

**Desempenho de plantas de cobertura estivais e influência em atributos de solo em
unidade didática no Sudoeste do Paraná**

**Performance of summer cover crops and influence on soil attributes in a demonstrative
unity in Southwest Paraná**

**Rendimiento de cultivos de cobertura de verano e influencia en los atributos del suelo en
una unidad didáctica en el suroeste de Paraná**

Recebido: 05/10/2020 | Revisado: 12/10/2020 | Aceito: 16/10/2020 | Publicado: 18/10/2020

Maiara Karini Haskel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9635-174X>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: maiara.haskel@hotmail.com

Paulo Cesar Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5880-8094>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: paulocesar@utfpr.edu.br

Cidimar Cassol

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4941-9051>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: cidiutfpr@hotmail.com

Joseane Aparecida Derengoski

ORCID: 0000-0003-0476-2187

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: derengoski.josi@gmail.com

Dieyson Fernando Peruzzolo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7628-0131>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: dieyson97@gmail.com

Ezequiel Dal Bosco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4344-7614>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: ezequieldb13@gmail.com

Resumo

O cultivo de plantas de cobertura no sul do Brasil é predominante no período de inverno, apesar de existir espécies adaptadas para o período de verão, são limitadas as informações sobre o comportamento destas para a região. Deste modo, objetivou-se avaliar o desenvolvimento de fabáceas estivais, em diferentes épocas de semeadura e seus efeitos no teor de N e densidade do solo (Ds). O experimento foi implantado em 2010, com 10 espécies de plantas de cobertura, semeadas em cinco épocas, de novembro a março de cada ano. Nas safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016 foram realizadas a determinação de matéria seca (MS) de plantas de cobertura, na última safra obtido o teor de nitrogênio (N) de tecido, disponibilização de N e densidade do solo (Ds). As plantas apresentaram maior produção de MS nas primeiras épocas de semeadura e maior teor de N em tecido quando semeadas em março, porém o maior fornecimento de N na área se dá nas primeiras épocas de semeadura, variando de 92 à 255 kg N ha⁻¹. Os maiores teores de N no solo foram encontrados na camada superficial, exceto para a crotalária oroleuca que apresentou maior teor médio de N na camada de 0,05-0,10 m. O menor valor médio de densidade foi encontrado na camada superficial, 1,02 Mg m⁻³, e o maior valor na camada 0,05-0,10 m, 1,23 Mg m⁻³, para as espécies de feijão de porco e mucuna cinza. As plantas de cobertura apresentam máximo potencial de desenvolvimento quando semeadas em novembro e dezembro.

Palavras-chave: Épocas de semeadura; Leguminosas; Nitrogênio; Compactação.

Abstract

The cultivation of cover plants in southern Brazil is predominant in the winter period, although there are species adapted for the summer period, they are limited as information on their behavior for the region. Thus, the objective was to evaluate the development of summer fabáceas, at different sowing times and their effects on the N content and soil density (Ds). The experiment was implemented in 2010, with 10 species of cover plants, sown in five seasons, from November to March of each year. In the 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016 crops, the dry matter (MS) of cover crops was determined, in the last period the tissue nitrogen (N) content, availability of N and soil density (Ds). The plants had the highest MS production in the first sowing seasons and the highest N content in tissue when sown in March, however the largest source of N in the area occurs in the first sowing seasons, ranging from 92 to 255 kg N ha⁻¹. The highest levels of N in any soil were found in the superficial layer, except for the crotalaria oroleuca, which had the highest average N content in the 0.05-0.10 m layer. The lowest average density value was found in the superficial layer, 1.02 Mg m⁻³.

³, and the highest value in the 0.05-0.10 m layer, 1.23 Mg m⁻³, for the species of pork beans and gray mucuna. Cover crops have the maximum potential for development when sown in November and December.

Keywords: Sowing times; Legumes; Nitrogen; Compaction.

Resumen

El cultivo de plantas de cobertura en el sur de Brasil es predominante en el período invernal, aunque existen especies adaptadas para el período estival, son limitadas como información sobre su comportamiento para la región. Así, el objetivo fue evaluar el desarrollo de las fabáceas de verano, en diferentes épocas de siembra y sus efectos sobre el contenido de N y la densidad del suelo (Ds). El experimento se implementó en 2010, con 10 especies de plantas de cobertura, sembradas en cinco temporadas, de noviembre a marzo de cada año. En los cultivos 2013/2014, 2014/2015 y 2015/2016 se determinó la materia seca (MS) de los cultivos de cobertura, en el último período el contenido de nitrógeno (N) tisular, la disponibilidad de N y la densidad del suelo (Ds). Las plantas tuvieron la mayor producción de MS en las primeras temporadas de siembra y el mayor contenido de N en el tejido cuando se siembra en marzo, pero la mayor fuente de N en el área se da en las primeras temporadas de siembra, con un rango de 92 a 255 kg N ha⁻¹. Los niveles más altos de N en cualquier suelo se encontraron en la capa superficial, a excepción de la crotalaria oroleuca, que tuvo el contenido promedio más alto de N en la capa 0.05-0.10 m. El valor de densidad promedio más bajo se encontró en la capa superficial, 1.02 Mg m⁻³, y el valor más alto en la capa 0.05-0.10 m, 1.23 Mg m⁻³, para la especie de frijol porcino. y mucuna gris. Los cultivos de cobertura tienen el máximo potencial de desarrollo cuando se siembran en noviembre y diciembre.

Palabras clave: Tiempos de siembra; Legumbres; Nitrógeno; Compactación.

1. Introdução

As áreas agrícolas brasileiras são conduzidas em plantio direto, predominando adoção de monocultivo de soja, com presença em muitas situações de pousio hibernar e baixa adição de palhada sobre o solo (Borges et al., 2015). Aproximadamente 90% das áreas agricultáveis brasileiras são cultivadas com sucessão de soja na safra principal e milho na segunda safra também denominada de safrinha (Dias, 2014), com ausência de rotação de culturas, preceito básico do plantio direto.

A utilização de espécies de plantas de cobertura do solo no Sul do Brasil tem como

predomínio o uso de espécies de inverno, normalmente poáceas, sendo que as espécies estivais (tropicais) são adequadas para o período de verão ou período de safrinha, mas possuem uma inserção menor. Para estes períodos, existem diversas espécies adaptadas, principalmente fabáceas, fixadoras de N, que após a decomposição disponibilizam esse nutriente para cultura seguinte, incrementando a produtividade das culturas e resultando em uma menor dependência de insumos externos (Calonego et al., 2012; Ziech et al., 2016).

A produção agrícola apresenta fatores limitantes que podem reduzir o desenvolvimento e produtividade das culturas, resultando em degradação do solo, especialmente limitantes físicos do solo como a compactação do solo. Ela é definida pela mudança na relação entre massa e volume do solo, devido as práticas antrópicas, provocando o aumento da densidade do solo e da resistência do solo a penetração de raízes, redução do espaço poroso e da infiltração de água no solo (Curi, 1993; Nolla et al., 2019).

Espécies de leguminosas apresentam características interessantes para uso como plantas de cobertura pela elevada produção de biomassa, capacidade de fixação biológica de N atmosférico via associação com bactérias, capacidade de ciclagem de nutrientes do solo, pelo sistema radicular profundo, como fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) (Teodoro et al., 2011; Dabin et al., 2016).

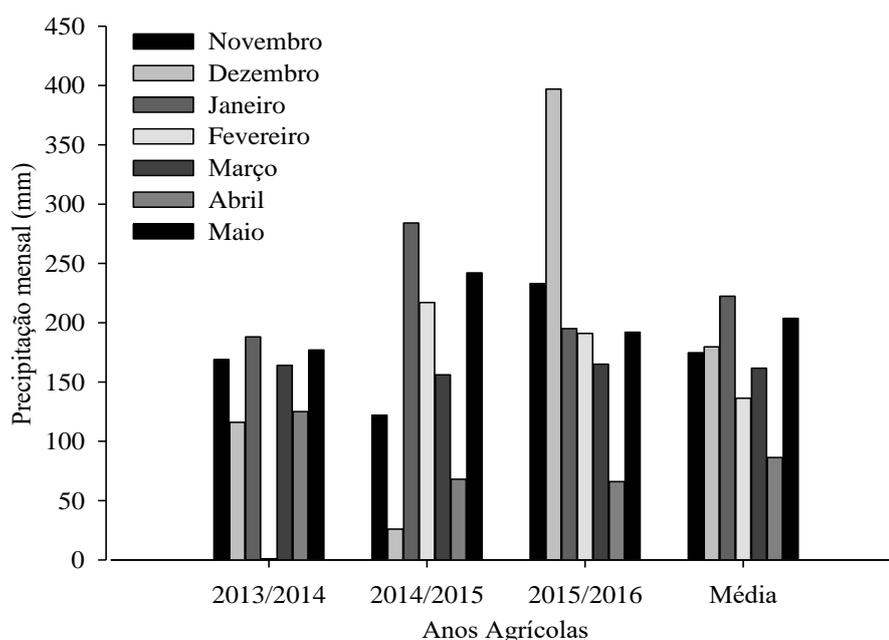
Os sistemas de produção agrícolas também podem causar redução da fertilidade e atividade biológica no solo, exigindo utilização de fertilizantes, para atender a demanda básica de nutrientes das plantas, por vezes sendo desconsiderado o potencial de suprimento pelo solo e por culturas anteriores. Plantas de cobertura capazes de realizar fixação biológica de nitrogênio (N), como as fabáceas, ou espécies com alta capacidade de ciclagem e disponibilização, são alternativas para fornecimento de N para o solo e culturas subsequentes, reduzindo assim a necessidade de utilização de fertilizantes químicos nitrogenados para a cultura sucessora (Silva et al., 2009; Leal et al., 2013).

No entanto, o conhecimento sobre o suprimento de nutrientes às culturas precisa ser validado para cada realidade regional, visando a indicação de qual a melhor época de semeadura, conhecimento do comportamento da produção de matéria seca e capacidade de ciclagem de N da cultura entre outros fatores, o que em muitas situações esbarra na escassa informação e avaliação do desempenho destas plantas a campo. Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a produção de matéria seca (MS) de espécies de fabáceas estivais em diferentes épocas de semeadura, a disponibilidade de nitrogênio (N) pelos tecidos vegetais, os teores de N do solo após cinco anos consecutivos com as plantas de cobertura estivais e a influência de fabáceas na densidade do solo.

2. Metodologia

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, situado em latitude sul de 25° 42' 52" e longitude oeste de 53° 03' 94", a 520 metros acima do nível do mar, em solo classificado como Latossolo Vermelho (Cabreira, 2015). O clima da região é Cfa (subtropical úmido), sem estação seca definida e com média de temperatura do mês mais quente de 22°C (Alvares et al., 2013), com precipitação em torno de 2010 mm anuais (Vieira et al., 2018). A precipitação mensal durante a condução do experimento variou de 25 a 400 mm (Figura 1) sendo o mês de janeiro o período com maior precipitação com volumes médios de 222 mm.

Figura 1. Precipitação mensal durante o ciclo das plantas de cobertura para as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.



Fonte: Autores.

A unidade didática foi implantada em 2010, em parcelas de 20 m², sendo utilizadas 10 espécies de fabáceas estivais semeadas em cinco épocas, que correspondem aos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março em cada ano safra (Tabela 1) com espaçamento de 0,50 m entrelinhas e densidade de semeadura conforme segue:

1. Crotalária Juncea (*Crotalaria juncea L.*): 25 Kg ha⁻¹;
2. Mucuna cinza (*Mucuna pruriens*): 60 Kg ha⁻¹;

3. Guandu arbóreo (*Cajanus cajans* L): 50 Kg ha⁻¹;
4. Guandu anão (*Cajanus cajans* L.): 50 Kg ha⁻¹;
5. Crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*): 12 Kg ha⁻¹;
6. Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*): 100 Kg ha⁻¹;
7. Mucuna preta (*Mucuna aterrima*): 60 Kg ha⁻¹;
8. Crotalaria ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*): 03 Kg ha⁻¹;
9. Lab lab (*Dolichos lablab*): 50 Kg ha⁻¹;
10. Mucuna anã (*Mucuna deeringiana*): 80 Kg ha⁻¹.

Tabela 1. Datas de semeadura das plantas de cobertura em cada safra agrícola.

Épocas de plantio / Safra Agrícola	2013/2014	2014/2015	2015/2016
1 ^a (novembro)	18/11/2013	13/11/2014	23/11/2015
2 ^a (dezembro)	16/12/2013	18/12/2014	18/12/2015
3 ^a (janeiro)	14/01/2014	13/01/2015	15/01/2016
4 ^a (fevereiro)	17/02/2014	20/02/2015	15/02/2016
5 ^a (março)	24/04/2014	16/03/2015	14/03/2016

Fonte: Autores.

A coleta do material vegetal para determinação de matéria seca (MS) foi realizada em uma área de 0,25 m², em estágio de florescimento pleno das plantas, normalmente em mês de maio, coincidente com a realização de eventos demonstrativos dos resultados na instituição, exceto para a quarta e a quinta época da safra 2014/2015 e 2015/2016, onde foram coletadas em estágio vegetativo, devido a geadas que normalmente ocorrem a partir de junho na região. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, da marca ACB LABOR, a 55°C até peso constante e pesado para determinação da produção de MS. Para a safra 2015/2016 o material vegetal foi triturado em moinho de facas tipo *willey*, com peneira de 20 *mesh*, da marca ACB LABOR, para realização de análise de nitrogênio (N) do tecido vegetal de plantas (Embrapa, 1999) e cálculo de disponibilidade de N por cada espécie, o cálculo foi realizado com base na multiplicação da produção de MS de plantas e teor de N encontrado em cada espécie.

Após cinco anos de condução do experimento, em setembro de 2016, foi realizada coleta de amostras de solo nas profundidades de 0,00- 0,05, 0,05- 0,10, 0,10-0,20 m de profundidade para a determinação de N total no solo (Embrapa, 1999). A determinação da densidade do solo (Ds) foi realizada pela coleta de amostras de solo indeformadas, em anéis

metálicos, nas mesmas profundidades anteriores, sendo coletados 50 amostras por profundidade avaliada.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção de Matéria seca de plantas

A produção de MS das plantas está associada com as condições climáticas as quais a planta é exposta. Mediante isto, pode-se observar a maior produção de biomassa nas primeiras épocas de semeadura (Tabela 2), sendo esse o período no qual as plantas puderam desenvolver seu máximo potencial de produção de biomassa.

Tabela 2. Produção de MS (Mg ha⁻¹) de plantas de cobertura em cinco épocas de semeadura em três anos agrícolas.

Espécies/ Épocas	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Média
Safrá 2013/2014						
Crotalária juncea	12,9	6,8	4,5	3,8	0,5	5,7
Lab lab	7,6	5,6	4,6	3,3	0,7	4,4
Mucuna cinza	7,2	4,3	3,3	3,7	0,4	3,8
Feijão de porco	8,1	5,2	1,8	2,2	0,3	3,5
Guandu arbóreo	8,6	3,5	1,1	0,9	0,1	2,8
Guandu anão	8,1	3,3	1,9	2,2	0,2	3,1
Crotalária spectabilis	3,9	0,9	0,3	0,9	0,1	1,2
Mucuna Preta	7,9	6,2	4,0	2,5	0,3	4,2
Mucuna anã	8,3	5,8	3,5	2,0	0,5	4,0
Crotalária oroleuca	1,2	1,8	0,2	1,6	0,0	1,0
Safrá 2014/2015						
Crotalária juncea	13,7	10,3	4,8	3,5	2,0	6,9
Lab lab	9,1	6,2	4,3	5,8	1,0	5,3
Mucuna cinza	9,2	8,1	7,9	2,8	1,8	6,0
Feijão de porco	7,3	7,1	6,8	4,8	1,6	5,5
Guandu arbóreo	26,3	14,8	7,3	2,3	1,8	10,5
Guandu anão	13,3	9,0	4,0	1,7	0,5	5,7
Crotalária spectabilis	10,1	5,6	1,8	1,0	0,1	3,7
Mucuna Preta	7,7	5,7	6,6	5,8	3,2	5,8
Mucuna anã	10,6	8,2	3,8	2,2	0,6	5,1
Crotalária oroleuca	14,2	7,9	2,0	1,9	0,0	5,2
Safrá 2015/2016						
Crotalária juncea	10,1	10,7	2,8	2,6	1,2	5,5
Lab lab	5,6	5,4	4,2	3,1	0,9	3,8
Mucuna cinza	6,8	8,6	5,9	3,4	0,6	5,0
Feijão de porco	9,0	12,3	5,8	6,3	1,1	6,9
Guandu arbóreo	13,4	13,0	10,7	3,9	0,6	8,3
Guandu anão	9,4	8,6	5,0	3,0	0,4	5,3
Crotalária spectabilis	7,2	6,4	2,9	1,5	0,2	3,6
Mucuna Preta	8,6	10,0	6,7	3,6	0,8	5,9
Mucuna anã	9,0	8,0	3,0	2,3	0,4	4,5
Crotalária oroleuca	7,1	11,4	3,3	1,4	0,2	4,7

Fonte: Autores.

Na primeira safra avaliada, pode-se destacar a crotalária juncea na produção de MS nas quatro primeiras épocas, quando semeadas de novembro a fevereiro com as maiores produções de MS, de 13, 7, 5 e 4 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em contrapartida, as *C. spectabilis* e *C. oroleuca*, apresentaram a menor produção de MS, (3,9 e 1,2 Mg ha⁻¹, respectivamente) quando semeadas em novembro de 2013 (Tabela 2).

Durante a safra 2014/2015 e 2015/2016, pode-se observar o aumento da produção de

MS de plantas em todas as épocas de semeadura, sendo que as precipitações variaram conforme as safras, porém, sem ocorrência de estresse hídrico, com exceção de fevereiro de 2014, onde a precipitação mensal não alcançou 1 mm (Figura 1) e dezembro do mesmo ano (safra 2014/15) onde não ultrapassou 25 mm. Nesse período, o guandu arbóreo apresentou elevada produção de MS, de 26,3 Mg ha⁻¹, quando semeado em novembro. Já a crotalária oroleuca, que apresentou a menor produção de MS na safra anterior, quando semeada em novembro, apresentou a segunda maior produção de MS, acima de 14 Mg ha⁻¹.

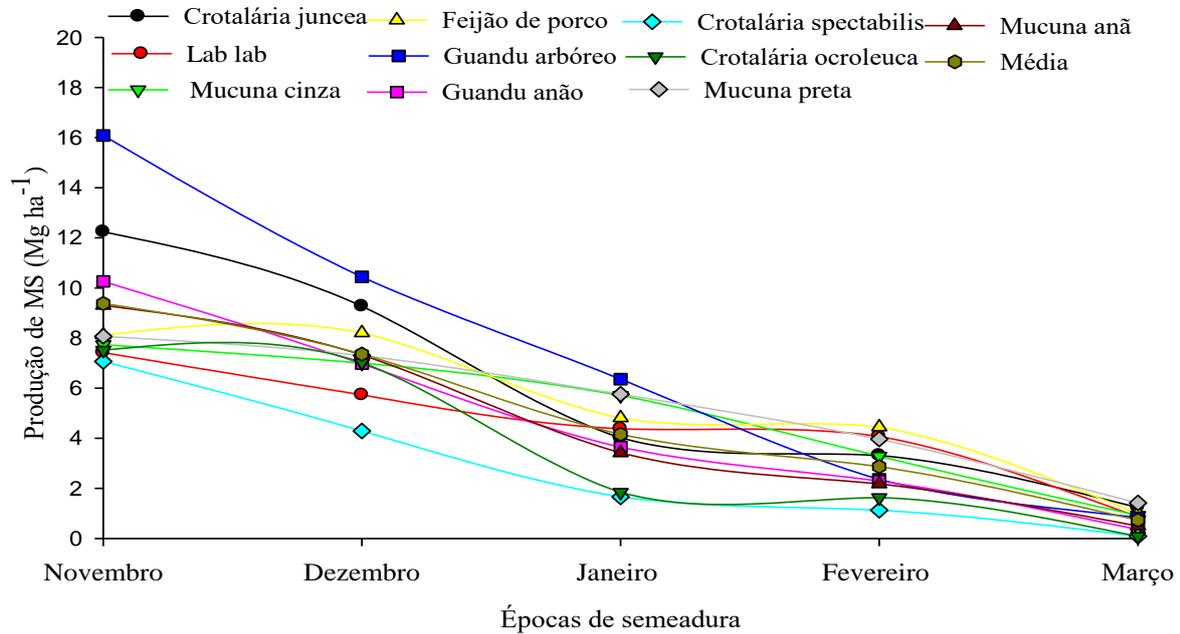
O guandu arbóreo, na terceira safra (2015/2016), também se destacou na produção de MS pois quando semeado em novembro e dezembro, apresentou biomassa da parte aérea superior a 13 Mg ha⁻¹, reduzindo para 10,7 Mg ha⁻¹ quando semeadas em janeiro. No entanto ocorreu elevada redução na quarta e quinta época de semeadura, produzindo menos de 4 Mg ha⁻¹ numa redução de 7 e 10 Mg ha⁻¹, respectivamente, relativo as primeiras épocas de semeadura. Dessa forma, pode-se observar que, quando semeadas na quinta época (março), a produção de MS não ultrapassa 1,22 Mg ha⁻¹ (crotalária juncea), chegando a valores baixos de produção de MS como 0,1 Mg ha⁻¹ nos tratamentos com Crotalária spectabilis e Crotalária oroleuca, na safra 2013/2014. Ramos et al. (2020) obtiveram produção de Crotalária juncea acima de 10 Mg ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho no estado do Mato Grosso do Sul, semelhante aos resultados do presente trabalho para a primeira época de semeadura.

Ao avaliarmos a produção média de MS nas três safras agrícolas (Figura 2), percebemos a ocorrência de maior produção quando semeadas em novembro e dezembro, isto devido as condições climáticas adequadas de precipitação, temperatura e período de tempo maior para completar seu ciclo até a avaliação antecedendo as primeiras geadas, sendo que quando semeadas em março atingem, em média, produção de biomassa anual inferior a 1,4 Mg ha⁻¹, sendo menos de 10% dos valores obtidos em novembro que representam o potencial produtivo da espécie (Tabela 3). Dessa maneira as épocas de novembro e dezembro possuem produção de MS similar entre si, embora com redução média de 20% para a semeadura na segunda quinzena de dezembro.

O guandu arbóreo se destaca das demais espécies em produção de MS, atingido produção média anual de 19,1 e 10,4 Mg ha⁻¹, quando semeadas em novembro e dezembro, respectivamente. Já em janeiro há uma redução na média geral das espécies de 54% do potencial produtivo máximo obtido para a semeadura de 1ª época, mas com média geral das espécies maior que 4,2 Mg ha⁻¹ que são produções superiores ao que pode ser obtido na região com leguminosas hibernais como ervilhaca (2,1 Mg ha⁻¹) ou tremoço (3,6 Mg ha⁻¹) em média de duas safras (2017/2018 e 2018/2019), que podem ser usadas antecedendo ao milho

(Cassol, 2019).

Figura 2. Produção média de MS nas cinco épocas de semeadura.



Fonte: Autores.

A crotalaria espectabilis apresenta menor produção de MS média em todas as épocas de semeadura, atingindo produtividade média de 7 Mg ha⁻¹, reduzindo ao avançar das épocas de semeadura, sendo que na 5^a época de semeadura apresenta produção de MS próxima a 1% da produção de 1^a época. Na média dos dados a produção de MS obtida para o mês de março é de apenas 8% do obtido em novembro o que demonstra a inadequação de semeadura nesse período para essas culturas estivais.

Tabela 3. Produção média de MS pelas plantas de cobertura e rendimento relativo nas cinco épocas de semeadura dos anos agrícolas.

Época de semeadura	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Espécies	Produção de matéria seca (Mg ha ⁻¹)				
Crotalária juncea	12,24	9,27	4,02	3,31	1,24
Lab lab	7,42	5,73	4,38	4,07	0,87
Mucuna cinza	7,73	7,00	5,71	3,29	0,92
Feijão de porco	8,12	8,21	4,81	4,45	1,01
Guandu arbóreo	16,09	10,44	6,36	2,36	0,83
Guandu anão	10,26	6,97	3,65	2,29	0,36
Crotalária spectabilis	7,07	4,29	1,66	1,13	0,09
Mucuna Preta	8,07	7,30	5,76	3,97	1,42
Mucuna anã	9,31	7,33	3,42	2,18	0,50
Crotalária ocreleuca	7,51	7,02	1,84	1,63	0,09
Média	9,38	7,36	4,16	2,87	0,73
	Rendimento Relativo*				
Crotalária juncea		0,76	0,33	0,27	0,10
Lab lab		0,77	0,59	0,55	0,12
Mucuna cinza		0,91	0,74	0,43	0,12
Feijão de porco		1,01	0,59	0,55	0,12
Guandu arbóreo		0,65	0,40	0,15	0,05
Guandu anão		0,68	0,36	0,22	0,04
Crotalária spectabilis		0,61	0,23	0,16	0,01
Mucuna Preta		0,90	0,71	0,49	0,18
Mucuna anã		0,79	0,37	0,23	0,05
Crotalária ocreleuca		0,93	0,25	0,22	0,01
Média		0,80	0,46	0,33	0,08

* calculado como a relação entre a MS produzida em cada época relativo à primeira época de cultivo (novembro). Fonte: Autores.

3.2 Teor de N em tecido vegetal

As épocas de semeadura de novembro e dezembro competem sob o ponto de vista de ciclo com as culturas comerciais. Assim a semeadura em janeiro, fevereiro e março se torna uma alternativa ao uso das plantas de cobertura. Porém ocorre produção de MS reduzida na última época, embora apresente maior teor de N em tecido vegetal em relação as demais épocas de semeaduras (Tabela 4).

O teor de N superior pode ser explicado devido ao material ser coletado ainda em estágio vegetativo, pelas condições climáticas, sendo menor a lignificação das estruturas celulares por não ter atingido estágio de florescimento. Assim esse maior teor de N na MS é reflexo do estado juvenil das plantas e menor relação colmo folha nessa situação. Percebe-se que na média das 10 espécies não houve variação no teor de N para a 1^a, 2^a e 3^a épocas

(próximo a 20) enquanto que para a semeadura de fevereiro e março (4^a e 5^a época) os valores são mais elevados.

Tabela 4. Teor de N em tecido vegetal de plantas de cobertura da safra 2015/2016 e disponibilização total de N em relação a produção de MS.

Época de semeadura	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Espécies	Teor de N da matéria seca (g kg ⁻¹)				
Crotalária juncea	12,9	8,6	12,7	18,5	26,0
Lab lab	23,4	26,6	6,7	26,0	33,5
Mucuna cinza	21,4	26,9	26,2	26,5	37,8
Feijão de porco	28,4	20,2	27,7	28,7	42,6
Guandu arbóreo	19,1	19,6	19,5	28,8	37,3
Guandu anão	24,3	26,4	19,8	28,9	34,4
Crotalária spectabilis	14,1	15,5	21,8	34,0	37,2
Mucuna Preta	21,6	25,1	22,5	26,3	35,6
Mucuna anã	23,1	25,6	26,5	26,8	40,5
Crotalária oroleuca	14,9	10,7	15,8	25,1	43,5
Média	20,3	20,5	19,9	27,0	36,8
Espécies	N das plantas de cobertura na parte aérea (Kg ha ⁻¹)				
Crotalária juncea	130,4	92,3	35,0	48,8	31,8
Lab lab	130,0	143,6	28,2	81,2	30,1
Mucuna cinza	145,7	231,2	155,0	89,1	21,2
Feijão de porco	254,0	249,2	161,5	182,0	47,7
Guandu arbóreo	255,3	255,2	208,6	111,6	23,9
Guandu anão	227,8	227,5	99,8	86,2	13,1
Crotalária spectabilis	101,8	99,2	62,9	50,3	8,2
Mucuna Preta	185,4	251,3	150,6	94,5	31,8
Mucuna anã	208,4	203,9	78,3	62,7	30,1
Crotalária oroleuca	106,5	121,7	52,5	35,2	21,2
Média	174,5	187,5	103,2	84,2	25,9

Fonte: Autores.

O maior teor de N em tecido observado na unidade didática foi de 43,4 g kg⁻¹ pela Crotalária oroleuca semeada em março, enquanto essa mesma espécie semeada em novembro e avaliada em estágio mais avançado de desenvolvimento apresentou 14,9 g kg⁻¹. A Crotalária juncea apresentou os menores teores de N de tecido em todas as épocas de semeadura devido a maior quantidade de colmo e poucas folhas que são características dessa espécie, exceto para a terceira época, em que o lab lab apresentou o menor valor, cerca de 6,7 g kg⁻¹, enquanto que os valores foram de cerca de 12,9, 8,6, 12,8, 18,5 e 26 g kg⁻¹, respectivamente para todas as épocas. Em estudo conduzido por (Cieslik, 2014), observou-se a elevado teor de N no tecido vegetal de feijão de porco, 32 g de N por kg de tecido,

apresentando valor similar a primeira época de semeadura no presente trabalho, onde a leguminosa apresentou teor de N de 28,4 g kg⁻¹.

Quando relacionamos a produção de MS e o teor de N do tecido vegetal, podemos observar o maior fornecimento de N pela palhada na maior produção de biomassa. E esse é o resultado que nos interessa por conta de definir o potencial de fornecimento de N ao solo. O guandu arbóreo e o feijão de porco se destacam por possuírem capacidade de disponibilizar, via palhada, cerca de 250 kg ha⁻¹ de N ao sistema produtivo, sendo interessante para a cultura sucessora, principalmente a gramíneas. Cieslik (2014) observou maior disponibilidade de N no sistema pelo feijão de porco, com disponibilização de N de cerca de 151 e 306 Kg ha⁻¹ para as safras 2012 e 2013, respectivamente, para sistema sem utilização de adubação química para as plantas de cobertura e para cultura sucessora, milho.

Já o fornecimento de N no sistema é reduzido nas últimas épocas, especificamente devido à baixa produção de MS que associado, para a última época, com a maior concentração de N em tecido vegetal de plantas, ainda assim resulta em menor N acumulado nos tecidos vegetais. O aporte médio da 1ª época de semeadura fica em 174 kg ha⁻¹ que corresponde a adubação usual de N para a cultura do milho na região. Apesar da redução do aporte de MS na média das culturas a 4ª época (fevereiro) ainda possui um potencial elevado de disponibilidade de N para a cultura subsequente pois representa 50% da dose recomendada para atingir produtividades de milho superiores a 9 Mg ha⁻¹ na região Sudoeste do Paraná.

3.3 Teor de N no solo

Na camada de 0,00-0,05 os teores médios de N no solo das áreas conduzidas com crotalária juncea, lab lab, mucunã anã e feijão de porco, variaram de 2,80 e 2,38 g kg⁻¹ de N (Tabela 5). Em estudo realizado por Cavalcante et al., (2012), no qual avaliou-se o teor de N na parte aérea de plantas de cobertura estivais, dentre as com maior teor de N encontram-se a crotalária juncea, o lab lab e o feijão de porco, observando valores de 22, 30,2 e 22,2 g Kg⁻¹, respectivamente, demonstrando a eficiência das espécies na fixação biológica de N e posterior liberação pela decomposição da palhada.

Os maiores teores de N no solo, de forma geral, se concentraram na camada de 0,00-0,05 m de profundidade do solo, isso devido à utilização de semeadura direta, onde ocorre à concentração da matéria orgânica (MO) na superfície do solo, sendo a principal fonte de N orgânico no solo a própria decomposição da MO (ROS, 1993). Esse comportamento ocorre para todas as espécies, em exceção para a área conduzida com crotalária oroleuca, que apresentou o menor teor na camada superficial (1,76 g kg⁻¹) e o maior teor médio na camada

0,05-0,10 m de profundidade (2,34 g kg⁻¹), associada possivelmente pela baixa adição de MS na área ao longo dos anos, quando comparada com as demais espécies.

Tabela 5. Teor de nitrogênio no solo (g kg⁻¹), após 5 anos de condução do experimento, nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade do solo.

Espécies/ Época	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Média
0,0-0,05 m						
Crotalária juncea	2,73	2,45	2,87	2,87	3,08	2,80
Lab lab	2,45	2,59	2,03	3,15	2,80	2,60
Mucuna cinza	2,45	1,47	2,03	2,17	2,94	2,21
Feijão de porco	2,45	1,89	1,89	2,31	3,36	2,38
Guandu arbóreo	1,89	2,31	1,61	2,03	2,52	2,07
Guandu anão	1,61	2,45	2,31	2,31	2,52	2,24
Crotalária spectabilis	2,03	1,47	2,31	2,31	1,54	1,93
Mucuna Preta	2,17	2,17	2,31	2,66	1,12	2,09
Mucuna anã	2,59	2,17	2,31	3,08	1,96	2,42
Crotalária ocroleuca	1,05	1,75	1,47	2,87	1,68	1,76
Média	2.1	2.1	2.1	2.6	2.4	
0,05-0,10 m						
Crotalária juncea	2,17	1,61	1,05	2,03	2,10	1,79
Lab lab	1,75	1,89	1,47	2,17	1,26	1,71
Mucuna cinza	1,47	2,87	1,05	2,17	1,96	1,90
Feijão de porco	1,47	1,33	1,05	1,19	1,12	1,23
Guandu arbóreo	2,03	1,89	1,33	1,33	1,82	1,68
Guandu anão	1,47	1,75	1,19	1,19	1,12	1,34
Crotalária spectabilis	1,33	1,75	2,03	1,61	0,98	1,54
Mucuna Preta	2,03	2,17	1,89	1,26	1,96	1,86
Mucuna anã	1,33	2,03	1,75	3,36	0,70	1,83
Crotalária ocroleuca	2,17	1,61	3,29	3,22	1,40	2,34
Média	1.7	1.9	1.6	2.0	1.4	
0,10-0,20 m						
Crotalária juncea	2,03	1,05	1,61	1,89	1,68	1,65
Lab lab	1,47	1,33	1,33	1,61	1,54	1,46
Mucuna cinza	1,05	2,03	1,19	0,77	1,54	1,32
Feijão de porco	1,61	1,47	0,63	1,47	0,98	1,23
Guandu arbóreo	1,75	1,61	0,91	0,91	0,70	1,18
Guandu anão	0,91	1,47	1,61	1,05	0,56	1,12
Crotalária spectabilis	1,33	1,19	0,91	1,75	1,26	1,29
Mucuna Preta	1,61	1,19	1,89	1,40	2,66	1,75
Mucuna anã	1,75	1,89	1,89	3,08	0,98	1,92
Crotalária ocroleuca	1,33	1,47	1,47	2,10	1,96	1,67
Média	1.5	1.5	1.3	1.6	1.4	

Fonte: Autores.

Em relação às épocas de semeadura, pode-se observar menores variações no comportamento de teores de N do solo pelas plantas utilizadas e maior efeito nas

profundidades avaliadas, variando na média geral de 2,3 na superfície para 1,5 na camada de 0,10-0,20 m. Para todas as camadas os maiores valores são observados na 4ª época (fevereiro) correspondente á um período que pode ser implementado culturas de cobertura pois já foram colhidas as culturas comerciais. No entanto, é importante analisar demais parâmetros para indicação de época ideal para semeadura das plantas de cobertura do solo.

3.4 Densidade do solo

Os maiores valores absolutos de Ds do solo (Tabela 6), foram encontrados na camada 0,05-0,10 m, nos tratamentos de mucuna cinza e mucuna anã, ambas apresentando 1,30 Mg m⁻³ de Ds. A mucuna cinza também apresentou o maior valor médio de Ds de 1,23 Mg m⁻³ na mesma camada de solo.

Tabela 6. Densidade do solo (Ds) (Mg m⁻³) após 5 anos de condução do experimento, nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade do solo.

Espécies/ Época	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Média
0-5 cm						
Crotalária juncea	1,09	1,17	1,24	1,06	1,20	1,15
Lab lab	0,96	1,11	1,18	1,21	1,30	1,15
Mucuna cinza	1,12	1,36	1,11	1,12	1,17	1,18
Feijão de porco	1,15	1,07	1,03	0,94	0,93	1,02
Guandu arbóreo	1,21	1,13	1,04	1,04	1,15	1,11
Guandu anão	1,08	1,15	1,2	1,12	1,24	1,16
Crotalária spectabilis	1,22	1,17	1,27	1,11	1,10	1,17
Mucuna Preta	1,2	1,22	1,00	1,2	1,23	1,17
Mucuna anã	1,08	1,16	1,18	1,18	0,98	1,12
Crotalária oroleuca	1,06	1,07	1,15	1,06	1,13	1,09
5-10 cm						
Crotalária juncea	1,22	1,06	1,25	1,19	1,26	1,19
Lab lab	1,11	1,20	1,14	1,19	1,17	1,18
Mucuna cinza	1,25	1,24	1,16	1,30	1,21	1,23
Feijão de porco	1,21	1,18	1,21	1,16	1,17	1,19
Guandu arbóreo	1,24	1,23	1,13	1,09	1,20	1,18
Guandu anão	1,16	1,15	1,25	1,17	1,27	1,20
Crotalária spectabilis	1,17	1,12	1,13	1,21	1,18	1,16
Mucuna Preta	1,08	1,19	1,22	1,20	1,24	1,18
Mucuna anã	1,16	1,10	1,22	1,30	1,05	1,16
Crotalária oroleuca	1,11	1,09	1,16	1,16	1,16	1,14
10-20 cm						
Crotalária juncea	1,22	1,15	1,24	1,16	1,22	1,20
Lab lab	1,18	1,21	1,15	1,18	1,14	1,17
Mucuna cinza	1,25	1,20	1,23	1,23	1,14	1,21

Feijão de porco	1,18	1,19	1,14	1,18	1,09	1,16
Guandu arbóreo	1,32	1,16	1,13	1,09	1,24	1,19
Guandu anão	1,21	1,13	1,20	1,23	1,23	1,20
Crotalária spectabilis	1,14	1,24	1,24	1,19	1,23	1,21
Mucuna Preta	1,09	1,19	1,11	1,15	1,23	1,15
Mucuna anã	1,15	1,15	1,20	1,11	1,09	1,14
Crotalária oroleuca	0,98	1,10	1,17	1,18	1,14	1,11

Fonte: Autores.

Segundo Reichert et al. (2003), valores de Ds inferiores a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, em solos argilosos, não apresentam restrição para desenvolvimento radicular de culturas agrícolas, sendo que todos os tratamentos com espécies de cobertura estivais apresentaram valores inferiores ao considerado crítico para a Ds.

Valores inferiores a 1 foram encontrados na camada 0-5 cm, nos tratamentos de lab lab, na primeira época de semeadura e para o feijão de porco na última época de semeadura, e na camada 10-20 cm para o tratamento de crotalária oroleuca semeada na primeira época, com valores de Ds de 0,96, 0,93 e 0,98 Mg m^{-3} , respectivamente. O menor valor médio foi de $1,02 \text{ Mg m}^{-3}$, encontrado no tratamento com feijão de porco na camada 0-5 cm de solo. Já em estudo realizado em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, Rossetti et al. (2012) obtiveram para a camada 0,0-0,05 m Ds inferior em área conduzida com crotalária juncea ($1,39 \text{ Mg ha}^{-1}$), quando comparada com áreas conduzidas com mucuna preta ($1,52 \text{ Mg ha}^{-1}$) e lab lab ($1,58 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Entre as espécies, a crotalária oroleuca se destacou por apresentar o segundo menor valor médio de Ds na camada 0,0-0,05 m, e o menor valor na camada 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, com valores de 1,09, 1,14 e $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente para cada camada.

Em estudo realizado em um Argissolo Vermelho, no Rio Grande do Sul, observou-se desenvolvimento sem restrições da crotalária juncea, guandu anão, feijão de porco e mucuna cinza em valores de Ds até $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, demonstrando assim a rusticidade de plantas de cobertura de verão em relação a áreas compactadas (Reinert et al., 2008).

Dessa forma percebe-se que o uso das espécies estivais como coberturas do solo mantiveram os valores de Ds dentro do esperado e possibilitaram aporte de N ao sistema que podem resultar em aumento da produtividade da cultura comercial produzida.

4. Considerações Finais

As plantas de cobertura obtiveram maior produção de MS quando semeadas em novembro e em dezembro, sendo reduzidas para menos de 10% do potencial das espécies quando semeadas em março.

Os maiores teores de N foram encontrados na camada 0,00-0,05 m de profundidade, devido ao acúmulo do material vegetal em superfície, exceto para a crotalária ocreleuca que apresentou maior teor médio de N na camada de 0,05-0,10 m.

Os maiores teores de N no tecido foram encontrados nas plantas semeadas na última época devido à baixa produção de biomassa mais tardia, o que resultou que o acúmulo de N fosse também menor nessa época e dessa forma a semeadura precoce seria recomendada para aumentar a disponibilidade de N ao sistema.

Todos os valores de Ds foram inferiores ao valor considerado restritivo ao crescimento radicular de culturas, sendo os valores médios de Ds variaram de 1,02 a 1,23 Mg m⁻³.

A semeadura de janeiro e fevereiro propiciam uma alternativa interessante por aliarem produção adequada de MS e aporte de N.

Agradecimentos

A Capes, CNPq, Fundação Araucária e a UTFPR pela concessão de bolsas de estudos e recursos e estrutura para realização do experimento.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Borges, W. L. B., Freitas, R. S. de, Mateus, G. P., Sá, M. E. de, & Alves, M. C. (2015). Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. *Ciencia Rural*, 45, 799–805. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131018>

Cabreira, M. A. F. (2015). *Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos*.

Calonego, J. C., Gil, F. C., Rocco, V. F., dos Santos, E. A., & Augustinho, E. (2012). Persistence and nutrient release from maize, brachiaria and lablab straw. *Bioscience Journal*, 28(5), 770–781. Recuperado de <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84869030319&partnerID=40&md5=6d3d60380a7f91b803a1477c89562856>

Cassol, C. (2019). *Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fonte de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Cavalcante, V. S., Santos, V. R., Santos Neto, A. L. dos, Santos, M. A. L. dos, Santos, C. G. dos, & Costa, L. C. (2012). Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 521–528. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662012000500008>

Cieslik, L. F. (2014). *Leguminosas De Verão Como Cobertura Do Solo Para Produção De Milho Em Sistema De Plantio Direto*.

Curi, N. (1993). *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

da Silva, M. F., de Oliveira, P. J., Xavier, G. R., Rumjanek, N. G., & Reis, V. M. (2009). Inoculants containing polymers and endophytic bacteria for the sugarcane crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(11), 1437–1443. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2009001100010>

Dabin, Z., Pengwei, Y., Na, Z., Changwei, Y., Weidong, C., & Yajun, G. (2016). Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *European Journal of Agronomy*, 72, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.012>

De Rossetti, K. V., Andrioli, I., Centurion, J. F., Matias, S. S. R., & Nóbrega, J. C. A. (2012). Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(3), 427–433. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1681>

Dias, C. (2014). *Simplificação do Plantio Direto reduz eficiência da lavoura*. Recuperado de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1909275/simplificacao-do-plantio-direto-reduz-eficiencia-da-lavoura>

Embrapa. (1999). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*.

Leal, A. J. F., Lazarini, E., Rodrigues, L. R., & Marcandalli, L. H. (2013). Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 37(2), 491–501. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200020>

Nolla, A., Jucksh, I., Castaldo, J. H., Alvarenga, R. C., da Costa, L. M., Damy, C. R. da S., & Neto, L. V. da M. (2019). Soil coverage, phytomass production and, nutrient accumulation in maize and legumes intercropping system. *Australian Journal of Crop Science*, 13(3), 328–334. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p633>

Ramos, D. D., Romero, L. H. M., Ajalla, A. C. A., Carnevali, T. de O., Inocêncio, H. J., & Santos, F. A. dos. (2020). *Desempenho de Schinus terebinthifolia em sucessão a plantas de cobertura*. 9, 1–11. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Reichert, J. M., Reinert, D. J., & Braida, J. A. (2003). Qualidade Dos Solos E Sustentabilidade De Sistemas Agrícolas Conceitos e abrangência. *Ciência & Ambiente*, 27, 29–48.

Reinert, D. J., Albuquerque, J. A., Reichert, J. M., Aita, C., & Andrada, M. M. C. (2008). Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 32(5), 1805–1816. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000500002>

ROS, C. O. da. (1993). *Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto*.

Teodoro, R. B., de Oliveira, F. L., da Silva, D. M. N., Fávero, C., & Quaresma, M. A. L.

(2011). Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 35(2), 635–643. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200032>

Vieira, F. M. C., Machado, J. M. C., De Souza Vismara, E., & Possenti, J. C. (2018). Probability distributions of frequency analysis of rainfall at the southwest region of Paraná State, Brazil. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 17(2), 260–266. <https://doi.org/10.5965/223811711722018260>

Ziech, A. R. D., Conceição, P. C., Heberle, C. T., Cassol, C., & Balim, N. M. (2016). Produtividade e Componentes de Rendimento de Milho em Função de Plantas de Cobertura e Doses de Nitrogênio. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(2), 195–201. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p195-201>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Maiara Karini Haskel - 25%

Paulo Cesar Conceição- 25%

Cidimar Cassol - 20%

Joseane Aparecida Derengoski - 10%

Dieyson Fernando Peruzzolo - 10%

Ezequiel Dal Bosco - 10%