

Morfogênese e rendimento forrageiro da aveia branca (*Avena sativa*) sob fontes e níveis de fósforo

Morphogenesis and forage yield of white oats (*Avena sativa*) under phosphorus sources and levels

Morfogenia y rendimiento forrajero de la avena blanca (*Avena sativa*) bajo fuentes y niveles de fósforo

Recebido: 14/07/2022 | Revisado: 26/07/2022 | Aceito: 29/07/2022 | Publicado: 07/08/2022

Luan Carlos de Almeida Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9620-876X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: luanpereirauffs@gmail.com

Juliano Cesar Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3950-0240>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: juliano.dias@uffs.edu.br

Henrique von Hertwig Bittencourt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1324-383X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: henrique.bittencourt@uffs.edu.br

Resumo

Objetivou-se avaliar a morfologia e o rendimento forrageiro da aveia branca cultivada sob diferentes doses e fontes de adubação fosfatada. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 4x2, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro doses de fósforo: 0, 35, 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e duas fontes de fósforo: superfosfato simples (18% de P₂O₅) e fosfato natural reativo (33% de P₂O₅). Observou-se efeito (p<0,05) da adubação fosfatada na produção de matéria seca (MS), com a aplicação de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ da fonte superfosfato simples apresentando o maior rendimento forrageiro. A produção de MS em função da adubação fosfatada por superfosfato simples foi ajustada por análise de regressão ao modelo quadrático ($Y = 1,091 + 0,0055 * X + 9,537e-0,5 * X^2$, p = 0,0253, R² = 0,99), sugerindo que quanto mais fósforo for disponibilizado a planta maior será sua taxa de acúmulo de MS. A produção de MS em função da adubação fosfatada com fosfato natural foi ajustada ao modelo linear ($Y = 0,00413 * X + 1,107$, p = 0,0127, R² = 0,97), sugerindo aumento constante na produção de MS com aumento na disponibilidade de P₂O₅ para a aveia branca. O superfosfato simples foi a fonte de fósforo de maior eficiência, garantindo maior produção de matéria seca das plantas de aveia. Independente da fonte de fósforo, não se atingiu o ponto de inflexão da produção forrageira da aveia branca com até 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave: Adubação fosfatada; Forrageira de inverno; Fosfato natural reativo; Superfosfato simples.

Abstract

The objective was to evaluate the morphology and forage yield of white oat cultivated under different doses and sources of phosphate fertilization. The experimental design used was completely randomized in a 4x2 factorial scheme, with five replications. The treatments were four doses of phosphorus: 0, 35, 70 and 140 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and two sources of phosphorus: simple superphosphate (18% of P₂O₅) and reactive natural phosphate (33% of P₂O₅). There was an effect (p<0.05) of phosphate fertilization on dry matter (DM) production, with the application of 140 kg ha⁻¹ of P₂O₅ from the single superphosphate source, showing the highest forage yield. DM production as a function of phosphate fertilization by simple superphosphate was adjusted by regression analysis to the quadratic model ($Y = 1.091 + 0.0055 * X + 9.537e-0.5 * X^2$, p = 0.0253, R² = 0.99), suggesting that the more phosphorus available to the plant, the greater its DM accumulation rate. DM production as a function of phosphate fertilization with natural phosphate was adjusted to the linear model ($Y = 0.00413 * X + 1.107$, p = 0.0127, R² = 0.97), suggesting a constant increase in DM production with an increase on the availability of P₂O₅ for white oat. Single superphosphate was the most efficient source of phosphorus, ensuring greater production of dry matter in oat plants. Regardless of the phosphorus source, the inflection point of forage production of white oat with up to 140 kg ha⁻¹ of P₂O₅ was not reached.

Keywords: Phosphate fertilization; Winter forage; Reactive natural phosphate; Simple superphosphate.

Resumen

El objetivo fue evaluar la morfología y rendimiento forrajero de avena blanca cultivada bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización fosfatada. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar en un esquema factorial 4x2, con cinco repeticiones. Los tratamientos fueron cuatro dosis de fósforo: 0, 35, 70 y 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y dos fuentes de fósforo: superfosfato simple (18% de P₂O₅) y fosfato natural reactivo (33% de P₂O₅). Hubo efecto (p<0,05) de la fertilización fosfatada sobre la producción de materia seca (MS), con la aplicación de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de la fuente superfosfato simple mostrando el mayor rendimiento de forraje. La producción de MS en función de la fertilización fosfatada por superfosfato simple se ajustó mediante análisis de regresión al modelo cuadrático ($Y = 1,091 + 0,0055 * X + 9,537e-0,5 * X^2$, p = 0,0253, R² = 0,99), sugiriendo que la cuanto más fósforo disponible para la planta, mayor será su tasa de acumulación de MS. La producción de MS en función de la fertilización fosfatada con fosfato natural se ajustó al modelo lineal ($Y = 0,00413 * X + 1,107$, p = 0,0127, R² = 0,97), sugiriendo un aumento constante en la producción de MS con un incremento en la disponibilidad de P₂O₅ para avena blanca. El superfosfato simple fue la fuente más eficiente de fósforo, asegurando una mayor producción de materia seca en las plantas de avena. Independientemente de la fuente de fósforo, no se alcanzó el punto de inflexión de producción de forraje de avena blanca con hasta 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palabras clave: Fertilización fosfatada; Forraje de invierno; Fosfato natural reactivo; Superfosfato simple.

1. Introdução

A pecuária bovina brasileira conta com 218,1 milhões de cabeças (IBGE, 2020), sendo ela dependente da produção de forragens. Porém, mais especificamente na região Sul, o período de outono/inverno é um período crítico para a alimentação dos animais, devido à baixa produção das forrageiras de verão (Canto et al., 2001).

Para suprir a deficiência alimentar a qual o rebanho bovino é exposto durante o inverno, são utilizadas pastagens anuais desta estação, que se mostram ótima opção para completar este déficit forrageiro. Surge então como alternativa a aveia, que é uma gramínea de inverno que pode servir para pastejo, conservação em forma de feno ou silagem, na forma de grãos úmidos ou como duplo-propósito, quando é utilizada em pastejo até meados de inverno e então diferida para produção de silagem ou grãos (Fontaneli et al., 2009).

Através do intenso melhoramento genético e a variabilidade genética existente, atualmente a aveia é um cereal adaptado a diferentes regiões edafoclimáticas sendo utilizada em todos os continentes. O potencial de produção de uma planta forrageira é determinado geneticamente, porém, para que esse potencial seja alcançado, condições adequadas do meio (temperatura, umidade, luminosidade, disponibilidade de nutrientes) e manejo devem ser observados.

Dentre essas condições, nas regiões tropicais, a baixa disponibilidade de nutrientes é, seguramente, um dos principais fatores que interferem na produtividade e na qualidade da forragem (Beira et al., 2021). Entretanto, em muitas situações a aveia é cultivada com adubação insuficiente ou não recebe adubação, tendo seu desenvolvimento baseado no residual de outras culturas. Esta forma de manejo limita o desenvolvimento da forrageira, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P), visto que o P exerce papel vital no metabolismo dos vegetais.

Existem normalmente nos solos agrícolas quantidades de fósforo que variam de 200 a 3.000 kg ha⁻¹ (Novais e Smyth, 1999). Desse fósforo total apenas uma pequena parcela tem condição de ser prontamente assimilada pelos vegetais encontrando-se solubilizada no solo e, à medida que vai sendo absorvido pelo vegetal, vai sendo repostado a partir de uma fração do fósforo total denominada fósforo lábil (Gatiboni et al., 2007).

Esse comportamento é consequência de sua habilidade em formar compostos de alta energia de ligação com os colóides, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida. Assim, mesmo que os teores totais do elemento no solo sejam altos em relação aos necessários para as plantas, apenas uma pequena fração deste tem baixa energia de ligação que possibilita sua desorção e disponibilidade às plantas (Gatiboni et al., 2007; Santos et al., 2008).

O P desempenha nas plantas diversas funções como indução do aumento do comprimento do sistema radicular com raízes mais finas, que são mais eficientes na absorção de nutrientes do solo (Rosolem e Marcello, 1998); função estrutural fazendo parte das moléculas de ATP e NADPH, além de participar de diversos processos metabólicos, especialmente no

processo de transferência e de armazenamento de energia (Taiz et al., 2017).

Levando em consideração a importância da aveia branca como pastagem de inverno e a sua exigência em qualidade do solo para seu cultivo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes fontes e níveis de fósforo nas características morfológicas e no rendimento forrageiro desta cultura.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade da Fronteira Sul - campus Laranjeiras do Sul, localizada a 25°26'40.94" S e 52°26'16.63" W, altitude de 803 m e clima do tipo Cfb (subtropical ou mesotérmico), segundo classificação de Köppen. A espécie utilizada foi a aveia branca (*Avena sativa*) cv. IPR Esmeralda, cultivada entre os meses de junho e outubro.

O solo utilizado no experimento foi coletado em camada superficial (0,00 – 0,20 m) de área agrícola, e classificado como Latossolo Vermelho distrófico apresentando textura média. Após a coleta o solo foi destorroado, passado em peneira de 4,0 milímetros (mm) e misturado a areia de construção civil na proporção de 2:1 sendo, posteriormente, retirado uma amostra e encaminhado para análise (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Análise do solo										
pH	M.O.	P Mehlich	Complexo Sortivo							
			Al	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC pH 7,0	Bases V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	***** (cmol dm ⁻³) *****							
4,5	42,5	2,6	0,3	6,71	0,18	2,6	2,2	4,95	11,66	42,5

OBS: M.O. = matéria orgânica. Fonte: Dados da pesquisa.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 4x2, com cinco repetições, sendo quatro doses de fósforo: 0, 35, 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, correspondendo a 0, 50, 100 e 200% da dose de manutenção recomendada para o estado do Paraná (Escosteguy et al., 2014); e duas fontes de fósforo: superfosfato simples (18% de P₂O₅) e fosfato natural reativo (33% de P₂O₅).

Os vasos utilizados apresentavam capacidade para 10 litros, 24,5 cm de diâmetro na borda superior e furos para drenagem, sendo dispostos em bancadas de 1,20 m de altura e rotacionados semanalmente.

A temperatura máxima da casa de vegetação foi controlada entre 22 e 25°C, não havendo controle para temperatura mínima. A irrigação era feita com acionamento automático dos aspersores por trinta segundos a cada duas horas, totalizando 1,42 mm por dia, com irrigação adicional de 200 ml vaso⁻¹ semanalmente ou quinzenalmente, caso o solo apresentasse aspecto seco.

A adubação de base foi feita com 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) ou (0,33 g vaso⁻¹). Para a adubação nitrogenada utilizou-se ureia na dose de 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio, dividida em três aplicações. A primeira aplicação ocorreu 15 dias após a emergência (DAE); a segunda aplicação ocorreu com 42 DAE e a terceira aplicação ocorreu com 70 DAE.

A semeadura da aveia branca foi realizada utilizando-se 16 sementes por vaso e realizada a 3,0 cm de profundidade. A emergência das plântulas ocorreu plenamente no oitavo dia após a semeadura. O desbaste foi realizado 10 DAE, deixando-se cinco plantas uniformes por vaso. Os cortes ocorreram a 5,0 cm do solo, sendo o primeiro realizado 41 DAE, o segundo 69 DAE e o terceiro 101 DAE. Anteriormente a realização de cada corte coletou-se a altura das plantas utilizando régua a partir do nível do solo.

Após o corte a parte aérea foi separada em folha e colmo mais bainha, e em seguida acondicionadas em sacos de papel identificados e levadas para secagem em estufa a 65°C por 48 horas. Após esse período as amostras foram novamente pesadas para obtenção de matéria seca (MS) (g vaso⁻¹).

Após o terceiro corte os vasos foram tombados e o solo cuidadosamente retirado com auxílio de pá de jardinagem; os mesmos foram desmanchados com água para retirada das raízes, que foram lavadas, medidas e alocadas em sacos de papel para determinação de MS.

Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade (Sampaio, 2002).

3. Resultados e Discussão

Verificou-se no primeiro corte médias de altura das plantas (Tabela 2) sem diferenças entre os tratamentos ($p > 0,05$), semelhante ao descrito por Oliveira et al. (2004) que realizaram o primeiro corte aos 30 dias e não observaram diferenças entre as alturas da aveia preta com a utilização de 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato triplo. Harger et al. (2007) avaliaram o crescimento inicial do milho em função de diferentes doses de fósforo, não observando diferença entre os tratamentos.

Tabela 2. Altura de aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) sob diferentes fontes e doses de adubação fosfatada (média \pm erro padrão).

Tratamento		Altura da planta (cm)		
Fonte	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Corte 1	Corte 2	Corte 3
SFS	0	28,40 \pm 0,51 ^b	30,40 \pm 1,75 ^d	46,00 \pm 1,30 ^c
	35	32,60 \pm 2,42 ^{ab}	37,00 \pm 2,05 ^{bc}	50,20 \pm 3,84 ^{bc}
	70	33,40 \pm 1,53 ^{ab}	41,40 \pm 2,60 ^{ab}	58,00 \pm 2,02 ^{ab}
	140	36,00 \pm 2,75 ^b	45,00 \pm 0,70 ^a	65,40 \pm 2,65 ^a
FNR	35	28,80 \pm 0,97 ^b	32,60 \pm 1,88 ^{cd}	50,40 \pm 2,27 ^{bc}
	70	29,80 \pm 0,66 ^b	29,00 \pm 2,36 ^d	53,40 \pm 2,20 ^{bc}
	140	30,60 \pm 0,67 ^b	34,20 \pm 2,15 ^{cd}	55,40 \pm 3,60 ^b

OBS: Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo. Fonte: Dados da pesquisa.

No segundo corte não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) entre as alturas das plantas para os tratamentos com fosfato natural reativo e, destes, com o grupo controle (0,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅); já para os tratamentos com superfosfato simples, verificou-se maior altura das plantas ($p < 0,05$) no momento do corte em todos os tratamentos que receberam adubação fosfatada em relação ao controle. Os tratamentos com 140 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples apresentaram plantas com maiores alturas no momento do corte ($p < 0,05$) quando comparadas a todos os tratamentos com fosfato natural reativo.

Ao terceiro corte o tratamento com 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples apresentou altura de planta superior ($p < 0,05$) ao controle, aos tratamentos com fosfato natural reativo e ao grupo com menor dose de superfosfato simples (35 kg ha⁻¹ de P₂O₅), apresentando altura de planta semelhante ($p > 0,05$) ao tratamento com 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples. Não foram observadas diferenças ($p < 0,05$) nas alturas das plantas no terceiro corte entre os tratamentos com fosfato natural reativo, com apenas o grupo de maior dose utilizada (140 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentando altura superior ($p < 0,05$) ao tratamento sem adubação fosfatada.

Os resultados obtidos corroboram com os observados por Dias et al. (2012), que verificaram que a adubação com

fosfato natural reativo de Argélia, superfosfato simples e associação de ambos incrementou a altura do capim marandu, sugerindo que a maior produção de matéria seca de raiz na presença de adubação fosfatada refletiu no crescimento e na altura das plantas ocasionado por uma maior absorção de nutrientes. Oliveira et al. (2000) observaram resultados semelhantes ao estudar o efeito da adubação fosfatada na produtividade do capim tanzânia.

Na Tabela 3 encontram-se as médias e os erros-padrão da produção de MS de aveia branca cultivada sob diferentes fontes e doses de adubação fosfatada. A produção total de MS foi de $1,05 \pm 0,05$; $1,71 \pm 0,32$; $2,51 \pm 0,45$ e $6,02 \pm 1,18$ g vaso⁻¹ para os tratamentos com 0; 35; 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples e $1,39 \pm 0,36$; $1,52 \pm 0,28$ e $1,93 \pm 0,45$ g vaso⁻¹ para os tratamentos com 35; 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por fosfato natural reativo, respectivamente.

Tabela 3. Produção de matéria seca de aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) sob diferentes doses e fontes de adubação fosfatada (média \pm erro padrão).

Tratamento		Produção de Matéria Seca (g vaso ⁻¹)			
Fonte	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total
SFS	0	$0,29 \pm 0,05^c$	$0,38 \pm 0,04^b$	$0,37 \pm 0,06^b$	$1,05 \pm 0,05^c$
	35	$0,50 \pm 0,08^c$	$0,50 \pm 0,08^b$	$0,69 \pm 0,16^b$	$1,71 \pm 0,32^{bc}$
	70	$1,10 \pm 0,12^b$	$0,86 \pm 0,19^b$	$0,54 \pm 0,10^b$	$2,51 \pm 0,45^b$
	140	$1,79 \pm 0,09^a$	$1,68 \pm 0,33^a$	$2,54 \pm 0,55^a$	$6,02 \pm 1,18^a$
FNR	35	$0,36 \pm 0,08^c$	$0,36 \pm 0,06^b$	$0,67 \pm 0,23^b$	$1,39 \pm 0,36^{bc}$
	70	$0,49 \pm 0,07^c$	$0,40 \pm 0,05^b$	$0,62 \pm 0,16^b$	$1,52 \pm 0,28^{bc}$
	140	$0,49 \pm 0,10^c$	$0,48 \pm 0,06^b$	$0,95 \pm 0,27^b$	$1,93 \pm 0,45^{bc}$

OBS: Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo. Fonte: Dados da pesquisa.

Observou-se efeito ($p < 0,05$) da adubação fosfatada na produção de MS da aveia branca, com a aplicação de superfosfato simples na dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentando produção por corte e acumulada maior que os demais tratamentos. Essa diferença ocorreu, possivelmente, pelo fato de o tratamento apresentar concentração de fósforo no solo superior ao nível crítico para cereais de inverno que é de 9 mg dm⁻³ de P, além da maior solubilidade que fosfato natural reativo (Fontoura et al., 2010). A utilização de superfosfato simples na dose de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou produção de MS total superior ($p < 0,05$) ao controle (0,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅), porém sem diferir dos demais tratamentos. Para Oliveira et al. (2000) a adubação com fósforo proporcionou maior produção para a maioria das características avaliadas.

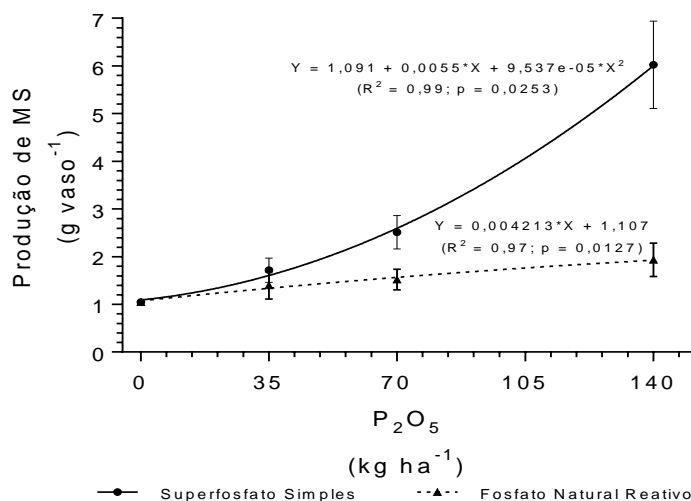
Os tratamentos com 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com SFS e 35; 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com FNR não diferiram do tratamento controle. Oliveira et al. (2004) relataram que a adubação fosfatada não influenciou a concentração de matéria seca do capim-de-raiz; resultado semelhante ao apresentado por Dias et al. (2012), que observaram que a aplicação de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não influenciou a produção de matéria seca da parte aérea do capim marandu.

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento vegetal e, concentração maior que a recomendada, de fonte prontamente solúvel, proporcionou o maior desenvolvimento da aveia, verificados através de maiores altura e acúmulo de MS. Devido ao fato de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com SFS ser superior aos demais tratamentos, pode-se afirmar que a aveia branca responde a disponibilidade de fósforo maior que a atualmente recomendada para o estado do Paraná. Costa et al. (1983) constataram que doses crescentes de fósforo determinaram aumento no rendimento de MS dos capins jaraguá e colômbio, sendo que o maior incremento foi obtido com aplicação de 111,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e o rendimento máximo com a dose de 557 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Os tratamentos com fosfato natural reativo não diferiram entre si ($p > 0,05$), mesmo apresentando diferentes disponibilidades de P_2O_5 (35; 70 e 140 $kg\ ha^{-1}$), esse fato se dá provavelmente porque o fosfato natural reativo tem sua liberação mais lenta.

Para verificar a associação entre adubação fosfatada com a produção de MS da aveia branca foram ajustados modelos de regressão em função da fonte e dose de fósforo (Figura 1).

Figura 1. Produção de matéria seca da aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) em função da fonte e dose de fósforo.



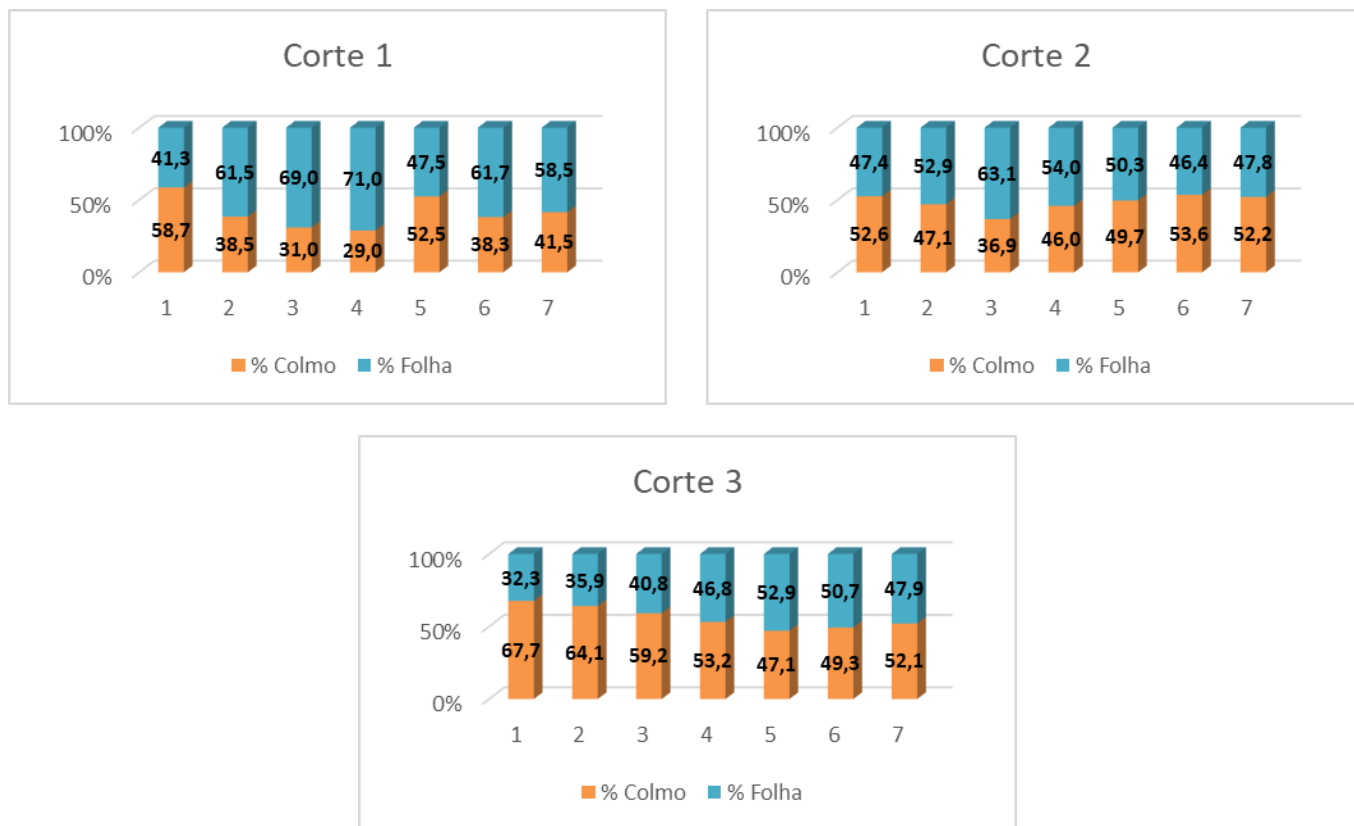
Fonte: Dados da pesquisa.

A produção de MS de aveia branca em função da dose de superfosfato simples foi ajustada ao modelo quadrático, sugerindo que quanto maior a disponibilidade de fósforo, até a dose de 140 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , maior é produção de MS da aveia branca. Já para o fosfato natural reativo foi ajustado o modelo linear, sugerindo aumento constante na produção de MS da aveia branca, com o aumento na disponibilidade de P_2O_5 , até a dose de 140 $kg\ ha^{-1}$. Os dados obtidos reforçam a importância da adubação fosfatada para o rendimento forrageiro da aveia branca e a resposta direta da forrageira a altas disponibilidades de fósforo.

Pode-se constatar que as produções médias de matéria seca foram crescentes e diretamente relacionadas a aplicação de P_2O_5 , independente da fonte utilizada. Porém, as respostas para as fontes testadas foram diferentes, com aveia branca respondendo de forma mais acentuada a utilização do superfosfato simples. O P proporciona maior acúmulo de matéria seca, possivelmente pelo papel do fósforo na fotossíntese e na síntese de proteínas, que, por sua vez, reflete no maior crescimento da planta (David et al., 2008).

Na Figura 2 observa-se as porcentagens de cada componente morfológico na constituição da parte aérea da aveia branca sob diferentes doses e fontes de adubação fosfatada.

Figura 2. Participação dos componentes morfológicos na estrutura da parte aérea da aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) sob diferentes níveis e fontes de adubação fosfatada.



OBS: 1 = 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 2 = 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples; 3 = 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples; 4 = 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples; 5 = 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por fosfato natural reativo; 6 = 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por fosfato natural reativo; 7 = 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por fosfato natural reativo. Fonte: Dados da pesquisa.

Observaram-se diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$) na distribuição de colmo e folha. No primeiro corte os tratamentos com 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFS apresentaram proporção de folha superior ao controle; no segundo corte apenas 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFS apresentou proporção de folha superior ao grupo controle e no terceiro corte os tratamentos 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFS, e 35; 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de FNR apresentaram proporções maiores que o controle, e 35 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de FNR proporções maiores que 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFS. A variabilidade observada nesta característica ao longo do período experimental, além das variações constatadas entre as fontes, doses e cortes (ciclo vegetativo), não permite determinar a influência do fósforo nesta característica. Cecato et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes e concluíram que o fósforo não influenciou no percentual de folha, já que o fósforo desempenha maior influência sobre o perfilhamento e crescimento radicular.

Floss et al. (2007) constataram aumento no percentual de colmos no final do ciclo vegetativo e justificou este fato pela maior alongação da haste que ocorre ao final do ciclo da cultura, os autores verificaram alteração na proporção de colmo na produção total de MS da planta, com aumento de 36% aos 70 DAE para 53% aos 112 DAE.

O número de plantas e componentes morfológicos por vaso da aveia branca cultivada foram influenciados pelas diferentes doses e fontes de adubação fosfatada (Tabela 4). No primeiro corte não se avaliaram plantas vaso⁻¹ e perfilhos planta⁻¹ pelo fato de todos os vasos apresentarem cinco plantas e cada planta apresentar apenas o perfilho principal, não mostrando variabilidade entre os tratamentos.

Tabela 4. Componentes morfológicos da aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) cultivada sob diferentes doses e fontes de adubação fosfatada (média ± erro padrão).

Tratamento		MS colmo (g vaso ⁻¹)	MS folha (g vaso ⁻¹)	Folha:colmo	Planta vaso ⁻¹	Perficho planta ⁻¹
Fonte	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Corte 1				
SFS	0	0,16 ± 0,04 ^c	0,13 ± 0,06 ^c	1,28 ± 0,82 ^a	-	-
	35	0,17 ± 0,02 ^c	0,33 ± 0,08 ^c	2,07 ± 0,65 ^a	-	-
	70	0,35 ± 0,07 ^b	0,74 ± 0,07 ^b	2,46 ± 0,46 ^a	-	-
	140	0,51 ± 0,04 ^a	1,28 ± 0,10 ^a	2,56 ± 0,29 ^a	-	-
FNR	35	0,16 ± 0,02 ^c	0,20 ± 0,09 ^c	1,55 ± 0,89 ^a	-	-
	70	0,17 ± 0,03 ^c	0,32 ± 0,08 ^c	2,30 ± 0,78 ^a	-	-
	140	0,18 ± 0,04 ^c	0,31 ± 0,10 ^c	1,90 ± 0,66 ^a	-	-
Corte 2						
SFS	0	0,21 ± 0,04 ^b	0,17 ± 0,02 ^c	1,02 ± 0,23 ^{ab}	4,40 ± 0,40 ^a	1,72 ± 0,09 ^b
	35	0,24 ± 0,04 ^b	0,27 ± 0,04 ^{bc}	1,27 ± 0,35 ^{ab}	4,60 ± 0,24 ^a	1,62 ± 0,23 ^b
	70	0,33 ± 0,08 ^b	0,53 ± 0,14 ^b	1,78 ± 0,24 ^a	4,40 ± 0,24 ^a	2,01 ± 0,16 ^b
	140	0,74 ± 0,12 ^a	0,94 ± 0,22 ^a	1,24 ± 0,17 ^{ab}	4,60 ± 0,24 ^a	3,34 ± 0,42 ^a
FNR	35	0,17 ± 0,02 ^b	0,18 ± 0,04 ^c	1,03 ± 0,11 ^{ab}	4,20 ± 0,37 ^a	1,69 ± 0,25 ^{ab}
	70	0,20 ± 0,01 ^b	0,19 ± 0,04 ^c	0,93 ± 0,18 ^b	4,00 ± 0,54 ^a	1,81 ± 0,20 ^b
	140	0,24 ± 0,04 ^b	0,23 ± 0,04 ^{bc}	1,06 ± 0,28 ^{ab}	4,60 ± 0,40 ^a	1,93 ± 0,35 ^{ab}
Corte 3						
SFS	0	0,24 ± 0,03 ^b	0,12 ± 0,04 ^b	0,51 ± 0,12 ^c	3,40 ± 0,24 ^{ab}	3,10 ± 0,19 ^b
	35	0,42 ± 0,09 ^b	0,27 ± 0,07 ^b	0,62 ± 0,14 ^{bc}	4,20 ± 0,37 ^a	3,11 ± 0,23 ^b
	70	0,32 ± 0,06 ^b	0,23 ± 0,05 ^b	0,71 ± 0,10 ^{abc}	2,60 ± 0,51 ^b	3,66 ± 0,39 ^b
	140	1,34 ± 0,27 ^a	1,20 ± 0,29 ^a	0,89 ± 0,06 ^{abc}	4,40 ± 0,40 ^a	4,88 ± 0,39 ^a
FNR	35	0,32 ± 0,11 ^b	0,35 ± 0,12 ^b	1,14 ± 0,10 ^a	2,60 ± 0,51 ^b	4,08 ± 0,67 ^{ab}
	70	0,32 ± 0,08 ^b	0,30 ± 0,07 ^b	1,05 ± 0,10 ^{ab}	3,80 ± 0,58 ^{ab}	3,55 ± 0,17 ^b
	140	0,49 ± 0,13 ^b	0,46 ± 0,15 ^b	1,03 ± 0,25 ^{ab}	4,00 ± 0,54 ^{ab}	3,93 ± 0,24 ^{ab}

OBS: Letras diferentes na mesma coluna e por corte diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (p<0,05). MS = matéria seca; SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo. Fonte: Dados da pesquisa.

Para a produção de MS de colmo houve diferença (p<0,05) entre os tratamentos, com 140 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples apresentando, respectivamente, as maiores produções no primeiro corte; fato também constatado para a produção de MS de folha. Nos demais cortes apenas a maior dose de superfosfato simples apresentou produção de MS de colmo superior aos demais tratamentos.

A utilização de superfosfato simples em dosagem superior a recomendada proporcionou maior produção de matéria seca de folhas nos três cortes, característica desejável na produção forrageira destinada a alimentação animal, pela folha apresentar melhor qualidade nutricional que demais componentes morfológicos da planta (Fontaneli et al., 2012). Ainda para a produção de matéria seca da folha, o rendimento proporcionado pelo fosfato natural reativo foi inferior ao superfosfato simples na dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, porém, deve-se destacar que o fosfato natural reativo, um fosfato de mais lenta dissolução no solo, poderá proporcionar menores adubações de manutenção a longo prazo.

Não foi observada diferença entre os tratamentos ($p>0,05$) na relação folha:colmo no primeiro corte, com a maioria dos resultados sendo superiores ao descrito por Floss et al. (2007) aos 70 DAE. No segundo corte todos os tratamentos foram semelhantes ao controle, mostrando que mesmo com a influência do fósforo na produção total de MS, a relação folha:colmo não sofreu alteração. Fontaneli et al. (2012) indicam a relação folha:colmo como característica extremamente importante na produção forrageira, por influenciar o consumo, além de ser indicativo da facilidade com que a planta é selecionada e apreendida pelo animal.

No corte 3 verificou-se que nos tratamentos com fosfato natural reativo (35; 70 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅) a relação folha:colmo foi maior ($p<0,05$) que no controle (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅), independente da dose de P₂O₅ utilizada.

De acordo com Floss et al. (2007) a aveia reduz a relação folha:colmo à medida que se aproxima do final de seu ciclo, fato também verificado neste trabalho. Os mesmos autores constataram uma relação folha:colmo de 0,36 na maturação da aveia branca.

Na avaliação do número de perfilhos planta⁻¹ houve diferença entre os tratamentos, com o tratamento de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples apresentando maior ($p>0,05$) número de perfilhos que os tratamentos com 0; 35; 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por superfosfato simples e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por fosfato natural reativo no primeiro e segundo cortes; 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por SFS, 35 e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por FNR não diferiram entre si em ambos os cortes. Dias et al. (2015) relataram que a fonte superfosfato simples foi mais eficiente na disponibilização de fósforo na fase inicial e na rebrota do capim piatã, por ser mais prontamente solúvel; corroborando Foloni et al. (2008) que afirmaram que as fontes a base de superfosfatos apresentam elevada solubilidade em água, obtendo-se alta eficiência agrônômica a curto prazo.

A ausência ou a ineficiência do adubo fosfatado pode levar a planta a utilizar o fósforo em solução somente para sua manutenção, ocasionando paralisação de seu desenvolvimento, evidenciando sua importância no crescimento radicular, perfilhamento e na persistência das pastagens (Cecato et al., 2008)

Para Cecato et al. (2008) as plantas apresentam efeito de compensação na emissão de perfilhos, aumentando o peso médio dos perfilhos quando ocorre redução na densidade, e que plantas adubadas com superfosfato simples apresentam maior densidade de perfilhos.

Prado et al. (2006) constataram que a aplicação de fósforo incrementou significativamente a altura e o número de perfilhos, indicando que a dose de fósforo que proporcionou maiores resultados para ambas as características foi de 180 a 220 mg dm⁻³. Bonfim-Silva et al. (2012) verificaram resultados favoráveis no perfilhamento do capim marandu com a utilização da adubação fosfatada; fato também observado neste estudo.

Constatou-se que a aplicação de superfosfato simples na dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por SFS proporcionou maior produção de MS de raiz ($p<0,05$) que os demais tratamentos (Tabela 5). Não foram observadas diferenças ($p>0,05$) na produção de MS de raiz entre os demais tratamentos.

Tabela 5. Matéria seca e comprimento da raiz da aveia branca (*Avena sativa* cv. IPR Esmeralda) cultivada sob diferentes doses e fontes de adubação fosfatada (média ± erro padrão).

Tratamento		MS raiz (g vaso ⁻¹)	Comprimento de raiz (cm)
Fonte	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
SFS	0	0,16 ± 0,03 ^b	9,40 ± 0,74 ^{bc}
	35	0,10 ± 0,03 ^b	10,00 ± 0,31 ^{bc}
	70	0,15 ± 0,04 ^b	10,20 ± 0,50 ^{bc}
	140	0,40 ± 0,08 ^a	12,40 ± 0,60 ^a
	35	0,14 ± 0,04 ^b	10,00 ± 0,83 ^{bc}
FNR	70	0,14 ± 0,03 ^b	8,80 ± 0,58 ^c
	140	0,08 ± 0,04 ^b	10,80 ± 0,37 ^{ab}

OBS: Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). MS = matéria seca; SFS = superfosfato simples; FNR = fosfato natural reativo. Fonte: Dados da pesquisa.

O fósforo desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular, bem como no perfilhamento das gramíneas, que são fundamentais à maior produtividade das forrageiras (Cecato et al., 2008; Dias et al., 2015). Desta forma, pode-se especular que a utilização de uma maior concentração de fósforo, somada a uma fonte de maior disponibilidade, proporcionou maior desenvolvimento radicular na aveia branca, com consequente aumento no acúmulo de MS da parte aérea (Tabela 2).

Na avaliação do comprimento de raiz não foi verificada diferença ($p > 0,05$) entre as fontes de fósforo na dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅; porém com o superfosfato simples na dose citada, estimulando um maior crescimento da raiz quando comparado aos demais tratamentos, reforçando o achado anterior da influência da fonte e dose de fósforo no crescimento radicular da aveia branca.

Nos resultados apresentados por Dias et al. (2012) o capim marandu adubado com fósforo apresentou maior produção de matéria seca de raiz em relação ao tratamento testemunha (ausência de adubação com fósforo), com as fontes fosfato natural, superfosfato simples e a associação de ambos com produções semelhantes.

Prado et al. (2006) evidenciaram efeito positivo do fósforo no aumento da matéria seca da planta de aveia, refletindo num rápido estabelecimento da cultura; os autores observaram ainda que a maior produção de massa seca da parte aérea e raiz esteve associada à concentração de fósforo no solo próxima a 100 mg dm⁻³. Resultados semelhantes foram verificados por Crusciol et al. (2005), que encontraram as maiores produções de matéria seca radicular do arroz com dose de 130 mg dm⁻³.

4. Conclusão

A produção de matéria seca da parte aérea das plantas de aveia branca aumentou com o incremento das doses de fósforo. O superfosfato simples apresenta maior eficiência que o fosfato natural reativo na adubação, garantindo maior produção de matéria seca na aveia branca. A utilização de fósforo até o dobro da dose recomendada levou a resposta direta na produção forrageira da aveia branca.

Referências

- Beira, F. A.; Dias, J. C.; Bittencourt, H. V. H. & Bonome, L. T. S. (2021). Agronomic and bromatological responses of white and black oats to triple superphosphate and magnesium thermophosphate. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 16(3), e8511. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v16i3a8511>
- Bonfim-Silva, E. M.; Santos, C. C.; Farias, L. N.; Vilarinho, M. K. C.; Guimarães, S. L. & Silva, T. J. A. (2012). Características morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo em solo de cerrado. *Revista Agro@ambiente*. 6(2), 166-71. <https://doi.org/10.18227/190ragro.v6i2.756>.

- Canto, M. W.; Cecato, U.; Peternelli, M.; Jobim, C. C.; Almeida Júnior, J.; Rigolon, L. P.; Watfe, E.; Barrionuevo, C. V. & Nunes, B. R. C. (2001). Efeito da altura do capim-Tanzânia diferido nas características da pastagem no período do inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 30(4), 1186-93. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500008>
- Cecato, U.; Skrobot, V. D.; Fakir, G. R.; Branco, A. F.; Galbeiro, S. & Gomes, J. A. N. (2008). Perfilhamento e características estruturais do capim-Mombaça, adubo com fontes de fósforo, em pastejo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 30(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v30i1.3593>
- Costa, G. G.; Moneratt, P. H. & Gomide, J. A. (1983). Efeito de doses de fósforo sobre o crescimento e teor de fósforo de capim-jaraguá e capim-colonião. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 12, 1-10.
- Crusciol, C. A. C.; Mauad, M.; Alvarez, R. C. F.; Lima, E. V. & Tiritan, C.S. (2005). Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. *Bragantia*. 64(4), 643-49. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400014>
- David, M. A.; Mendonça, V.; Reis, L. L.; Silva, E. A.; Tosta, M. S. & Freire, P. A. (2008). Efeito de doses de superfosfato simples e de matéria orgânica sobre o crescimento de mudas de maracujazeiro 'amarelo'. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 38(3), 147-52. <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3783>
- Dias, D. G.; Porto, E. M. V.; Alves, D. D.; Santos Neto, J. A.; Gomes, V. M.; Silva, M. F.; Santos, S. A. & Carvalho, M. A. M. (2012). Rendimento forrageiro do capim marandu submetido a diferentes fontes de fósforo. *Revista Acadêmica Ciência Animal*. 10(4), 345-50. <https://doi.org/10.7213/academica.7740>
- Dias, D. G.; Pegoraro, R. F.; Alves, D. D.; Porto, E. M. V.; Santos Neto, J. A. & Aspiázú, I. (2015). Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19(4), 330-35. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p330-335>
- Escosteguy, P. A. V.; Fontoura, S. M. V. & Carvalho, I. Q. (2014). Fertilidade do solo, calagem e adubação. In: Lângaro, N. C. & Carvalho, I. Q. (Org.). *Indicações técnicas para a cultura da aveia*. Passo Fundo: UPF, 24-43. http://editora.upf.br/images/ebook/cultura_aveia.pdf
- Floss, E. L.; Palhano, A. L.; Soares Filho, C. V. & Premazzi, L. M. (2007). Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia branca. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 29(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v29i1.241>
- Foloni, J. S. S.; Tiritan, C. S.; Calonego, J. C. & Alves Junior, J. (2008). Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(3), 1147-55. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300023>
- Fontaneli, R. S.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.; Nascimento Junior, A.; Minella, E. & Caierão, E. (2009). Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(11), 2116-20. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100007>
- Fontaneli, R. S.; Santos, H. P. & Fontaneli, R. S. (2012). *Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira*. 2 ed. Brasília: Embrapa. 544p. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>
- Fontoura, S. M. V.; Vieira, R. C. B.; Bayer, C.; Ermani, P. R. & Moraes, R. P. (2010). Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34(6), 1907-14. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600015>
- Gatiboni, L. C.; Kaminski, J.; Rheinheimer, D. S. & Flores, J. P. C. (2007). Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 31(4), 691-99. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400010>
- Harger, N.; Brito, O. R.; Ralisch, R.; Ortiz, F. R. & Watanabe, T.S. (2007). Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semina: Ciências Agrárias*. 28, 39-44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744083005>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Pesquisa Pecuária Municipal*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>.
- Novais, R. F. & Smyth, T. J. (1999). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 399p.
- Oliveira, I. P.; Castro, F. G. G.; Moreira, F. P.; Paixão, V. V.; Custódio, D. P.; Santos, R. S. M.; Faria, C. D. & Costa, K. A. P. (2000). Efeitos qualitativo e quantitativo da aplicação de fósforo no capim tanzânia-1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 30(1), 37-41. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v30i1.2832>
- Oliveira, T. N.; Paz, L. G.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Ferreira, R. L. C.; Araújo, G. G. L. & Pires, A. J. V. (2004). Influência do fósforo e do regime de corte na composição química e digestibilidade *in vitro* do capim-de-raiz (*Chloris orthonoton* Doell). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33(6), 2248-55, (supl. 3). <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000900010>
- Prado, R. M.; Romualdo, L. M. & Vale, D. W. (2006). Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa-de-vegetação. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 28(4), 527-33. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.895>
- Rosolem, C. A. & Marcello, C. S. (1998). Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. *Scientia Agrícola*. 55(3), 448-55. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000300013>
- Sampaio, I. B. M. (2002). *Estatística aplicada à experimentação animal*. (2a ed.), FEP-MVZ. 265p.
- Santos, D. R.; Gatiboni, L. C. & Kaminski, J. (2008). Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*. 38(2), 576-86. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. (6a ed.), Artmed. 888p.