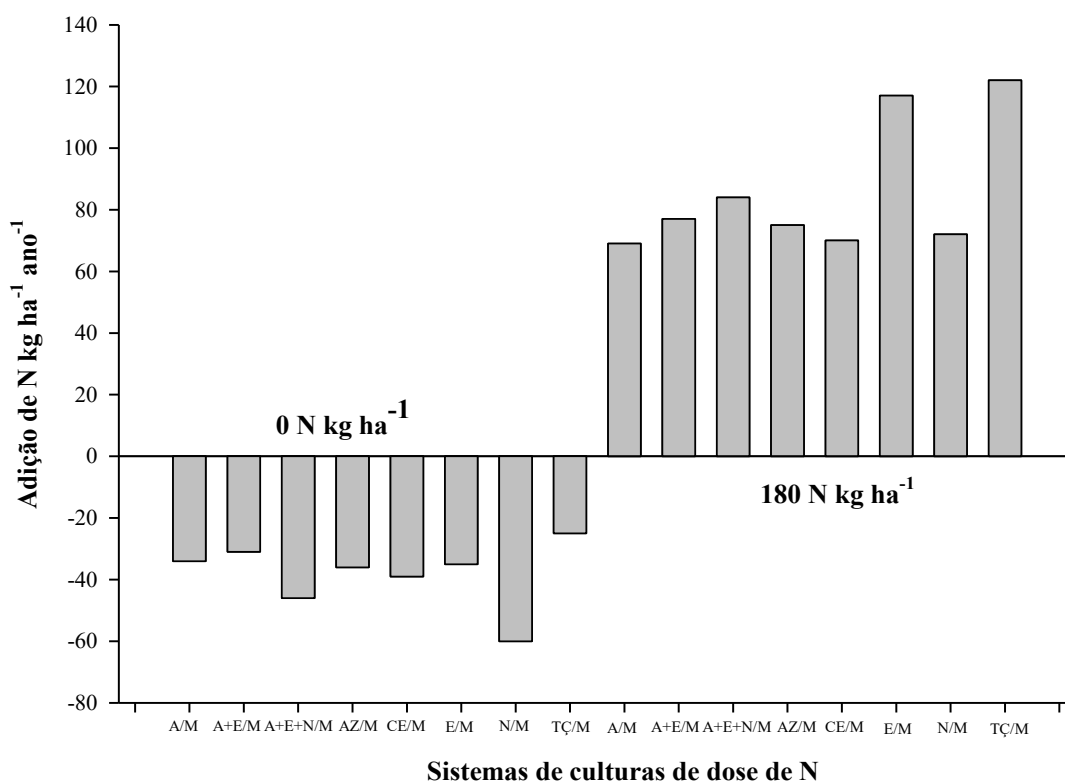
Tabela 11. Quantidade média anual de N total reciclado, adicionado e depositado sobre o solo

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
N total reciclado kg ha⁻¹										
0	*133 bB	168 aB	189 aB	107 bB	142 bB	164 aB	167 aB	169 aB	**155 B	8,4
180	251 aA	247 aA	267 aA	209 bA	228 bA	220 bA	238 aA	223 bA	236 A	
Média	**192 a	208 a	228 a	158 a	185 a	192 a	203 a	196 a		
N total adicionado kg ha⁻¹										
0	** -34 aB	-31 aB	-46 bB	-36 aB	-39 aB	-35 aB	-60 bB	-25 aB	** -38 B	38
180	69 bA	77 bA	84 bA	75 bA	70 bA	117 aA	72 bA	122 aA	86 A	
Média	**18 b	23 b	19 b	20 b	16 b	41 a	6 b	49 a		
N total depositado sobre o solo kg ha⁻¹										
0	^{ns} 99	137	143	71	104	129	107	144	**117 B	6,3
180	321	325	351	284	298	337	310	345	321 A	
Média	**210 b	231 a	247 a	178 b	201 b	233 a	208 b	244 a		

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço branco

A adição líquida de N na presença do N mineral variou de 69 a 122 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para aveia e tremeço, respectivamente. Entre os sistemas na presença do N mineral as maiores adições líquidas foram verificadas para as fabáceas, adicionando 45 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (60%) a mais que os demais sistemas. Quantidade inferiores ao verificado por Aita et al., (2004), onde as adições no sistema ervilhaca/milho na presença de N mineral apresentou adições de 65 kg ha⁻¹ ano⁻¹ quando comparado ao sistema aveia/milho+N mineral.

Figura 12. Quantidades anuais médias de N adicionadas ao solo pelas plantas de cobertura, em duas doses de N mineral



4.1.3 Análise de viabilidade econômica de sistemas de cultivo de milho em sucessão a plantas de cobertura do longo de 10 anos

A demonstração da viabilidade econômica do uso de plantas de cobertura é determinante para convencer o produtor da inclusão destas no sistema de produção. No entanto, quando se trata de plantas de cobertura, temos que os resultados dos seus benefícios são repassados para o sistema de produção e não geram retorno imediato (R\$) quando comparado a utilização de culturas comerciais. Os retornos quando gerados são difíceis de serem creditados às plantas de cobertura, pois não se tem uma ligação direta com a obtenção do lucro, por exemplo a venda dos grãos das culturas comerciais que resulta em retorno financeiro direto para o produtor.

Na maioria das vezes o agricultor só começa a perceber importância e a viabilidade da utilização das plantas de cobertura quando a produtividade é reduzida drasticamente em função de secas prolongadas, eventos intensos de pluviosidade que causam grandes perdas de solo, e justamente a camada com maior fertilidade, e que demorou anos para ser construída ou quando o herbicida não consegue manejar de maneira eficiente as ervas daninhas, em função do

aparecimento de resistência. Esses fatores acabam por reduzir drasticamente a produtividade e afetando justamente o ponto mais sensível da maioria dos produtores.

No entanto, temos que mudar essa ótica e passar a mostrar que possível ter viabilidade financeira no curto prazo, com a utilização das plantas de cobertura, para isso, devemos considerar o principal benefício ecossistêmico das plantas de cobertura fabáceas que é a capacidade de fornecer N via FBN. Desse modo, pela sua contribuição ao sistema temos um retorno econômico pelo N que deixamos de aplicar via adubação nitrogenada.

De modo a demonstrar a ocorrência ou não de viabilidade financeira de sistemas de cobertura antecedendo a cultura do milho serão discutidos dados de custo e rentabilidade média dos 10 anos referentes apenas os itens que se diferenciam entre os tratamentos, ou seja, custos das sementes das plantas de cobertura, ureia e custo de aplicação de ureia (Tabela 12).

Tabela 12. Custos médios de 10 anos para plantas de cobertura/milho e custos considerando a equivalência (Eq) em ureia para os sistemas de 2010 a 2019

Itens	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ
Sementes (R\$ kg)	R\$ 1,60	R\$ 2,62	R\$ 2,42	R\$ 2,35	R\$ 3,00	R\$ 4,15	R\$ 2,15	R\$ 4,50
Densidade kg ha ⁻¹	90	100	100	50	50	40	15	100
Custo ha⁻¹	R\$ 144,00	R\$ 262,00	R\$ 242,00	R\$ 117,50	R\$ 150,00	R\$ 166,00	R\$ 32,25	R\$ 450,00
Custo ureia kg	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29	R\$ 1,29
Dose ureia kg ha ⁻¹	400	400	400	400	400	400	400	400
Custo ureia	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 516,00
Custo aplicação								
R\$ ha⁻¹	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Eq Ureia kg ha⁻¹	0	102	129	0	0	175	76	161
Dose ureia kg ha⁻¹	400	298	271	400	400	225	324	239
Custo N eq	R\$ 516,00	R\$ 384,42	R\$ 349,59	R\$ 516,00	R\$ 516,00	R\$ 290,25	R\$ 417,96	R\$ 308,31
Preço saca 60 kg	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98	R\$ 26,98

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Utilizando custos médios verificados dos anos de 2010 a 2019, calculou-se o custo em cada sistema de plantas de cobertura nas doses de 0 e 180 kg de N mineral, e também os custos considerando a equivalência em N mineral dos sistemas, obtido com dados das safras 17/18 e 18/19, onde foram utilizados três doses de N mineral (0, 90 e 180) (Cassol, 2019) (Tabela 13). As doses calculadas em kg de ureia equivalente, bem como a quantidade de ureia a aplicar considerando essa contribuição constam na Tabela 12.

Tabela 13. Custos da produção de milho em sucessão a plantas de cobertura na média de 10 anos sobre doses de N e considerando a contribuição de cada sistema de cobertura pelo N

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média
Custos (R\$ ha⁻¹)									
0	144,0	262,0	242,0	117,5	150,0	166,0	32,3	450,0	195,5
180	680,0	798,0	778,0	653,5	686,0	702,0	568,3	986,0	731,5
N eq	680,0	666,4	611,6	653,5	686,0	476,3	470,2	778,3	627,8

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Com base na produtividade (Tabela 14) e preço médio da saca de milho dos 10 anos foi obtido a receita bruta em cada sistema de planta de cobertura nas doses de N e considerando o N equivalente (Tabela 15). A receita bruta para os sistemas que apresentaram contribuição por N equivalente é a mesma da dose 180 kg de N, pois considera-se que, colocando a quantidade de N que não será suprida pelo sistema de cobertura a produtividade neste sistema será similar a obtida na dose de 180 kg de N mineral.

Tabela 14. Produtividade média (10 anos) milho sobre plantas de cobertura e doses de N mineral e produtividade considerando a equivalência em N mineral

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ
Prodt (Sacas ha⁻¹)								
0	54,7	92,0	101,4	56,1	62,9	122,9	97,9	111,8
180	146,7	149,1	148,7	138,2	141,9	144,0	139,2	139,5
N eq	146,7	149,1	148,7	138,2	141,9	144,0	139,2	139,5

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Para obtenção do lucro parcial (Tabela 16), descontou-se da receita bruta (Tabela 15) os custos de cada sistema (Tabela 13). Na avaliação parcial desses dados é verificado que todos os sistemas na ausência de N mineral apresentam retorno econômico negativo (receita na dose 0 N – receita na dose 180 N) quando comparado aos seus respectivos sistemas com N mineral (Tabela 16). Sendo o sistema com ervilhaca, o que apresentou retorno econômico mais próximo ao observado no seu sistema com N mineral (R\$ -34,00). Nessa comparação percebemos claramente os grupos de plantas de coberturas com maior capacidade de liberação de N para a cultura do milho, fabáceas, brássicas, consórcios seguidos das poáceas com menor, ou seja, quanto maior a capacidade de fornecer N, menor tende a ser a diferença no lucro comparado ao sistema que recebeu N mineral.

Tabela 15. Receita bruta com a venda do milho na média de 10 anos sobre plantas de cobertura doses de N e considerando N equivalente para cada sistema

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média
Receita Bruta (R\$ ha⁻¹)									
0	1475	2481	2736	1513	1697	3315	2642	3016	2360
180	3959	4024	4012	3730	3829	3885	3756	3763	3870
N eq	3959	4024	4012	3730	3829	3885	3756	3763	3870

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Tabela 16. Lucro de sistemas de produção de plantas de cobertura/milho e doses de N na média de 10 anos

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média
Lucro (R\$ ha⁻¹)									
0	1331	2219	2494	1395	1547	3149	2610	2566	2164
180	3279	3226	3234	3076	3143	3183	3188	2777	3138
N eq	3279	3357	3401	3076	3143	3408	3286	2985	3242
0-180	-1947	-1007	-740	-1681	-1596	-34	-578	-211	-974
N eq- 180	0	132	166	0	0	226	98	208	104
Sis N eq-aveia	0	78	122	-203	-136	130	7	-294	-37

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremeço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Quando consideramos a contribuição dos sistemas de plantas de cobertura com base no N equivalente (Neq-180), os maiores retornos econômicos são verificados sobre as fabáceas e consórcios, variando de 217 a 149 R\$ ha⁻¹. A comparação mais adequada para determinar a viabilidade é em relação a utilização da aveia de forma solteira, que ainda é carro chefe das plantas de cobertura utilizadas pelos produtores. Como esperado, a viabilidade financeira só será positiva em relação a utilização da aveia se considerados todos os benefícios ecossistêmicos que resultam na maior eficiência dos fertilizantes e recursos naturais. Neste caso, essa consideração foi feita pela equivalência em N mineral. Ervilhaca e consorcio triplo nessa última comparação apresentaram retorno de R\$ 126,00 ha⁻¹ a mais que a utilização de aveia. O consórcio A+E também apresentou lucro de R\$ 78,00. Se comparamos o consórcio A+E+N em relação ao consorcio A+E o retorno pela inclusão do nabo foi de R\$ 44,00, devido a maior interação e sinergismos no consórcio.

Resultados de trabalhos mostram a viabilidade da utilização plantas de cobertura fabáceas hibernais e estivais na receita líquida da cultura do milho (Aita, 1997; Spagnollo et al 2001; Ziech, 2016). Assim como a viabilidade de fabáceas e consórcios em relação a aveia quando considerado a sua equivalência em N, variando de R\$ 53 a 74 ha⁻¹ para ervilhaca e A+E,

respectivamente (Aita, 1997).

A aveia teve um retorno econômico por cada kg de N aplicado de R\$ 3,77. Quando analisamos esse retorno para os sistemas com N equivalente temos o maior retorno para o sistema com ervilhaca ((3408-1331)/290,25) de R\$ 7,16. Para os sistemas com A+E, A+E+N e tremoço esse retorno foi de R\$ 5,25, 5,92 e 5,26 por kg de N aplicado. Mas quando a equivalência em N mineral não é considerada os retornos econômicos são bem inferiores ao verificado para aveia, sendo de R\$ 1,95, 1,43, 0,06 e 0,41 (2777-2566)/516) para A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço, respectivamente. Demonstrando que a consideração da equivalência em N mineral é fundamental para viabilidade econômica da utilização de coberturas.

No entanto um problema de avaliar a viabilidade passada é que ela não vai representar adequadamente o resultado futuro, pois os fatores que a influenciam, como preços das sementes de plantas de cobertura e do N fertilizante variam conforme oferta e demanda e questões geopolíticas globais. Por isso é necessário compreender as condições atuais, utilizando dados de custos atualizados para maior assertividade na tomada de decisão.

Avaliando o lucro (Tabela 18) com base nos preços praticados para as plantas de cobertura no mês de maio de 2021, e o preço da ureia praticado no mês de julho de 2021 (Tabela 17), podemos perceber que o lucro vai depender tanto do preço das plantas de cobertura como do preço da ureia.

Tabela 17. Custos parciais médios para sistemas de plantas de cobertura/milho e custos considerando a equivalência (Eq) em ureia para os sistemas no ano safra 2021

Itens	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ
Sementes (R\$ kg)	R\$ 2,50	R\$ 4,70	R\$ 4,32	R\$ 5,80	R\$ 3,50	R\$ 8,00	R\$ 4,20	R\$ 6,50
Densidade kg ha ⁻¹	90	100	100	50	50	40	15	100
Custo ha⁻¹	R\$ 225,0	R\$ 470,0	R\$ 432,0	R\$ 290,0	R\$ 175,0	R\$ 320,0	R\$ 63,0	R\$ 650,0
Custo ureia kg	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99	R\$ 2,99
Dose ureia kg ha ⁻¹	400	400	400	400	400	400	400	400
Custo ureia	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 1.196
Custo aplicação	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Eq Ureia kg ha⁻¹	0	102	129	0	0	175	76	161
N a aplicar kg há	400	298	271	400	400	225	324	239
Custo N eq	R\$ 1.196	R\$ 891	R\$ 810	R\$ 1.196	R\$ 1.196	R\$ 673	R\$ 969	R\$ 715
Preço saca (60 kg)	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00	R\$ 92,00

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Na ausência de N mineral podemos perceber que o aumento do custo das sementes,

sendo que para a ervilhaca o retorno econômico passando foi de R\$ -34,00, na avaliação dos 10 anos, passando para R\$ -728,00 quando avaliada no ano de 2021. Este cenário não é bom para sistemas de produção orgânica onde o fornecimento de N se dá via FBN, sendo que pelo contexto atual tende a se manter em função da alta demanda por sementes.

Tabela 18. Lucro de sistemas de produção de plantas de cobertura/milho e doses de N para safra 2021

N (kg ha ⁻¹)	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média
Lucro (R\$ ha⁻¹)									
0	4806	7990	8898	4868	5612	10982	8947	9633	7717
180	12058	12034	12033	11212	11665	11710	11529	10966	11651
N eq	12058	12339	12419	11212	11665	12233	11756	11447	11891
0-180	-7252	-4044	-3136	-6344	-6053	-728	-2582	-1333	-3934
N eq- 180	0	305	386	0	0	523	227	481	240
Sis N eq-aveia	0	281	361	-846	-393	175	-302	-611	-167

A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco. *Equivalente ureia calculado considerando a cultura da aveia como referência com dados de Cassol, (2019)

Se realizarmos essa mesma comparação, mas em sistemas que usam N para suprir a demanda de N pela cultura do milho, a viabilidade de utilizar plantas de cobertura aumenta, pois o custo da ureia aumentou proporcionalmente mais que o preço das plantas de cobertura. Comparando o aumento do custo da ureia que foi de 131% (1,29 para 2,99) e o aumento do custo de semente de ervilhaca foi de 92% (4,15 para 8,00). Esse aumento maior no custo da ureia fez com que a participação do custo da semente da ervilhaca no custo total do sistema (ervilhaca + ureia) baixa-se de 31% para 25%. Já para a semente de aveia, como o preço teve um aumento menor (56%), a participação no custo total (aveia+ureia) baixou de 26% para 18%.

Quando comparamos os lucros Tabela 16 e Tabela 18 dos sistemas N equivalente verificamos que para os sistemas consorciados, A+E e A+E+N o aumento foi de R\$ 203,00 (R\$ 281-78) e 239,00 (361-122), mas para a ervilhaca foi de R\$ 45,00 (R\$175-130) apenas. Ou seja, a utilização da ervilhaca de forma solteira ficou menos viável pois o aumento do seu custo (93%) foi muito superior ao da aveia (56%). Sendo que no sistema consorciado esse aumento de custo é diluído em função da maior participação da aveia, o que torna o sistema mais vantajoso com o aumento do custo da ureia.

A menor viabilidade do tremoço (-611) quando comprada a aveia se deve ao aumento do custo da semente (48%) aliado à sua densidade de semeadura de 100 kg ha⁻¹, embora seja uma cultura com grande potencial em fornecer N a cultura do milho, o principal fator limitante está no seu preço aliado a densidade de semeadura empregada. Por isso, a estimulação e organização da cadeia de produção e venda de sementes de plantas de cobertura é essencial para

aumentar a viabilidade de uso nos sistemas de produção.

4.1.4 Potencial produtivo do sistema

O solo de acordo com seu material de origem e processo de formação possui uma capacidade inerente de atender às demandas das culturas, de acordo com a disponibilidade de água e nutrientes, influenciando o processo fotossintético das plantas e consequentemente a produção de biomassa, que pode ser entendida como seu potencial produtivo do solo (Greschuk et al., 2023)

Quando adotadas diferentes sistemas de manejo esse potencial produtivo pode ser modificado, reduzido ou aumentado. Desse modo, parte do potencial produtivo pode ser creditada ao sistema de manejo adotado, podendo ser definido como potencial produtivo do sistema. O potencial do sistema é influenciado pelas práticas de manejo realizadas, como adoção plantas de cobertura, manejo de adubação de base e cobertura, controle de pragas e doenças bem como o tempo de adoção.

Para avaliar o potencial produtivo de um sistema temos que dividi-lo em componentes caracterizando-os para entender melhor o comportamento de cada um deles e suas interações que resultam no potencial produtivo total, sendo este utilizado para auferir a qualidade de determinada prática de cultivo adotada (Figura 13). O potencial produtivo de cada componente pode ser representado por equações. Ou seja, cada componente apresenta um comportamento diferente de magnitude de resposta a variação de produtividade em função das práticas de manejo adotadas e condições climáticas.

O potencial produtivo de um sistema pode ser dividido em três componentes principais, os quais são nomeados de potencial produtivo do solo, potencial produtivo do sistema ao longo do tempo e potencial produtivo do ano.

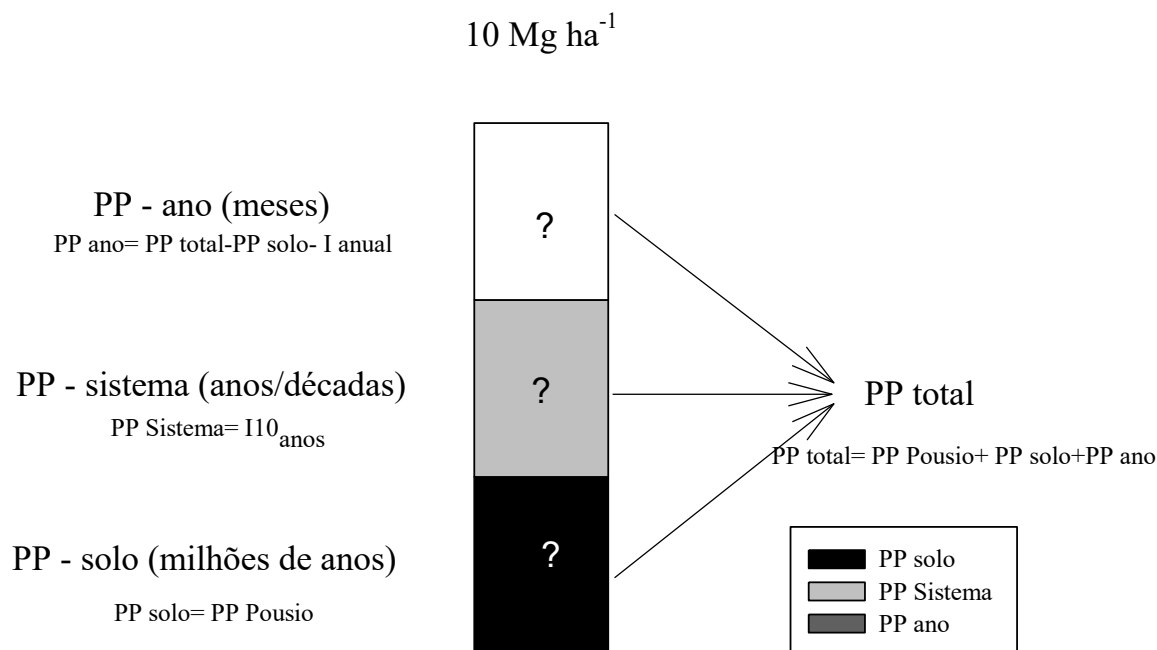
Estes componentes tem seu potencial produtivo no momento da aferição já definidos. Sendo que o tempo que leva para que cada um atinja seu potencial produtivo, é pelo se diferenciam.

O potencial produtivo do solo, está relacionada ao seu material de origem e ao seu processo de formação durante o tempo, que gera solos com diferentes potenciais produtivos de acordo com sua fertilidade. Desse modo a seu potencial produtivo e resultados de milhões de anos.

O efeito do sistema de cultivo leva uma quantidade de tempo menor em relação a escala do primeiro componente, mas comparando a escala de vida humana este tempo é

relativamente longo podendo ser de vários anos a décadas.

Figura 13. Componentes que compõem a potencial produtivo total de um sistema



E por fim, o último componente responsável pelo potencial produtivo do sistema, está relacionado as práticas de manejo realizadas a curto prazo, ou seja, aquelas realizadas antecedendo a implantação da cultura para aferição do potencial produtivo do sistema

O primeiro componente básico deste sistema está relacionado a capacidade do solo, sem práticas de cultivo e adubações em proporcionar rendimentos. O pousio embora receba adubações de base no momento da semeadura da cultura (milho) de aferição do potencial produtivo, tem sido tratamento mais usual para aferição do potencial produtivo do solo. Apesar de receber adubação de base o potencial produtivo deste sistema é limitado pela ausência da aplicação de N (lei do mínimo). Desse modo, para avaliar o potencial deste primeiro componente devemos utilizar um sistema de pousio como referência ($PP \text{ solo} = PP \text{ Pousio}$), onde conseguimos compreender e determinar o potencial base deste solo para o potencial produtivo.

O segundo componente se refere ao efeito do sistema que adotamos nesse solo. Podemos considera-lo como base para resiliência para tetos mais elevados de potencial produtivo, ou seja, de qualidade do solo. O potencial produtivo neste componente é formada

com passar dos anos, onde a adição energia e matéria em quantidade e qualidade na forma de biomassa e nutrientes, é determinante para este sistema sair de uma zona de equilíbrio, sendo que o aumento do potencial produtivo depende da constância do fornecimento de energia. Após sair da zona de equilíbrio, e com constância no fornecimento de energia o potencial produtivo se auto organiza em um nível de energia diferente do anterior e mais elevada, mas se a energia adicionada for insuficiente, o potencial produtivo pode apresentar um nível hierárquico menor que o nível anterior. No entanto, este nível sempre advém e tem as características do nível anterior (Vezzani, 2001).

Para chegar ao próximo nível, necessariamente o sistema deve sair de sua estabilidade de energia, e um novo nível é alcançado quando o fluxo de energia é o suficiente para estabilizá-lo. Essa estabilização ocorre em um ponto, onde as variações neste fluxo de energia por determinados períodos não mais o desestabilizam. Nesse momento se concretiza um novo nível de produtividade, onde a qualidade do solo expressa pelo seu potencial produtivo pode ser maior ou menor que o nível anterior. O potencial deste componente pode ser determinado em função do incremento do potencial produtivo do sistema em relação a fase inicial de implantação ($PP_{\text{Sistema}} = I_{10\text{anos}}$). O potencial produtivo do sistema será discutido com mais ênfase no capítulo 4.1.2.1, referida como incremento de da capacidade produtiva.

Do ponto de vista de práticas conservacionistas que são adotadas, este nível sempre apresentara um nível de qualidade superior, ou seja, aumentara o potencial deste solo em proporcionar produtividade.

O terceiro componente responsável pelo potencial produtivo do sistema, refere-se às adições de energia e matéria de curto prazo, ou seja, que antecedem a cultura na qual se avalia o efeito do sistema. O potencial produtivo do ano é estimado descontando do potencial produtivo total o potencial produtivo do solo e o potencial produtivo do sistema ($PP_{\text{ano}} = PP_{\text{total}} - PP_{\text{solo}} - PP_{\text{sistema}}$).

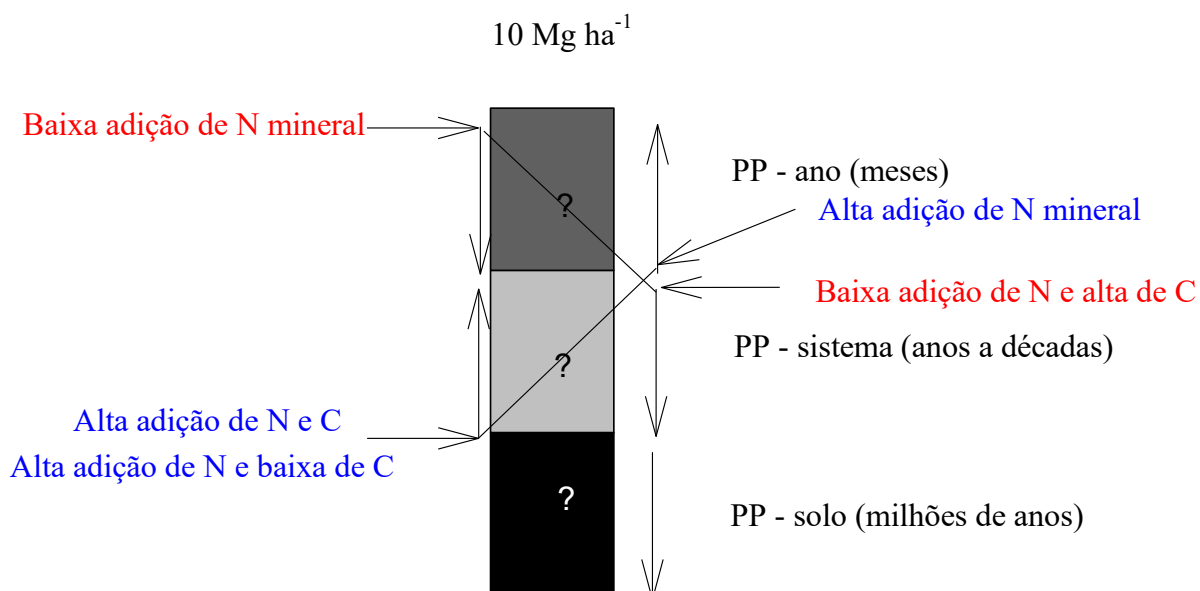
4.1.4.1 Interações entre os componentes

O potencial produtivo do solo apresenta menor variação ao longo do tempo, ou seja, é mais estável em relação aos demais componentes, mas varia em função dos mesmos fatores considerando a fase que antecede a aferição do potencial produtivo do sistema. Tais como condições climáticas, pragas e doenças e manejo.

Na Figura 14 podemos ver de forma mais detalhada como se dá a interação entre os componentes em função da adição de C e N na forma de biomassa de plantas de coberturas e

aplicação de N fertilizante.

Figura 14. Interações dos componentes do potencial de produtivo do sistema em função das adições de C e N pela biomassa de plantas de cobertura e de N mineral fertilizante

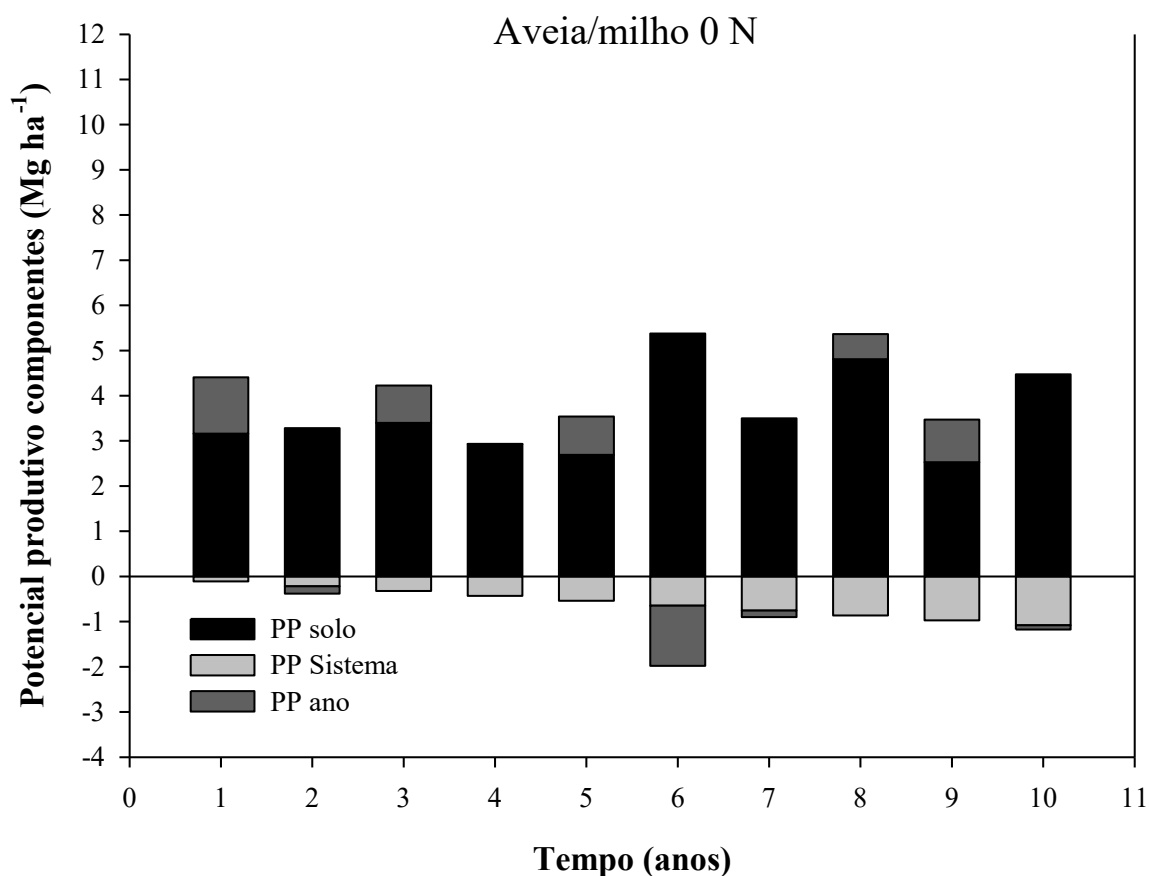


Em um cenário onde utilizamos plantas de cobertura com baixa adição de N comparativamente a adição de C (ex: aveia), associado a baixa fertilização com N mineral, teremos como consequência a redução do potencial produtivo do ano e potencial produtivo do sistema de cultivo, a qual em função da magnitude da imobilização de N no sistema provocará até mesmo a redução do potencial produtivo do solo (Figura 15)

No entanto, neste mesmo cenário, mas com adição de fertilizante nitrogenado, teremos aumento tanto do potencial produtivo do ano como do sistema de cultivo, demonstrando a importância do N para o aumento do potencial produtivo do sistema (Figura 16)

Em um segundo cenário temos a adição de baixa quantidade de C e alta de N em um sistema com utilização de ervilhaca, associado a baixa fertilização com N mineral, teremos um aumento do potencial produtivo do sistema de cultivo e também do potencial produtivo do ano (Figura 17). Neste caso a adição de alta quantidade de N pelo sistema de planta de cobertura promove-se alta adição de C pela cultura de aferição do potencial produtivo, contrabalanceando a sua baixa adição de C.

Figura 15. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com alta adição de C e baixa de N associado a baixa fertilização com N mineral na cultura do milho

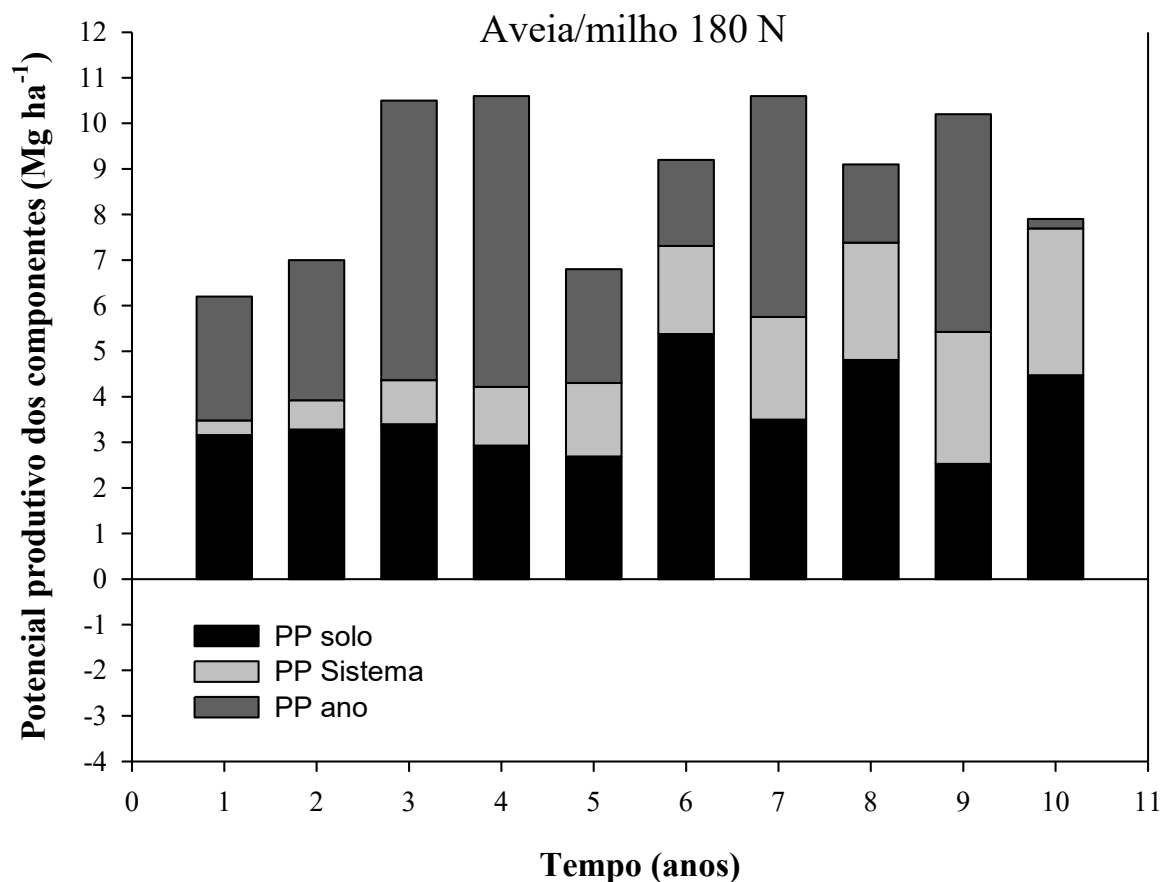


Neste mesmo cenário, mas com alta fertilização com N mineral podemos observar que tanto o potencial produtivo do ano como do sistema de cultivo é aumentado (Figura 18). No último ano de avaliação temos uma queda do potencial produtivo do ano em função das condições climáticas, mostrando a maior sensibilidade desse componente.

O potencial produtivo do sistema e o potencial produtivo do ano apresentam uma relação mais direta. Quando temos alta adição de C e N aumentamos o potencial produtivo do sistema de cultivo ao passo que é reduzida o potencial produtivo do ano. Ou seja, eleva-se o patamar do potencial produtivo do sistema, deixando o potencial produtivo total menos dependente do potencial produtivo do ano, isso deixa o sistema mais estável as variações de produtividade em função das condições climáticas e práticas de manejo realizadas, quando comparadas a um sistema aveia/milho sem N, com menor do potencial produtivo do sistema.

O potencial produtivo do ano apresenta efeitos maiores no início do estabelecimento de sistema de cultivo e à medida que a o segundo componente aumenta seu potencial produtivo, reduz diretamente o potencial produtivo do ano.

Figura 16. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com alta adição de C e baixa de N associado a alta fertilização com N mineral na cultura do milho



Estes efeitos podem ter diferentes magnitudes de acordo com o sistema utilizado. Normalmente é verificado que o terceiro componente (pelas práticas realizadas no ano anterior) afeta em maior proporção o segundo componente no ano subsequente a sua utilização, gerando incremento do potencial produtivo do segundo componente.

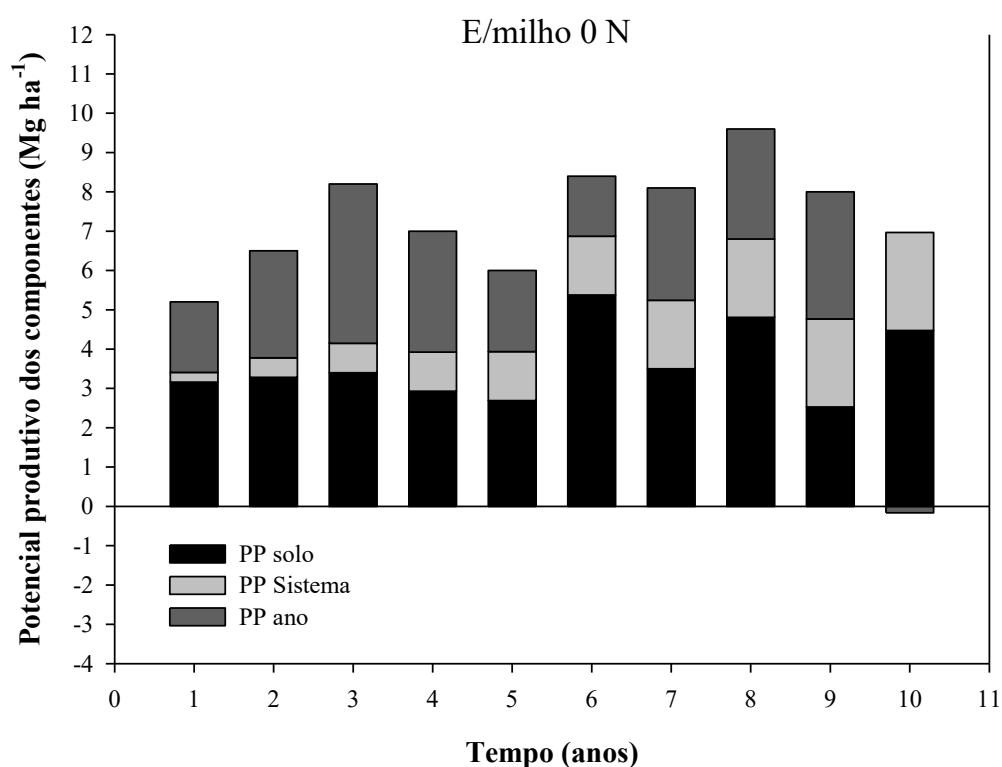
O potencial produtivo do ano apresenta efeitos maiores no início do estabelecimento de sistema de cultivo e à medida que a o segundo componente aumenta seu potencial produtivo, reduz diretamente o potencial produtivo do ano.

Estes efeitos podem ter diferentes magnitudes de acordo com o sistema utilizado. Normalmente é verificado que o terceiro componente (pelas práticas realizadas no ano anterior) afeta em maior proporção o segundo componente no ano subsequente a sua utilização, gerando incremento do potencial produtivo do segundo componente.

O potencial produtivo de um sistema pode ser avaliado em experimento de longa duração descontando o potencial produtivo do sistema a exemplo ervilhaca/milho do potencial produtivo do sistema pousio/milho, obtendo-se assim o potencial produtivo do sistema mais o

potencial produtivo do ano juntas. Para se obter o potencial produtivo do ano no sistema ervilhaca milho é necessário no último ano de condução deixar metade da parcela sem plantas de cobertura de ervilhaca. Pela diferença de potencial produtivo do milho sobre ervilhaca, menos potencial produtivo do milho na parcela sem ervilhaca no último ano se obtém o potencial produtivo do ano.

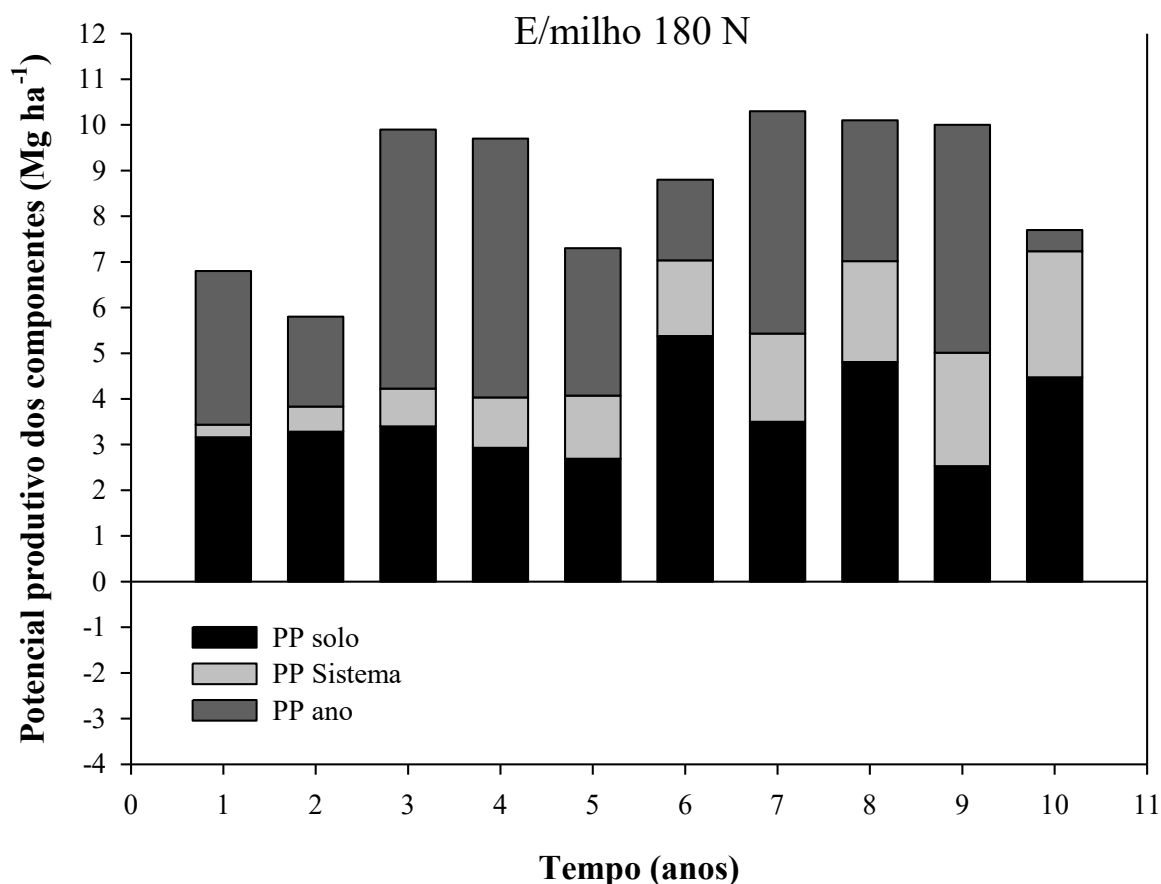
Figura 17. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com baixa adição de C e alta de N associado a baixa fertilização com N mineral na cultura do milho- E= Ervilhaca



Como exemplo podemos analisar o trabalho realizado por Amado et al., (1997), onde do potencial produtivo do sistema E+M e A+E/M+C em relação do potencial produtivo do sistema A+M descoberto no último ano (utilizado como referência para pousio), foi de 2,74 e 1,83 Mg ha^{-1} , respectivamente. Estes resultados mostram o potencial produtivo do sistema e do potencial produtivo do ano juntos. Para calcular o potencial produtivo do ano é necessário usar os dados de potencial produtivo de milho sobre ervilhaca descontando o potencial produtivo de milho onde não foi utilizado ervilhaca apenas no último ano. No trabalho em questão os resultados para o potencial produtivo do ano foram de 1,02 Mg ha^{-1} para ambos os tratamentos E+M e A+V/M+C. Deste modo, temos que o incremento do potencial produtivo do sistema foi de 1,72 (2,74-1,02) e 0,81 Mg ha^{-1} (1,83-1,02) ao longo dos nove anos de a condução do

experimento.

Figura 18. Comportamento dos componentes do potencial de produtivo do sistema ao longo de 10 anos em função da utilização de sistema de planta de cobertura com baixa adição de C e alta de N associado a alta fertilização com N mineral na cultura do milho. E= Ervilhaca



Para os sistemas E+M e A+V/M+C os componentes do potencial produtivo: potencial produtivo do solo, potencial produtivo do sistema e o potencial produtivo do ano resultaram a seguinte proporção: 45, 20 e 35 e 55, 25 e 20%, respectivamente.

Os resultados dos componentes do potencial produtivo de milho sobre plantas de coberturas e doses de N mineral estão apresentados nas Figura 19, Figura 20, Figura 21 e para melhor compreensão as tabelas com os dados estão no Anexo 1 ao Anexo 16.

Para os resultados encontrados verificamos que o potencial produtivo do solo é maior nos sistemas na ausência de N mineral, tornando o potencial produtivo total mais dependente do solo do que o potencial produtivo de sistema e do ano, quando comparado aos sistemas na presença de N mineral. Na ausência de N mineral, nos sistemas com poáceas, temos o potencial produtivo do sistema negativa, ou seja, condição que o potencial produtivo do solo

(pousio/milho) é maior que o potencial produtivo do milho sobre aveia em função da imobilização de N, que resultou em potencial produtivo 14% inferior a verificada para do potencial produtivo do solo (Tabela 19).

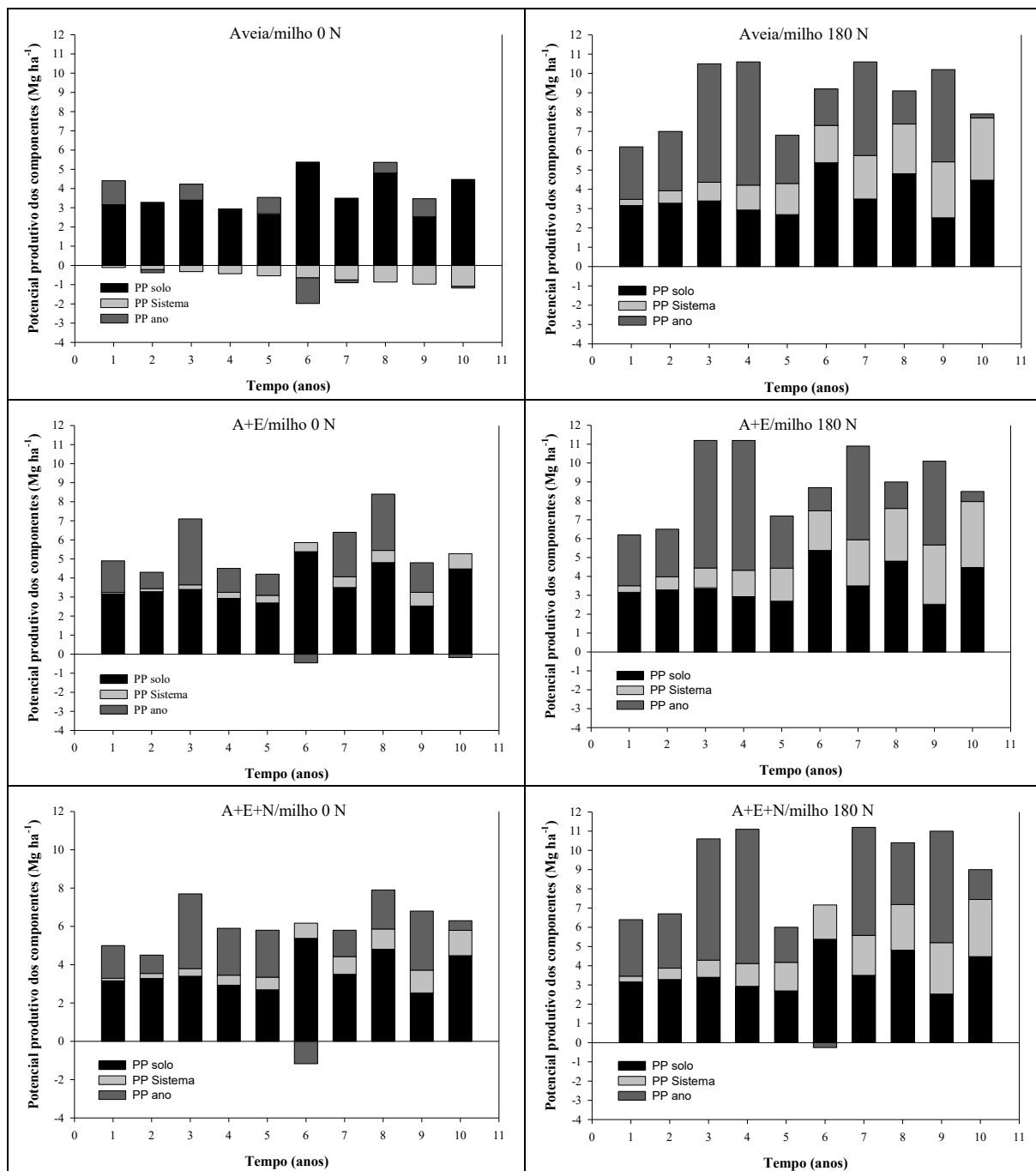
Tabela 19. Comportamento médio dos componentes do potencial produtivo médio dos 10 anos para sistemas nas doses de 0 e 180 kg de N mineral.

N	Sistemas	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
0	Poaceas	117%	-14%	-3%	100%
0	mix+nabo	66%	10%	24%	100%
0	Leguminosas	55%	20%	25%	100%
180	Poaceas	48%	20%	32%	100%
180	mix+nabo	45%	18%	37%	100%
180	Leguminosas	46%	17%	38%	100%

À medida que temos aporte de N via FBN nos sistemas na ausência de N, o potencial produtivo do sistema e do ano aumentam, tornando o potencial produtivo total menos dependente do solo. Quanto maior o aporte de N via FBN maior o potencial produtivo do sistema, a qual nos sistemas com fabáceas/milho foi de 20%. Nesse sistema a redução do potencial produtivo em função de condições climáticas e redução da adubação nitrogenada será menor quando comparado ao sistema com mix+nabo/milho e poáceas/milho.

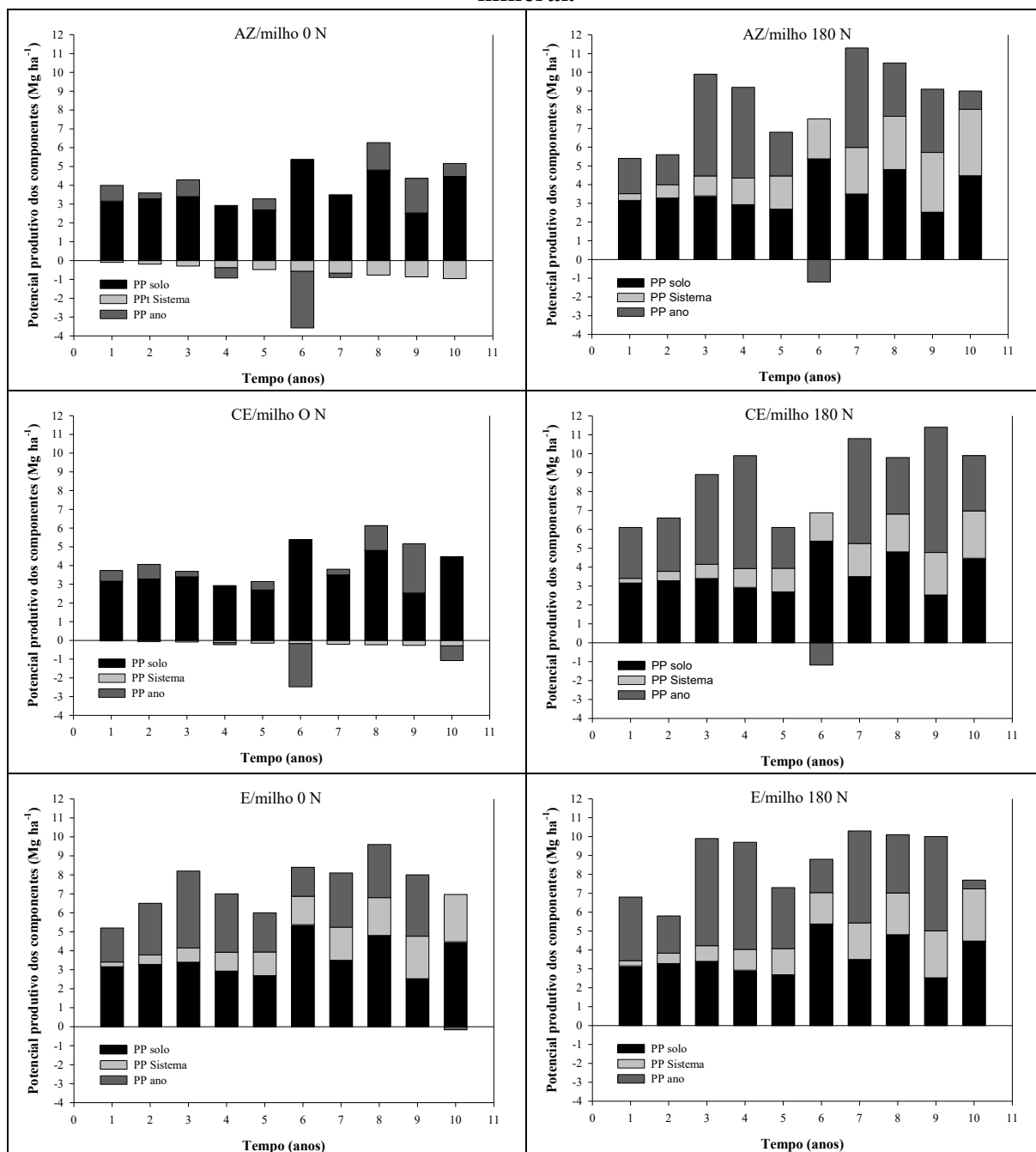
Na presença do N mineral a o potencial produtivo do solo se estabiliza representando 46% do potencial produtivo total, ao passo que o potencial produtivo do ano aumenta em função da dependência da adubação nitrogenada para o aumento o potencial produtivo.

Figura 19. Comportamento dos componentes potencial de produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral



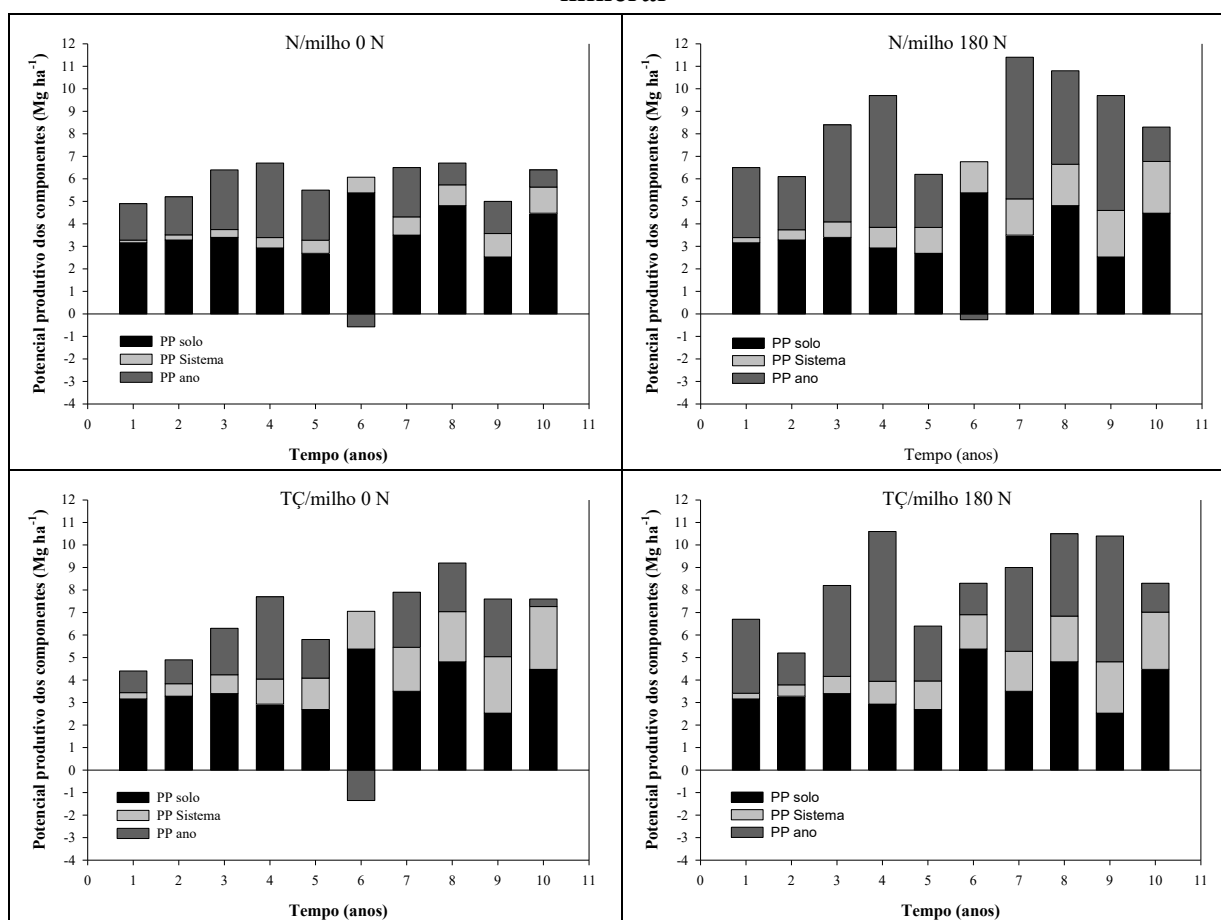
A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo

Figura 20. Comportamento dos componentes do potencial de produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral.



E= Ervilhaca; AZ= Azevém; CE: Centeio

Figura 21. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos em função da utilização de sistemas de planta de cobertura associado a doses de N mineral



N= Nabo e TÇ= Tremeço Branco

4.2 Resultados e discussão experimento 2: tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura

4.2.1 Avaliação do desempenho Rolo Max sobre plantas de cobertura na semeadura da cultura do milho nas safras 19/20 e 20/21

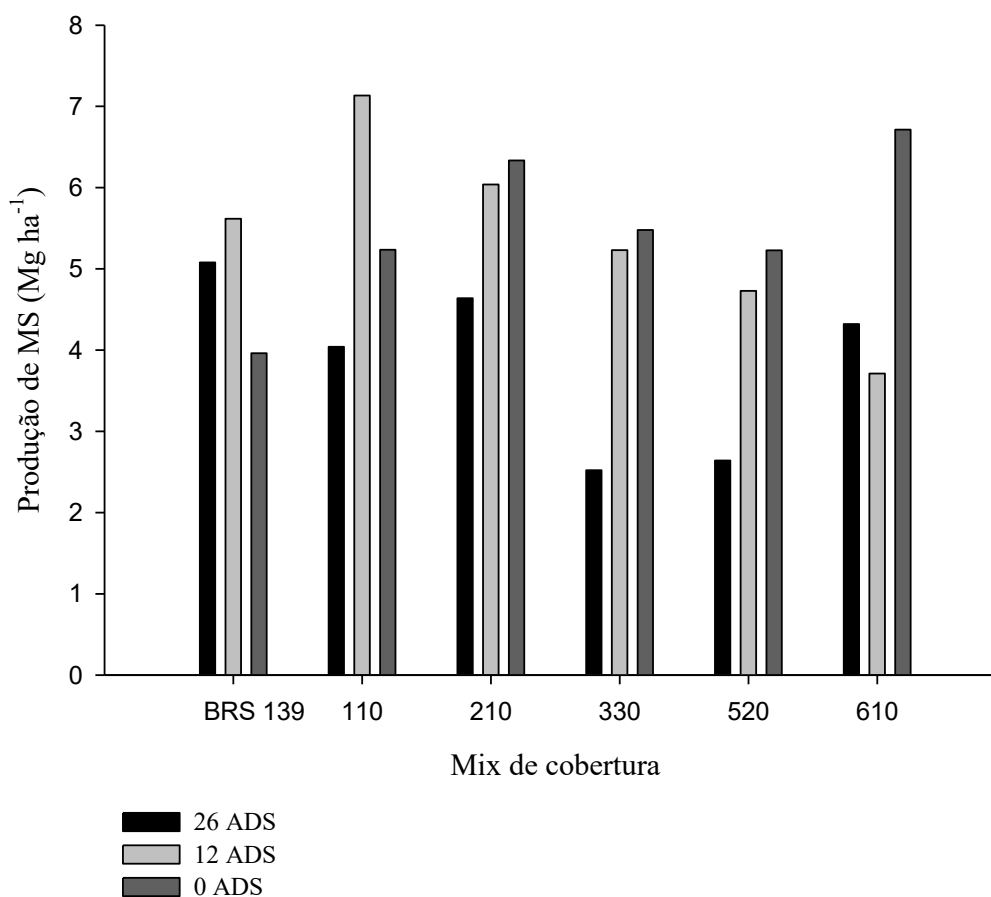
4.2.1.1 Safra 19/20

Para a validação do Rolo Max na safra 19/20, foi implantado um experimento com plantas de coberturas hibernais utilizadas de forma consorciada ou solteira, e manejadas quimicamente em diferentes datas antes da semeadura da cultura do milho. Deste modo, buscando diferentes níveis de adições de resíduos, plantas de características variadas e material em diferentes estágios de umidade durante a realização da operação de semeadura.

Os sistemas de cobertura apresentaram diferenças na produção de massa seca (MS) que variaram de 2,5 a 7 Mg ha^{-1} em função dos materiais e das épocas de dessecação (Figura

22). Os sistemas de plantas de cobertura manejadas aos 26, 12 e 0 dias antes da semeadura do milho estavam com 83, 97 e 109 dias de desenvolvimento.

Figura 22 - Produção de massa seca de plantas de coberturas em função da época de dessecação aos 26, 12 e 0 dias antes da semeadura (ADS) do milho. Safra 19/20



Entre os tratamentos de plantas de cobertura avaliados a aveia e o mix 110 apresentaram a maior produção de MS aos 97 dias após a semeadura (DAS), enquanto os demais sistemas apresentaram incremento de produção na última avaliação com 109 DAS.

Não foram verificadas diferenças para o embuchamento em função do manejo de semeadura entre semeadora ou semeadora + Rolo Max (Tabela 20). Para as épocas de dessecação (0, 12 e 26) o número de paradas por embuchamento foi menor aos 12 e 26 dias, possivelmente a menor umidade do material foi determinante para proporcionar redução do embuchamento e conseqüentemente do número de paradas.

Tabela 20. Número de paradas por embuchamento em função de plantas de cobertura, manejo de semeadura e épocas de dessecação antes da semeadura. Safra 19/20

Plantas de cobertura	Manejo de semeadura	Dessecação dias antes da semeadura			Média
		0	12	26	
Aveia BRS 139	Semeadora	0	0	0	0,0
	Semeadora + Rolo Max	0	0	0	0,0
110	Semeadora	1	1	2	1,3
	Semeadora + Rolo Max	0	1	2	1,0
210	Semeadora	1	2	0	1,0
	Semeadora + Rolo Max	0	0	0	0,0
330	Semeadora	2	2	0	1,3
	Semeadora + Rolo Max	2	0	1	1,0
520	Semeadora	0	0	0	0,0
	Semeadora + Rolo Max	4	1	0	1,7
610	Semeadora	0	0	0	0,0
	Semeadora + Rolo Max	0	0	0	0,0
Médias		0,7	0,5	0,4	
Rolo Max			0,5		
Semeadora			0,5		

Para os sistemas de cobertura o maior número de paradas foi verificado com a utilização do tratamento 520, o qual apresentou alta produção de MS (acima de 5 Mg ha⁻¹) aliado a presença do nabo pé de pato, o qual durante o processo de rolagem do equipamento ficava preso no Rolo Max impedindo sua rolagem. O problema de embuchamento com nabo pé de pato foi menor com a realização da dessecação aos 12 e 26 dias antes da semeadura.

Neste primeiro ano de testes de validação do Rolo Max foram verificados problemas simples de mecânica da rolagem que facilitam o processo de embuchamento sobre os tratamentos que apresentavam maior umidade, ou seja, quando da dessecação no dia da semeadura. Porém, também foi verificado que sobre espécies de poáceas como aveia e centeio que o processo de embuchamento também é favorecido, pois durante o processo de rolagem a planta se enrola no equipamento (Figura 23). Deste modo, reduz a eficiência do rolo em seccionar a planta e reduzir a passagem da seiva bruta para parte aérea, o que pode resultar em maior rebrota em materiais não dessecados.

Figura 23. Início do processo de embuchamento do equipamento Rolo Max

A germinação de milho foi afetada pelos sistemas de cobertura do solo, onde o sistema 610 seguido do sistema 520 apresentaram os menores valores de germinação de milho (Tabela 21). Embora o sistema 520 tenha sido o que apresentou problemas com embuchamento o sistema 610 não apresentou nenhum embuchamento durante a semeadura apesar da produção de MS acima de $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ aos 109 DAS. No entanto, apesar de não avaliada, mas observada a campo a ocorrência do processo de “envelopamento” da semente pode ter reduzido o número de sementes germinadas.

Tabela 21. Germinação de milho ($\text{mil plantas ha}^{-1}$) em função de plantas de cobertura, épocas de dessecação (0, 12 e 26 dias antes da semeadura) e manejo de semeadura. Safra 19/20

Dessecação /Semeadura	Aveia	110	210	330	520	610	Média
0 /Rolo Max	62,96	41,97	35,18	50,62	33,95	25,31	41,67
0 /Semeadora	53,70	53,09	39,51	53,70	42,59	32,10	45,78
12 /Rolo Max	63,58	40,12	59,88	67,28	45,06	37,65	52,26
12 /Semeadora	40,12	48,76	50,00	53,09	48,15	30,86	45,16
26 /Rolo Max	59,26	59,26	60,49	53,70	43,83	41,97	53,09
26 /Semeadora	59,26	46,91	46,91	49,38	41,36	33,33	46,19
Média	56,48 a	48,35 b	48,66 b	54,63 a	42,49 c	33,54 d	

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$).

O manejo de semeadura apresentou interação com as épocas de manejo químico dos sistemas de cobertura antecedendo a semeadura do milho. No sistema de semeadura somente com a semeadora o a germinação de milho não foi afetada em função das épocas de dessecação. No entanto, quando a semeadura foi realizada com o sistema com Rolo Max observou-se menor germinação na dessecação no dia da semeadura (0) (Tabela 22).

Estes resultados podem ter ocorrido em função do maior teor de umidade dos sistemas de cobertura, o que torna mais fácil a ocorrência do embuchamento” e consequentemente “envelopamento” da semente em relação as épocas de dessecação aos 12 e 26 dias antes da semeadura da cultura do milho. Somado a estes fatores, após o plantio ocorreu um longo período de estiagem que dificultou o controle químico com herbicida das plantas dos sistemas de cobertura, os quais ainda estavam absorvendo água e consequentemente afetando o processo de germinação das sementes de milho.

Quando comparamos os sistemas de semeadura notamos que na dessecação no dia da semeadura não ocorreram diferenças, porém nas dessecações aos 12 e 26 dias antes da semeadura o sistema com Rolo Max proporcionou germinação superior ao verificado no sistema com Semeadora em 14 e 15%, respectivamente. E na média final o aumento foi de 7% na germinação utilizando o sistema de semeadura com Rolo Max.

Tabela 22. Germinação de milho (plantas ha⁻¹) em função de épocas de dessecação (0, 12 e 26 dias antes da semeadura) e do manejo de semeadura. Safra 19/20

Dessecação	Rolo Max	Semeadora	Média
0	*41,67 aB	45,78 aA	*43,725 b
12	52,26 aA	45,78 bA	49,02 a
26	53,09 aA	46,19 bA	49,64 a
Média	*49,00 a	45,92 b	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente.

Sabe-se que a capacidade competitiva das culturas de grãos com as plantas daninhas é aumentada quando a semeadura é realizada mais próxima à data de dessecação (RIZZARDI et al., 2003). Já a semeadura do milho logo após a dessecação (Aplique-Plante) da aveia pode acarretar germinação desuniforme e desenvolvimento inicial inadequado (estiolamento) (CALEGARI et al., 1988), em função da grande quantidade de palhada com “arrepimento”.

Deste modo, a validação de técnicas de manejo como a utilização do Rolo Max busca explorar melhor a capacidade competitiva da cultura do milho com as plantas daninhas em função da possibilidade de a semeadura ser realizada mais próxima à data de dessecação.

Para a próxima avaliação modificações serão realizadas no equipamento de modo a melhorar eficiência no processo de rolagem. Deste modo, buscar proporcionar condições para que a semeadura possa ser realizada próximo ao dia do manejo dos sistemas de cobertura.

4.2.2.2 Safra 20/21

As produções de MS apresentaram diferenças entre os sistemas de plantas de cobertura do solo, assim como para os manejos que antecederam a semeadura da cultura do milho (Tabela 23).

Tabela 23. Produção de massa seca de plantas de cobertura em dessecação antecipada e sem dessecação para semeadura da cultura do milho. Safra 20/21

Manejo	Aveia	110	210	220	330	520	610	Média	CV
Dessecado	^{ns} 2,8	5,0	9,6	4,1	2,9	3,1	2,8	**4,3 b	15,5
Verde	3,4	7,9	8,7	7,7	3,3	6,1	6,9	6,3 a	
Média	**3,1 b	6,5 a	9,1 a	5,9 a	3,1 b	4,6 b	4,8 b		21,86

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente.

Entre os tratamentos avaliados as produções variaram de 3,1 a 9,1 Mg ha⁻¹ para a aveia e o sistema 210. As maiores produções foram verificadas para os sistemas 110, 210 e 220 e as menores produções para os sistemas 330, 520, 610 e aveia preta. Os sistemas com maiores produções apresentavam na sua composição o nabo comum ou nabo pé de pato, que visualmente atingiram altura superior a 1,6 m nestes sistemas.

Entre os tratamentos dessecados e não dessecados para realização da semeadura da cultura do milho, as maiores produções ocorreram nos sistemas sem dessecação, pelo maior tempo de desenvolvimento e conseqüentemente acúmulo de MS.

Na avaliação de embuchamento do ano safra 19/20 comparamos o número de paradas do sistema com Rolo Max em relação a semente semeadora, onde verificamos a ocorrência de embuchamento tanto na semeadora (entre o disco e o sistema de botinha) como no Rolo Max. O embuchamento no Rolo Max ocorria em três pontos, sendo no eixo de suporte dos rolos, no encontro das facas e nas extremidades que apresenta entradas ocas, por onde se acumulada material, sendo o embuchamento mais frequente nos rolos centrais que se encontram alinhados.

Para o ano safra 20/21 foram adicionados protetores pequenos e grandes. O protetor pequeno promove proteção apenas o ponto de embuchamento central, enquanto o grande protege o ponto central e o encontro das navalhas. Portanto, pela configuração que utilizamos podemos verificar se os protetores foram eficientes em proteger os pontos de embuchamento centrais e entre as facas.

Na avaliação realizada durante a semeadura da cultura do milho não ocorreram embuchamentos nos rolinhos com proteção (CP), já nos rolinhos sem proteção (SP) ocorreram

apenas duas paradas por embuchamento (Tabela 24). Todos os embuchamentos foram verificados na junção das lâminas do rolo, não sendo verificados embuchamentos no eixo central do Rolo Max.

Tabela 24. Número de paradas por embuchamento em função da utilização do Rolo Max com proteção (CP) e sem proteção (SP) contra embuchamento sobre plantas de cobertura dessecados e não dessecados (verde). Safra 20/21

Plantas de cobertura	Manejo de semeadura	Dessecado	Verde	Total
Aveia preta	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	0	0
110	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	0	0
210	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	1	1
220	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	0	0
330	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	0	0
520	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	1	0	1
610	Rolo Max CP	0	0	0
	Rolo Max SP	0	0	0
Total		1,00	1,00	
	Rolo Max CP		0	
	Rolo Max SP		2	

Entre os sistemas dessecados e verde não foram verificadas diferenças para o embuchamento. Desse modo, nessa safra não foi possível observar grandes diferenças entre os sistemas com proteção e sem proteção para o embuchamento no eixo central, pois os embuchamentos só ocorreram entre as lâminas. Possivelmente as condições experimentais não foram adequadas o suficiente para conseguir medir está variável com maior grau de expressão. O embuchamento nos rolos são eventos esporádicos e ocorrem em condições específicas no campo. O tempo gasto para desembuchar e possibilitar o funcionamento adequado do equipamento reduz o rendimento do trabalho, mesmo que sejam poucas as ocorrências.

Em relação aos sistemas com maior embuchamento o sistema 610 apresentou um embuchamento, este sistema foi o que apresentou a maior produção de MS. O tratamento 520 apresentou também um único embuchamento ocorrido pela presença de ervilha forrageira que se enrolava no Rolo Max na junção das lâminas sem proteção.

Em adicional testamos a modificação no Rolo Max pela adição do dobro do número

de lâminas em relação ao primeiro protótipo, nos rolos pequenos (RP) externos na semeadora. Foram desenvolvidos dois modelos o primeiro com lâminas desencontradas e o segundo com lâminas emendadas, conforme Figura 7. Estes protótipos de rolo modificado foram testados sem proteção (RMSP) e com proteção (RMCP), comparando também com os protótipos originais sem proteção (RSP) e com proteção (RCP) (Tabela 25).

Tabela 25. Número de paradas por embuchamento em função da utilização do Rolo Max com proteção (RCP) e rolo sem proteção (RSP) contra embuchamento sobre consórcio de aveia, nabo e centeio (verde) em cada conjunto na semeadora. Safra 20/21

	*RP (1)	RGC (2)	RGC (3)	RP (4)	Soma
RSP	0	2	1	2	5
RCP	0	0	0	0	0
RMSP (1 e 4)	0	4	3	0	7
RMCP (1 e 4)	0	0	0	0	0
Soma	0	6	4	2	

*RP=rolo pequeno; RGC= rolo grande central; RSP= rolo sem proteção; RCP= rolo com proteção; RMSP= rolo modificado sem proteção; RMCP= rolo modificado com proteção

O maior número de embuchamentos foi verificado nos sistemas RSP com 5 embuchamentos respectivamente, ocorridos no encontro das lâminas. No RMSP os embuchamentos ocorrem no Rolo Max central na semeadora e não nos modificados que correspondem aos números RP1 e RP4 externos na semeadora, os quais não apresentaram embuchamento nas condições avaliadas. Os rolos centrais foram mantidos nos tratamentos RMSP e RMCP com o objetivo de comparar melhor o embuchamento nos sistemas sem proteção.

O embuchamento foi maior nos rolos centrais em função dos sistemas estarem alinhados, o que facilita a entrada de plantas nos extremos ocos e nas lâminas desencontradas, resultando em acúmulo de material nesses pontos de modo a facilitar o embuchamento, que após iniciado, se entende para o centro do rolo.

Os resultados de germinação no ano safra 20/21 também foram influenciados pela utilização dos diferentes sistemas de manejo na semeadura da cultura do milho. Como verificado na safra anterior, a germinação de milho é afetada positivamente pela utilização do Rolo Max, proporcionando germinação superior em 14,6%, quando comparado a utilização somente da semeadora (Tabela 26).

Quando se utiliza o Rolo Max, durante o processo de rolagem das plantas de cobertura temos definido o sentido de queda das plantas, que é paralelo as linhas de semeadura. Outro ponto, é que temos um pequeno afastamento da palha do centro da linha de semeadura, em

função do formato das lâminas do rolo (Figura 6) que direcionam a palhada levemente para os lados, o que reduz a possibilidade de envelopamento das sementes. No entanto, quanto menor a altura das plantas de cobertura na época de manejo, menor é a ocorrência desse fenômeno.

Também a ocorrência é menor em espécies de crescimento prostrado como ervilhaca, ervilha, mas se estas espécies estão em consórcios, tendem a crescer sobre as demais espécies o que garante melhor eficiência no Rolo Max em maneja-las.

Tabela 26. Germinação de milho (mil plantas ha⁻¹) semeado sobre plantas de cobertura verdes e dessecadas utilizando Rolo Max ou somente semeadora. Safra 20/21

Manejo	Semeadura	Aveia	110	210	220	330	520	Média	DesxVer	Rolo	Sem
Des	Rolo	47,22	48,15	41,20	46,30	39,81	46,30	44,83	ns42,79	**45,76 a	39,93 b
Des	Sem	35,65	41,20	40,28	41,20	43,98	42,13	40,74			
Verd	Rolo	46,30	45,83	48,61	44,91	46,76	47,68	46,68	42,90		
Verd	Sem	43,98	42,59	32,87	35,18	40,74	39,35	39,12			
Média		43,29	44,44	40,74	41,90	42,82	43,87				

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. Des=dessecado; Ver= verde; Rolo: Rolo Max; Se: Semeadora

A produção de massa seca do milho seguiu o mesmo comportamento verificado para germinação em função dessas variáveis ter uma correlação direta. No manejo de semeadura utilizando o Rolo Max acoplado a semeadora a produção de MS foi superior em 15% quando comparada ao manejo que utilizou somente semeadora (Tabela 27).

Tabela 27. Produção de massa seca de milho semeado sobre plantas de cobertura verdes e dessecadas utilizando Rolo Max ou somente semeadora. Safra 20/21

Manejo	Semeadura	Aveia	110	210	220	330	520	Média	Des x Verd	Rolo	Seme
Des	Rolo	^{ns} 9,8	9,9	7,9	12,4	6,0	10,0	9,33	^{ns} 8,86	**9,7 a	8,4 b
Des	Sem	7,2	8,4	7,6	11,1	6,9	9,1	8,39			
Verd	Rolo	9,4	10,4	11,0	8,9	10,3	10,4	10,08	9,24		
Verd	Sem	8,9	9,5	7,6	6,9	9,1	8,4	8,41			
Média		^{ns} 8,85	9,56	8,54	9,81	8,07	9,47				

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$). ns: não significativo. *, ** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. Des=dessecado; Ver= verde; Rolo: Rolo Max; Se: Semeadora

Este experimento apresentava subdivisão das parcelas principais (40x 10) em parcelas com quatro doses de N (0, 60, 120 e 180). Os dados mencionados na tabela são referentes a dose de 180 kg ha⁻¹ de N. Indiferente das doses utilizadas de N o manejo do Rolo Max proporcionou maior produção sobre todas elas. Os valores variaram de 16, 26 e 27% nas doses 0, 60 e 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões sistemas de manejo de longa duração com plantas de cobertura e milho com e sem n mineral

As plantas de cobertura utilizando aveia+ervilhaca (A+E), aveia+ervilhaca+nabo (A+E+N), nabo e fabáceas, proporcionaram ao milho produtividade de 5,8 e 7,0 Mg ha⁻¹, alcançando 68 e 82% da produtividade média obtida (8,6 Mg ha⁻¹) com o uso de N mineral, enquanto sobre sistemas com poáceas, chegou a 40% (3,5 Mg ha⁻¹).

As plantas de cobertura promovem incrementos de rendimento da cultura do milho ao longo dos 10 anos, o qual foi regulado pela capacidade de fornecimento de N.

O milho apresenta maior participação na adição de MS líquida (73-77%), mas a capacidade de adição de MS das plantas de cobertura, aliada a capacidade de fornecer N é determinante para se obter sistemas de cultivo com maior aporte de massa seca líquida a superfície do solo. As adições de C seguiram o mesmo comportamento da adição de MS líquida.

O balanço de N nos sistemas foi negativo na ausência de N mineral, variando de -25 a -60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para tremoço e nabo respectivamente. Na presença de N mineral os maiores valores foram verificados para os sistemas com fabáceas, com balanço positivo anual de 120 kg N ha⁻¹.

A viabilidade econômica das plantas de cobertura foi positiva para os sistemas consorciados e ervilhaca, sendo dependente do custo de aquisição das sementes e do custo da fonte de N. Dentre os cenários avaliados a utilização de consórcios, tendem a apresentar maior retorno econômico quando comparado a utilização de espécies de fabáceas solteiras.

5.2 Conclusões tecnologias de manejo mecânico de palhada de plantas de cobertura

O uso do rolo acoplado à semeadora melhorou a plantabilidade da cultura do milho e a população final de plantas nas safras 19/20 e 20/21, com população 15% superior ao sistema com utilização de semeadora.

A produção de MS de milho na safra 20/21 foi superior em 15% quando o manejo de semeadura foi realizado com Rolo Max.

O aumento de número de lâminas, encontradas ou de forma desencontradas reduz a ocorrência de embuchamentos no Rolo Max. A utilização de protetores intercambiáveis pode evitar embuchamentos em condições específicas para sua ocorrência.

6. REFERÊNCIAS

- 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. **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. 200f. 2009.
- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:601-612, 2003.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETA, C.A.; GONÇALVES, C. N.; & DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 157-165, 2001.
- 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**, Viçosa, v.28, p.739-749, 2004.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; FILHO, G. M.; & REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 721-726, 2013.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- AMA. Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil. 2021. Disponível em: <http://amabrasil.agr.br/>.
- AMADO, T J C; MIELNICZUK, J; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 26, n. 1 (2002), p. 241-248, 2002.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; & BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; & BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. da. S.; & FERREIRA, A. de. O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil**. Fundamentos e Prática. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 83 p, 2014.
- AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 201 f (Tese de Doutorado) Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; & AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. IN:

- LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 507 p, 2014.
- BALIN, N. M., ZIECH, A. R. D., DE OLIVEIRA, J. P. M., GIRARDELLO, V. C., STUMPF, L., & CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia agraria**, v. 18, n. 3, p. 85-94, 2017.
- BASSO, C. J.; & CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, 2000.
- 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.
- BRITO, M. D. M. P., MURAOKA, T., & SILVA, E. C. D. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento do feijão e caupi. **Bragantia**. Campinas, v.70, n.1, p.206-2015, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100027>.
- CABREIRA, M. A. F. **Levantamento das classes de solos da área experimental da universidade tecnológica federal do paraná – Campus Dois Vizinhos**. Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Florestal, 50p, 2015.
- CALEGARI, A. et al. Culturas, sucessões e rotações. In: **Sistema Plantio Direto. O produtor pergunta a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p.59-80. (Coleção 500 perguntas 500 Respostas).
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ano XIII. n.80. p.62-70, 2004.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULIZANI, E. A.; DA COSTA, M. B. B.; MIYASSAKA, S.; & AMADO, T. J. C. **Adubação verde no sul do Brasil**. Coordenação: COSTA, M.B.B.da.-2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p. Disponível em: https://issuu.com/aspta/docs/aduba___o_verde_no_sul_do_brasil_1. 1993.
- CAMPOS, B. C., AMADO, T. J. C., BAYER, C., NICOLOSO, R. S., FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011
- CARVALHO, I. Q de.; SILVA, M. J. S da.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; & POSSAMAI, J. Espécies de cobertura de Inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.179-184, 2007.
- CASÃO JUNIOR, R. **Estado da arte da semeadura e semeadoras de precisão no sistema plantio direto no Brasil**. Projeto Agrisus No: PA 2303/17. 2019.
- 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 77 p, 2012.
- CASSOL, C. **Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fontes de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto**. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.
- 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**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CONAB. COMPANINHA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas; Custos de produção**. Brasília: Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. 2023.

CONCEIÇÃO, P. C., AMADO, T. J. C., MIELNICZUK, J., & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

COSER, T. R., RAMOS, M. L. G., Figueiredo, C. C. D., Carvalho, A. M. D., Cavalcante, E., Moreira, M. K. D. R., ... & Oliveira, S. A. D. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1660-1667, 2016.

CRUZ, A. F., MARTINS, M. A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 21, n. 4, p. 559-565, 1997.

DA SILVA, D. A.; VITORINO, A. C. T.; DE SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; & ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 01, 2010.

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

DE OLIVEIRA, S. M.; DE ALMEIDA, R. E. M.; MIGLIAVACCA, R. A.; & FAVARIN, J. L. **Importância do sistema de plantio direto (SPD) para a cultura do milho**. Embrapa Pesca e Aquicultura-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2015.

DERPSCH, R. Sistemas conservacionistas de produção: Como assegurar a sustentabilidade?, 2013. IN: NÉRI, Álisson et al. **Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a ciência do solo**. III Reunião Paranaense de Ciência do Solo, Londrina –PR, 2013, 570p.

DICK, D. P., NOVOTNY, E. H., DIECKOW, J., & BAYER, C. **Química da matéria orgânica do solo**. **XI Química e mineralogia do solo**, v. 1, p. 1-55, 2009.

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**. Embrapa. 2º ed. Revisão Ampliada. Brasília DF: Embrapa Informações Tecnológica, 627p.2009.

Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa; 2018.

FAEP. Federação da Agricultura do Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2017/05/Estudo-Completo-Escoamento-da-Producao-CC-A7a-CC-83o.pdf>. 2018.

FAGAN, Evandro B. et al. Fisiologia da fixação biológica de nitrogênio em soja. **Revista da FZVA**.; Uruguaiana, v.14, n.1, p,89-106. 2007.

- FENG, W., PLANTE, AF, & SIX, J. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. **Biogeochemistry**, v. 112, 81–93, 2013.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: **sistema de análise de variância**, Versão 5.6, Lavras/ DEX, 2014.
- FIGUEIREDO, M. V. B.; LIRA JUNIOR, M. A.; ARAUJO, A. S. F. ; MARTÍNEZ, C. R. . FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS À FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N₂. In: Figueiredo, M. V. B.; Burity, H. A.; Stamford, N. P.; Santos, C.E.R.. (Org.). **Microrganismos e Agrobiodiversidade: O novo desafio para agricultura** (no prelo). 1ed.Guaíba: AGROLIVROS. Edição e Comércio de Livros, v. 1, p. 43-68, 2008.
- FUENTES-LLANILLO, R., TELLES, T. S., JUNIOR, D. S., DE MELO, T. R., FRIEDRICH, T., & KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104877, 2021.
- 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**, v.28, p.751-762, 2004.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; 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**, v. 27, n. 2, 2003.
- HAYDEN, Z. D.; NGOUAJIO, M; BRAINARD, D. C. Rye–vetch mixture proportion tradeoffs: Cover crop productivity, nitrogen accumulation, and weed suppression. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 904-914, 2014.
- HEINRICHS, 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, p. 331-340, 2001.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6640#resultado>. 2021.
- JUNIOR, Mário de Andrade Lira; MARTINEZ, Cosme Rafael. Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N.
- LÁZARO, R. de L.; COSTA, A. C. T da.; SILVA, K. de F.; SARTO, M. V. M.; & JÚNIOR, J. B. D. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 10-17, 2013.
- LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia, 2001.
- MACEDO, M. de O. **Estoque de Carbono, Nitrogênio e Fertilidade do Solo em Áreas em Recuperação com Leguminosas e em um Sistema de Agricultura Itinerante de Alta Produtividade**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 82 p. Dissertação de Mestrado.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>. 2018.
- 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, 336p, 2008.

MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; NETO, L. R.; DE OLIVEIRA, Z. B.; & DE OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019. DOI: 10.5965/223811711812019230.

MIRANDA, R. A de.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; & FILHO, I. A.P. **Milho com alto potencial produtivo e lucrativo**. Campo e Negócios, edição: abril 2013, p. 14-16. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84224/1/Milho-alto-potencial.pdf>. 2013.

MORAN, K.K.; SIX, J.; HORWATH, W.R.; van KESSEL, C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1730-1736, 2005.

NETO, F. S.; & CAMPOS, A. C. Plantas de cobertura antecedendo a cultura de trigo. **Scientia Agraria Paranaensis**. Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 463-467, 2017

PESSÔA, A.S.M. **O estado da arte do plantio direto em 2015** (Rally da Safra). Disponível em: https://febrapdp.org.br/download/publicacoes/Relatorio_final_Rally_2015.pdf.

PIETERS, A. J. **Green Manuring, Principles and Practice**. Agronomist in Charge of Clover Investigations, Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture. Disponível em: <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010160.Pieters.pdf>: Acesso em: (27 Out. 18), 1927.

PISKE, D. R. **Fertilidade do solo sob plantio direto com uso de plantas de cobertura. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PRIMO, D. C., Menezes, R. C., & Silva, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Embrapa Cerrados. Documentos, 2009.

RIBEIRO, P. H., DOS SANTOS, J. V. V. M., COSER, S. M., NOGUEIRA, N. O., & DA SILVA MARTINS, C. A. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.

RIZZARDI, M.A. et al. Ajuste de modelo para quantificar o efeito de plantas daninhas e a época de semeadura no rendimento de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.35-43, 2003.

ROSSI, F.; & CARLOS, J. A. D. Histórico da adubação verde no Brasil. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 83 p, 2014.

SANCHEZ, P. **Nitrogen. In Properties and Management of Soils in the Tropics** (pp. 326-369). Cambridge: Cambridge University Press. 2019. doi:10.1017/9781316809785.015.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2013. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2013_14.pdf. 2013.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2018. **Milho, análise de conjectura**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>. 2018.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2018. Estimativa safra. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras.2023>

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A da. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.1011-1020, 2006.

SISTEMA FARSUL. **Análise do mercado do milho**. Disponível em: http://coral.ufsm.br/petagronomia/images/pdf/SimposioMilho/MILHO---Curto-Prazo-e-Longo-Prazo_Ruy-Augusto-da-Silveira-Neto-min.pdf. 2018.

SISTI, C. P., DOS SANTOS, H. P., KOHHANN, R., ALVES, B. J., URQUIAGA, S., & BODDEY, R. M. . Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, 39–58, 2004.

USDA - United States Department of Agriculture. Disponível <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. 2021

VEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. D. S.; & POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade da análise de frequência de chuvas na região sudoeste do estado do Paraná, Brasil. **Revista de ciências agroveterinárias**, 17(2), 260-266. 2018.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; & BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.90-100, 2013.

WILDNER, L. do P. Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo. 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, DF: Embrapa, v.2, 21 p, 2014.

WOLSCHICK, N. H., BARBOSA, F. T., BERTOL, I., DOS SANTOS, K. F., DE SOUZA WERNER, R., & BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A; & WILDNER, L do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 507 p, 2014.

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 nitrogenada e plantas de cobertura do solo**. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; & GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

GRESCHUK, L. T.; DEMATTÊ, J. A.; SILVERO, N. E.; & ROSIN, N. A. (2023). A soil productivity system reveals most Brazilian agricultural lands are below their maximum potential. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 14103, 2023

ANEXOS

Anexo 1. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema aveia/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	4,30	3,16	1,14	-0,11	1,25	73%	-3%	29%	100%
2	2,90	3,28	-0,38	-0,22	-0,16	113%	-7%	-6%	100%
3	3,90	3,40	0,50	-0,32	0,82	87%	-8%	21%	100%
4	2,50	2,93	-0,43	-0,43	0,00	117%	-17%	0%	100%
5	3,00	2,69	0,31	-0,54	0,85	90%	-18%	28%	100%
6	3,40	5,38	-1,98	-0,65	-1,33	158%	-19%	-39%	100%
7	2,60	3,50	-0,90	-0,76	-0,14	135%	-29%	-6%	100%
8	4,50	4,81	-0,31	-0,86	0,56	107%	-19%	12%	100%
9	2,50	2,53	-0,03	-0,97	0,95	101%	-39%	38%	100%
10	3,30	4,47	-1,17	-1,08	-0,09	136%	-33%	-3%	100%
Média	3,29	3,61	-0,32	-0,59	0,27	112%	-19%	8%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 2. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema aveia/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,20	3,16	3,04	0,32	2,72	51%	5%	44%	100%
2	7,00	3,28	3,72	0,64	3,08	47%	9%	44%	100%
3	10,50	3,40	7,10	0,97	6,13	32%	9%	58%	100%
4	10,60	2,93	7,67	1,29	6,38	28%	12%	60%	100%
5	6,80	2,69	4,11	1,61	2,50	40%	24%	37%	100%
6	9,20	5,38	3,82	1,93	1,89	58%	21%	21%	100%
7	10,60	5,09	5,51	2,25	3,26	48%	21%	31%	100%
8	9,10	4,81	4,29	2,58	1,72	53%	28%	19%	100%
9	10,20	2,53	7,67	2,90	4,78	25%	28%	47%	100%
10	7,90	4,47	3,43	3,22	0,21	57%	41%	3%	100%
Média	8,81	3,77	5,04	1,77	3,27	44%	20%	36%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 3. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema A+E/milho 0 N

Ano	Prdt total	Prdt solo	Prdt sistema+ano	Prdt Sistema	Prdt do ano	Prdt solo	Prdt Sistema	Prdt do ano	Total
1	4,90	3,16	1,74	0,08	1,66	64%	2%	34%	100%
2	4,30	3,28	1,02	0,16	0,86	76%	4%	20%	100%
3	7,10	3,40	3,70	0,24	3,46	48%	3%	49%	100%
4	4,50	2,93	1,57	0,32	1,25	65%	7%	28%	100%
5	4,20	2,69	1,51	0,40	1,11	64%	9%	26%	100%
6	5,40	5,38	0,02	0,48	-0,46	100%	9%	-8%	100%
7	6,40	5,09	1,31	0,56	0,75	80%	9%	12%	100%
8	8,40	4,81	3,59	0,64	2,96	57%	8%	35%	100%
9	4,80	2,53	2,27	0,72	1,56	53%	15%	32%	100%
10	5,10	4,47	0,63	0,80	-0,17	88%	16%	-3%	100%
Média	5,51	3,77	1,74	0,44	1,30	69%	8%	22%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pouso; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 4. Comportamento dos componentes de produtividade ao longo de 10 anos para sistema A+E/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,20	3,16	3,04	0,35	2,69	51%	6%	43%	100%
2	6,50	3,28	3,22	0,70	2,52	50%	11%	39%	100%
3	11,20	3,40	7,80	1,05	6,75	30%	9%	60%	100%
4	11,20	2,93	8,27	1,40	6,88	26%	12%	61%	100%
5	7,20	2,69	4,51	1,75	2,76	37%	24%	38%	100%
6	8,70	5,38	3,32	2,09	1,23	62%	24%	14%	100%
7	10,90	5,09	5,81	2,44	3,37	47%	22%	31%	100%
8	9,00	4,81	4,19	2,79	1,40	53%	31%	16%	100%
9	10,10	2,53	7,57	3,14	4,43	25%	31%	44%	100%
10	8,50	4,47	4,03	3,49	0,54	53%	41%	6%	100%
Média	8,95	3,77	5,18	1,92	3,26	43%	21%	35%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pouso; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 5. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema A+E+N/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	5,00	3,16	1,84	0,13	1,71	63%	3%	34%	100%
2	4,50	3,28	1,22	0,26	0,96	73%	6%	21%	100%
3	7,70	3,40	4,30	0,40	3,90	44%	5%	51%	100%
4	5,90	2,93	2,97	0,53	2,44	50%	9%	41%	100%
5	5,80	2,69	3,11	0,66	2,45	46%	11%	42%	100%
6	5,00	5,38	-0,38	0,79	-1,17	108%	16%	-23%	100%
7	5,80	5,09	0,71	0,92	-0,21	88%	16%	-4%	100%
8	7,90	4,81	3,09	1,06	2,04	61%	13%	26%	100%
9	6,80	2,53	4,27	1,19	3,09	37%	17%	45%	100%
10	6,30	4,47	1,83	1,32	0,51	71%	21%	8%	100%
Média	6,07	3,77	2,30	0,73	1,57	64%	12%	24%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 6. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema A+E+N/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,40	3,16	3,24	0,30	2,94	49%	5%	46%	100%
2	6,70	3,28	3,42	0,59	2,83	49%	9%	42%	100%
3	10,60	3,40	7,20	0,89	6,31	32%	8%	60%	100%
4	11,10	2,93	8,17	1,19	6,98	26%	11%	63%	100%
5	6,00	2,69	3,31	1,49	1,82	45%	25%	30%	100%
6	6,90	5,38	1,52	1,78	-0,26	78%	26%	-4%	100%
7	11,20	5,09	6,11	2,08	4,03	45%	19%	36%	100%
8	10,40	4,81	5,59	2,38	3,22	46%	23%	31%	100%
9	11,00	2,53	8,47	2,67	5,80	23%	24%	53%	100%
10	9,00	4,47	4,53	2,97	1,56	50%	33%	17%	100%
Média	8,93	3,77	5,16	1,63	3,52	44%	18%	37%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 7. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema azevém/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	3,90	3,16	0,74	-0,10	0,84	81%	-2%	21%	100%
2	3,40	3,28	0,12	-0,19	0,31	96%	-6%	9%	100%
3	4,00	3,40	0,60	-0,29	0,89	85%	-7%	22%	100%
4	2,00	2,93	-0,93	-0,38	-0,54	146%	-19%	-27%	100%
5	2,80	2,69	0,11	-0,48	0,59	96%	-17%	21%	100%
6	1,80	5,38	-3,58	-0,58	-3,00	299%	-32%	-167%	100%
7	2,60	5,09	-2,49	-0,67	-1,82	196%	-26%	-70%	100%
8	5,50	4,81	0,69	-0,77	1,46	87%	-14%	27%	100%
9	3,50	2,53	0,97	-0,86	1,84	72%	-25%	52%	100%
10	4,20	4,47	-0,27	-0,96	0,69	107%	-23%	16%	100%
Média	3,37	3,77	-0,40	-0,53	0,12	127%	-17%	-9%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pouso; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 8. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema azevém/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	5,40	3,16	2,24	0,36	1,89	59%	6,6%	35%	100%
2	5,60	3,28	2,32	0,71	1,61	59%	12,7%	29%	100%
3	9,90	3,40	6,50	1,07	5,44	34%	10,8%	55%	100%
4	9,20	2,93	6,27	1,42	4,85	32%	15,4%	53%	100%
5	6,80	2,69	4,11	1,78	2,33	40%	26,1%	34%	100%
6	6,30	5,38	0,92	2,13	-1,21	85%	33,8%	-19%	100%
7	11,30	5,09	6,21	2,49	3,73	45%	22,0%	33%	100%
8	10,50	4,81	5,69	2,84	2,85	46%	27,0%	27%	100%
9	9,10	2,53	6,57	3,20	3,38	28%	35,1%	37%	100%
10	9,00	4,47	4,53	3,55	0,98	50%	39,4%	11%	100%
Média	8,31	3,77	4,54	1,95	2,58	48%	23%	29%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pouso; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 9. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema centeio/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	3,70	3,16	0,54	-0,03	0,57	85%	-1%	15%	100%
2	4,00	3,28	0,72	-0,06	0,78	82%	-1%	19%	100%
3	3,60	3,40	0,20	-0,09	0,29	94%	-2%	8%	100%
4	2,70	2,93	-0,23	-0,12	-0,11	108%	-4%	-4%	100%
5	3,00	2,69	0,31	-0,15	0,45	90%	-5%	15%	100%
6	2,90	5,38	-2,48	-0,17	-2,30	185%	-6%	-79%	100%
7	3,60	5,09	-1,49	-0,20	-1,29	141%	-6%	-36%	100%
8	5,90	4,81	1,09	-0,23	1,33	81%	-4%	22%	100%
9	4,90	2,53	2,37	-0,26	2,63	52%	-5%	54%	100%
10	3,40	4,47	-1,07	-0,29	-0,78	132%	-9%	-23%	100%
Média	3,77	3,77	0,00	-0,16	0,16	105%	-4%	-1%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 10. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema centeio/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,10	3,20	2,90	0,25	2,65	52%	4%	43%	100%
2	6,60	3,40	3,20	0,50	2,70	52%	8%	41%	100%
3	8,90	3,40	5,50	0,75	4,75	38%	8%	53%	100%
4	9,90	3,00	6,90	1,00	5,90	30%	10%	60%	100%
5	6,10	6,70	-0,60	1,25	-1,85	110%	20%	-30%	100%
6	5,70	5,60	0,10	1,50	-1,40	98%	26%	-25%	100%
7	10,80	4,80	6,00	1,75	4,25	44%	16%	39%	100%
8	9,80	2,50	7,30	2,00	5,30	26%	20%	54%	100%
9	11,40	4,50	6,90	2,25	4,65	39%	20%	41%	100%
10	9,90	4,50	5,40	2,50	2,90	45%	25%	29%	100%
Média	8,52	4,16	4,36	1,38	2,99	54%	16%	31%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 11. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema ervilhaca/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	5,20	3,16	2,04	0,25	1,79	61%	5%	34%	100%
2	6,50	3,28	3,22	0,50	2,72	50%	8%	42%	100%
3	8,20	3,40	4,80	0,75	4,05	41%	9%	49%	100%
4	7,00	2,93	4,07	1,00	3,08	42%	14%	44%	100%
5	6,00	2,69	3,31	1,25	2,06	45%	21%	34%	100%
6	8,40	5,38	3,02	1,49	1,53	64%	18%	18%	100%
7	8,10	5,09	3,01	1,74	1,27	63%	22%	16%	100%
8	9,60	4,81	4,79	1,99	2,80	50%	21%	29%	100%
9	8,00	2,53	5,47	2,24	3,23	32%	28%	40%	100%
10	6,80	4,47	2,33	2,49	-0,16	66%	37%	-2%	100%
Média	7,38	3,77	3,61	1,37	2,24	51%	18%	31%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 12. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema ervilhaca/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,80	3,16	3,64	0,28	3,36	46%	4%	49%	100%
2	5,80	3,28	2,52	0,55	1,97	57%	10%	34%	100%
3	9,90	3,40	6,50	0,83	5,67	34%	8%	57%	100%
4	9,70	2,93	6,77	1,10	5,67	30%	11%	58%	100%
5	7,30	2,69	4,61	1,38	3,23	37%	19%	44%	100%
6	8,80	5,38	3,42	1,66	1,77	61%	19%	20%	100%
7	10,30	5,09	5,21	1,93	3,28	49%	19%	32%	100%
8	10,10	4,81	5,29	2,21	3,09	48%	22%	31%	100%
9	10,00	2,53	7,47	2,48	4,99	25%	25%	50%	100%
10	7,70	4,47	3,23	2,76	0,47	58%	36%	6%	100%
Média	8,64	3,77	4,87	1,52	3,35	45%	17%	38%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 13. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema nabo/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	4,9	3,16	1,7	0,1	1,6	64%	2%	33%	100%
2	5,2	3,28	1,9	0,2	1,7	63%	4%	32%	100%
3	6,4	3,40	3,0	0,3	2,7	53%	5%	41%	100%
4	6,7	2,93	3,8	0,5	3,3	44%	7%	49%	100%
5	5,5	2,69	2,8	0,6	2,2	49%	11%	41%	100%
6	5,5	5,38	0,1	0,7	-0,6	98%	13%	-10%	100%
7	6,5	5,09	1,4	0,8	0,6	78%	12%	9%	100%
8	6,7	4,81	1,9	0,9	1,0	72%	14%	14%	100%
9	5,0	2,53	2,5	1,0	1,4	51%	21%	29%	100%
10	6,4	4,47	1,9	1,2	0,8	70%	18%	12%	100%
Média	5,9	3,77	2,1	0,6	1,5	64%	11%	25%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 14. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema nabo/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,50	3,16	3,34	0,23	3,11	49%	4%	48%	100%
2	6,10	3,28	2,82	0,46	2,36	54%	8%	39%	100%
3	8,40	3,40	5,00	0,69	4,31	40%	8%	51%	100%
4	9,70	2,93	6,77	0,92	5,85	30%	9%	60%	100%
5	6,20	2,69	3,51	1,15	2,36	43%	19%	38%	100%
6	6,50	5,38	1,12	1,38	-0,26	83%	21%	-4%	100%
7	11,40	5,09	6,31	1,61	4,70	45%	14%	41%	100%
8	10,80	4,81	5,99	1,84	4,15	45%	17%	38%	100%
9	9,70	2,53	7,17	2,07	5,10	26%	21%	53%	100%
10	8,30	4,47	3,83	2,30	1,53	54%	28%	18%	100%
Média	8,36	3,77	4,59	1,27	3,32	47%	15%	38%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 15. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema tremoço/milho 0 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	4,40	3,16	1,24	0,28	0,96	72%	6%	22%	100%
2	4,90	3,28	1,62	0,56	1,06	67%	11%	22%	100%
3	6,30	3,40	2,90	0,84	2,06	54%	13%	33%	100%
4	7,70	2,93	4,77	1,12	3,66	38%	14%	47%	100%
5	5,80	2,69	3,11	1,40	1,71	46%	24%	30%	100%
6	5,70	5,38	0,32	1,67	-1,35	94%	29%	-24%	100%
7	7,90	5,09	2,81	1,95	0,86	64%	25%	11%	100%
8	9,20	4,81	4,39	2,23	2,16	52%	24%	23%	100%
9	7,60	2,53	5,07	2,51	2,56	33%	33%	34%	100%
10	7,60	4,47	3,13	2,79	0,34	59%	37%	4%	100%
Média	6,71	3,77	2,94	1,53	1,40	58%	22%	20%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema

Anexo 16. Comportamento dos componentes do potencial produtivo ao longo de 10 anos para sistema tremoço/milho 180 N

Ano	PP total	PP solo	PP sistema+ano	PP Sistema	PP do ano	PP solo	PP Sistema	PP do ano	Total
1	6,70	3,16	3,54	0,25	3,29	47%	4%	49%	100%
2	5,20	3,28	1,92	0,51	1,41	63%	10%	27%	100%
3	8,20	3,40	4,80	0,76	4,04	41%	9%	49%	100%
4	10,60	2,93	7,67	1,02	6,66	28%	10%	63%	100%
5	6,40	2,69	3,71	1,27	2,44	42%	20%	38%	100%
6	8,30	5,38	2,92	1,52	1,40	65%	18%	17%	100%
7	9,00	5,09	3,91	1,78	2,13	57%	20%	24%	100%
8	10,50	4,81	5,69	2,03	3,66	46%	19%	35%	100%
9	10,40	2,53	7,87	2,29	5,59	24%	22%	54%	100%
10	8,30	4,47	3,83	2,54	1,29	54%	31%	15%	100%
Média	8,36	3,77	4,59	1,40	3,19	47%	16%	37%	100%

PP total: Potencial produtivo do sistema planta de cobertura/milho; PP solo: potencial produtivo pousio; PP Sistema: Incremento do potencial produtivo/10 anos; PP ano: PP sistema+ano-PP sistema