

A simulação da biomassa de aveia por elementos climáticos, nitrogênio e regulador de crescimento

[The simulation of the oat biomass by climatic elements, nitrogen and growth regulator]

A. Marolli, J.A.G. da Silva, S. Sawicki, M.O. Binelo, A.H. Scremin, D.C. Reginatto, E.F. Dornelles, D.M. Lambrecht

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Ijuí, RS

RESUMO

A produção de biomassa de aveia voltada à elaboração de silagem de qualidade é dependente de elementos climáticos e nitrogênio sem ocorrência de acamamento. O objetivo do presente estudo é a definição da dose ideal do regulador de crescimento que possibilite, no máximo, 5% de acamamento de plantas de aveia, bem como a identificação das variáveis potenciais para composição do modelo de regressão linear múltipla com simulação da produtividade de biomassa à elaboração de silagem nas condições de uso do regulador, em reduzida, alta e muito alta fertilização com nitrogênio. O estudo foi conduzido em 2013, 2014 e 2015, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial 4x3, para doses de regulador (0, 200, 400 e 600mL ha⁻¹) e doses de nitrogênio (30, 90 e 150kg ha⁻¹), respectivamente. A dose de 495mL ha⁻¹ de regulador se mostra eficiente na redução do acamamento de plantas de aveia em condição de reduzida, alta e muito alta fertilização com nitrogênio. A soma térmica, a precipitação, a radiação, a dose de regulador e o nitrogênio qualificam a composição do modelo de regressão linear múltipla, tornando eficiente a simulação da produtividade de biomassa da aveia para silagem ao longo do ciclo.

Palavras-chave: *Avena sativa*, ensilagem, trinexapac-ethyl, regressão linear múltipla

ABSTRACT

The production of oat biomass focused on the development of quality silage is dependent on climatic elements and nitrogen without lodging occurrence. The objective of the study is to define the optimal dose of growth regulator that allows a maximum of 5% oat plant lodging and identify potential variables for composition of multiple linear regression model with productivity simulation of biomass to the preparation of silage in the conditions of low, high and very high fertilization with nitrogen. The study was conducted in 2013, 2014, and 2015 in the randomized block design with four replications in a factorial 4x3, for regulator doses (0, 200, 400 and 600ml ha⁻¹) and nitrogen doses (30, 90 and 150kg ha⁻¹), respectively. The dose of 495mL ha⁻¹ regulator is efficient in reducing the oat plant lodging in condition reduced, high, and very high fertilization with nitrogen. Thermal time, precipitation, radiation, regulator dose and nitrogen dose qualify the composition of the multiple linear regression model, making efficient the biomass oat productivity simulation for silage over the cycle.

Keywords: *Avena sativa*, silage, trinexapac-ethyl, linear multiple regression

INTRODUÇÃO

A silagem é o processo de conservação da forragem resultante da fermentação anaeróbica, em que, basicamente carboidratos solúveis são convertidos em ácidos orgânicos pela

ação de microrganismos que se proliferam e proporcionam condições adequadas à conservação, preservando o valor nutritivo (Zamarchi *et al.*, 2014). Portanto, a ensilagem de gramíneas forrageiras é uma alternativa para fornecimento de volumoso de qualidade em períodos de baixa oferta de pasto no campo

(Paris *et al.*, 2015). A aveia branca, além de ser excelente forragem para oferta de pastejo direto aos animais, é uma excelente alternativa de inverno para o processo de ensilagem (Zamarchi *et al.*, 2014).

A alta produtividade de biomassa de aveia está associada ao desempenho das cultivares, às tecnologias de manejo, ao clima e ao solo favorável (Fontanelli *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015). Entre as tecnologias de manejo, a adubação nitrogenada ganha destaque, pois estimula o crescimento de parte aérea e de raízes com reflexos expressivos sobre a produtividade (Costa *et al.*, 2013; Mantai *et al.*, 2015). No entanto, em anos desfavoráveis, a eficiência de uso do nutriente pode ser comprometida, o que reduz a produtividade e aumenta os custos de produção com poluição ambiental (Benin *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015). Além disso, o incremento de nitrogênio para maior produtividade, junto às condições climáticas favoráveis, aumenta o crescimento vegetativo da planta, facilitando, assim, a ocorrência do acamamento (Flores *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015).

O acamamento é um fenômeno complexo, no qual a planta perde sua posição vertical, inclina-se e cai sobre o solo, afetando a produtividade e a qualidade das forragens, além de dificuldades na colheita (Silva *et al.*, 2012; Hawerth *et al.*, 2015). A expressão do acamamento depende de fatores genéticos inter-relacionados com fatores externos, como vento, chuva, solo, densidade de plantas e técnicas de manejo (Silveira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2015). Para minimizar a ocorrência do acamamento de plantas, tem-se avaliado o uso de reguladores de crescimento, como o trinexapac-ethyl, em culturas como arroz (Arf *et al.*, 2012) e trigo (Schwerz *et al.*, 2015). Reguladores de crescimento são compostos químicos que promovem a redução do comprimento do colmo pela obstrução da biossíntese de ácido giberélico, o que torna a planta mais adaptada e eficiente sobre os estímulos de produção (Kaspary *et al.*, 2015; Hawerth *et al.*, 2015).

As relações entre os elementos climáticos e a produtividade de biomassa da aveia podem favorecer a construção de modelos de simulação da produtividade de forragem à elaboração de silagem, o que contribui para o manejo mais

eficiente do nitrogênio com o uso do regulador de crescimento à alta produtividade de biomassa. Dentre os modelos de simulação, a regressão linear múltipla possibilita a combinação de diversos fatores para estimativa da produtividade (Godoy *et al.*, 2015). Dalchiavon *et al.* (2012), mediante a utilização da regressão múltipla, estimaram a produtividade de arroz, incorporando no modelo o número de espiguetas da panícula. Leilah e Khateeb (2005) simularam a produtividade de trigo em condição de seca pela massa e pelo comprimento de grãos por espiga, índice de colheita, número de espigas por área e produção de biomassa. Portanto, o uso de modelos eficientes que integrem componentes da planta, do manejo e do clima pode contribuir para a previsibilidade de safras agrícolas e o planejamento de colheita, principalmente voltada à elaboração de biomassa para silagem.

O objetivo do presente estudo é a definição da dose ideal do regulador de crescimento que possibilite acamamento de plantas de aveia inferior a 5%, bem como a identificação de elementos climáticos potenciais sobre o desenvolvimento da aveia para composição do modelo de regressão linear múltipla e a simulação da produtividade de biomassa à elaboração de silagem nas condições de uso do regulador de crescimento em reduzida, alta e muito alta fertilização com nitrogênio.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a campo, nos anos agrícolas de 2013, 2014 e 2015, em Augusto Pestana, RS, Brasil (28° 26' 30'' latitude S e 54° 00' 58'' longitude W). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, e o clima, segundo classificação de Köppen, do tipo Cfa, com verão quente sem estação seca. Aos 10 dias antes da semeadura, foi realizada análise de solo, que identificou, na média dos anos, as seguintes características químicas do local: pH=6,2, P=33,9mg dm⁻³, K=200mg dm⁻³, MO=3,0%, Al=0 cmol_c dm⁻³, Ca=6,5cmol_c dm⁻³ e Mg=2,5cmol_c dm⁻³. A semeadura foi realizada com semeadura-adubadora em sistema soja/aveia. Foram aplicados, na semeadura, 30 e 20kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente, com base nos teores de P e K no solo para expectativa de produtividade de grãos de 3t ha⁻¹ e de N na base com 10kg ha⁻¹, sendo o restante para

contemplar as doses de estudo aplicado no estádio de quarta folha expandida, com nitrogênio disponibilizado na forma de ureia. As sementes foram submetidas ao teste de germinação e vigor em laboratório, a fim de se corrigir a densidade de 400 sementes viáveis m⁻². Durante a execução do estudo, foram efetuadas duas aplicações do fungicida tebuconazole, de nome comercial FOLICUR[®] CE, na dosagem de 0,75L ha⁻¹. Além disso, o controle de plantas daninhas foi efetuado com herbicida metsulfuron-metil, de nome comercial ALLY[®], na dose de 4g ha⁻¹, e capinas adicionais sempre que necessário. O regulador de crescimento (trinexapac-ethyl) foi aplicado com pulverizador costal à pressão constante de 30lb pol⁻², pelo CO₂ comprimido, com pontas de jato plano “leque”, no estádio do primeiro e do segundo nó visível do colmo.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 4x3, nas fontes de variação doses de regulador de crescimento (0, 200, 400 e 600mL ha⁻¹) e doses de nitrogênio (30, 90 e 150kg ha⁻¹), respectivamente, totalizando 48 unidades experimentais constituídas de cinco linhas, com 5m de comprimento e espaçadas 0,20m, gerando a parcela de 5m². A colheita dos experimentos ocorreu de forma manual, pelo corte de 1m² de cada parcela a cada 30 dias. As plantas foram direcionadas à estufa de ar forçado à temperatura de 65°C, até atingirem peso constante para pesagem e estimativa da produtividade biológica (PB, kg ha⁻¹). O acamamento (AC) foi estimado visualmente e expresso em porcentagem, considerado o ângulo formado na posição vertical do colmo das plantas em relação ao solo e à área de plantas acamadas, segundo metodologia sugerida por Moes e Stobbe (1991). As médias de produtividade de biomassa e grãos

e as informações de temperatura e precipitação pluviométrica foram usadas na classificação dos anos em favorável e desfavorável ao cultivo.

Ao atender os pressupostos de homogeneidade e normalidade via testes de Bartlett, foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Foi realizado ajuste da equação de regressão linear, que descreve o comportamento da expressão do acamamento de plantas de aveia pelo incremento das doses de regulador de crescimento. Nessas equações, foi considerada a possibilidade de acamamento de plantas de, no máximo, 5%, valor adicionado ao parâmetro “y” da equação, obtida por $x = [(y - b_0)/(\pm b_1)]$. Procedeu-se à escolha das variáveis potenciais para o modelo de regressão linear múltipla via técnica de StepWise. Esse procedimento constrói iterativamente uma sequência de modelos de regressão pela adição e remoção de variáveis, selecionando aquelas que possuem maior relação com a variável principal (y), mediante a utilização da estatística de F parcial, conforme modelo:

$$F_j = \frac{SQ_R(\beta_j | \beta_1, \beta_0)}{MQ_E(x_j, x_1)} \quad (1),$$

em que: SQ_R é a soma quadrática da regressão e $MQ_E(x_j, x_1)$ é a média quadrática do erro para o modelo contendo as variáveis x_1 e x_j . As variáveis selecionadas via StepWise foram utilizadas para se determinar a equação de regressão linear múltipla, para a simulação da produtividade biológica de aveia, dadas por uma equação do tipo:

$$y = b_0 \pm b_1x \pm b_2x_2 \pm \dots \pm b_nx_n \quad (2),$$

descrita na forma matricial como:

$$y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ M \\ Y_n \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{p1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{p2} \\ M & M & M & \dots & M \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{pn} \end{bmatrix}; \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ M \\ \beta_n \end{bmatrix}; e \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ M \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3),$$

A partir dessas matrizes, é obtido o valor dos coeficientes de regressão, sendo:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y \quad (4),$$

e a variância desses coeficientes é obtida pela matriz de covariância do vetor dos coeficientes de regressão:

$$C\hat{v}(\hat{\beta}) = (X'X)^{-1}\hat{\sigma}^2 \quad (5),$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(Y - X\hat{\beta})(Y - X\hat{\beta})}{n - p - 1} \quad (6),$$

sendo n o número de equações e p o número de parâmetros. O teste de hipótese verificou $H_0: \beta_i = 0$ vs $H_a: \beta_i \neq 0$, expresso por:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_i)}} \quad (7).$$

Para essas análises, foi utilizado o programa computacional Genes (Cruz, 2013).

Na Fig. 1, no momento de aplicação de nitrogênio em 2014, a média de temperatura máxima se mostrou a mais elevada em relação a 2015 e 2013. Além disso, a aplicação de nitrogênio foi seguida de precipitações pluviométricas superiores a 50mm, volume também observado próximo à colheita de grãos. Esses fatos justificam a baixa produtividade obtida (Tab. 1), caracterizando o ano de 2014 como desfavorável ao cultivo (AD).

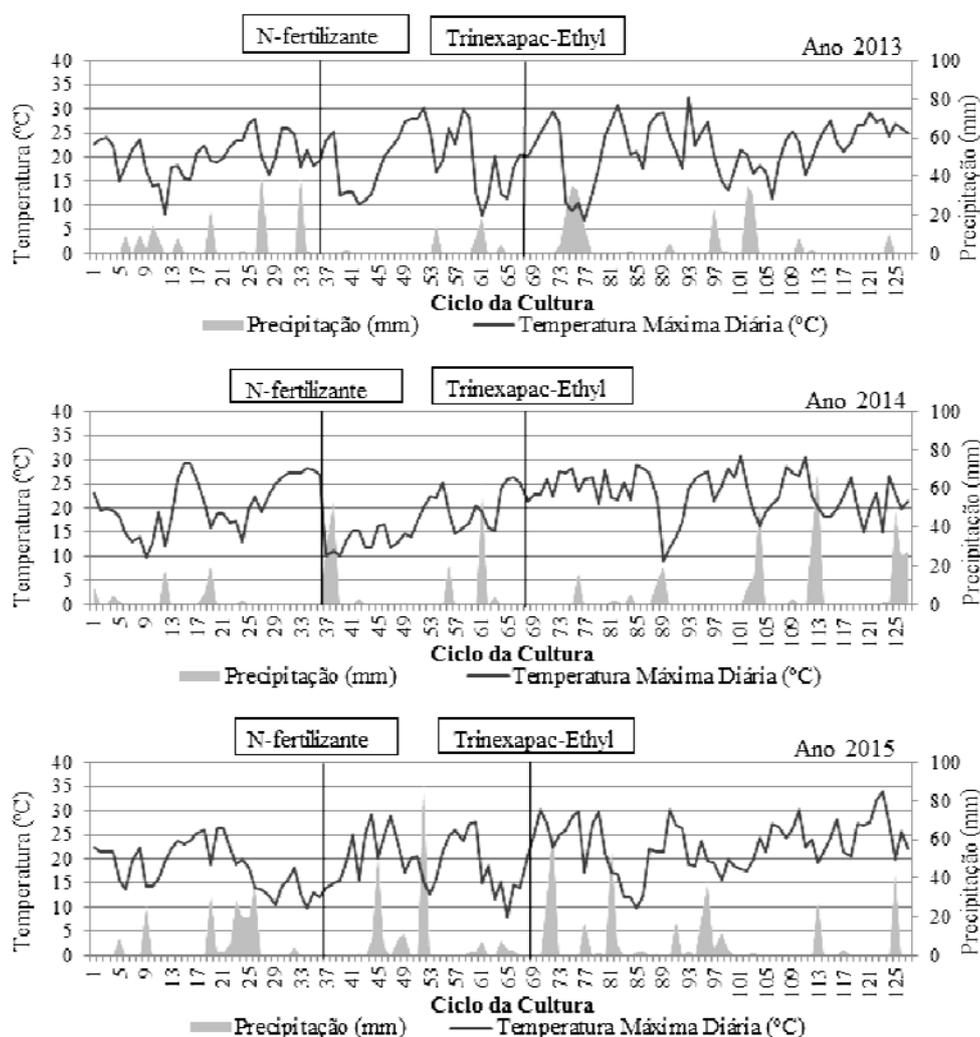


Figura 1. Precipitação pluviométrica, temperatura máxima no ciclo de aveia, aplicação de N-fertilizante e aplicação de trinexapac-ethyl.

A simulação da biomassa...

O ano de 2015 evidenciou a menor temperatura máxima próxima à aplicação de nitrogênio. No momento da aplicação do nitrogênio, o solo se apresentava com condições de umidade favorável pelo acúmulo de chuvas dos dias anteriores (Fig. 1). O elevado volume de chuvas durante o ciclo proporcionou períodos de menor insolação, reduzindo a eficiência de fotossíntese, o que, somado às médias de produtividade (Tab. 1), caracterizou o ano como intermediário (AI) ao cultivo. Em 2013, a temperatura máxima na

aplicação de nitrogênio se mostrou ideal, ao redor de 20°C. A aplicação ocorreu em condições favoráveis de umidade do solo (Fig. 1). Embora o volume total de chuvas tenha sido o mais reduzido (Tab. 1), a adequada distribuição de precipitação ao longo do ciclo (Fig. 1) foi decisiva para a maior produtividade, com valores superiores a 4t ha⁻¹ de grãos (Tab. 1), caracterizando 2013 como favorável (AF) ao cultivo.

Tabela 1. Dados de temperatura e precipitação nos meses e anos de cultivo de aveia e média de produtividade de biomassa e grãos com classificação dos anos agrícolas

Ano	Mês	Temperatura			Precipitação		PG _{x̄}	PB _{x̄}	Classe
		Mínima	Máxima	Média	Média*	Ocorrida			
2015	Maio	10,5	22,7	16,6	149	100	3404b	8450b	AI
	Junho	07,9	18,4	13,1	162	191			
	Julho	08,3	19,2	13,7	135	200			
	Agosto	09,3	20,4	14,8	138	223			
	Setembro	09,5	23,7	16,6	167	046			
	Outubro	12,2	25,1	18,6	156	211			
	Total	-	-	-	909	973			
2014	Maio	11,1	24,5	17,8	149	020	2841c	7695c	AD
	Junho	09,3	19,7	14,5	162	059			
	Julho	07,4	17,5	12,4	135	176			
	Agosto	12,9	23,4	18,1	138	061			
	Setembro	12,0	23,0	17,5	167	194			
	Outubro	15,0	25,5	20,2	156	286			
	Total	-	-	-	909	798			
2013	Maio	10,0	22,6	16,3	149	108	4163a	9373a	AF
	Junho	08,9	20,0	14,5	162	086			
	Julho	07,0	20,6	13,8	135	097			
	Agosto	06,6	19,8	13,2	138	163			
	Setembro	09,6	21,0	15,3	167	119			
	Outubro	13,2	27,1	20,2	156	138			
	Total	-	-	-	909	712			

*= Média histórica de precipitação pluviométrica obtida nos meses de maio a outubro de 1990 a 2015; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si na probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott e Knott; AF= ano favorável; AD= ano desfavorável; AI= ano intermediário; temperatura (°C); precipitação (mm); PG_{x̄}=produtividade de grãos (kg ha⁻¹); PB_{x̄}= produtividade de biomassa (kg ha⁻¹).

Em milho, muito utilizado para silagem, Storck *et al.* (2014) descrevem que a condição do ano de cultivo é grande responsável pela alteração da produtividade. Mantai *et al.* (2015), em aveia, comentam sobre a forte influência do ano agrícola sobre a produtividade. Battisti *et al.* (2013), em trigo, e Arenhardt *et al.* (2015), em aveia, relatam que a condição de ano agrícola é predominantemente definida pela distribuição e pelo volume de chuvas. A precipitação pluviométrica é a variável meteorológica que mais afeta a produtividade, pela sua interação

com a temperatura, a insolação e a radiação. A temperatura, a luz e a radiação solar também são elementos que influenciam na produtividade (Silva *et al.*, 2015). Em aveia, o clima favorável é descrito como aquele de temperaturas mais amenas e de qualidade de radiação em favorecer o aphilamento e o enchimento de grãos, sem ocorrência de chuvas em grande quantidade e intensidade, porém em quantidade suficiente para favorecer suprimento adequado de umidade armazenada no solo (Mantai *et al.*, 2015).

A proposta de simulação da produtividade de biomassa de aveia por ano agrícola não contempla modelos eficientes, haja vista a forte variação existente em cada ano de cultivo (Tab.1 e Fig.1). Desse modo, foi considerado o efeito cumulativo da variabilidade entre ano favorável, intermediário e desfavorável para obtenção de coeficientes mais ajustados aos modelos de regressão linear na estimativa da dose ideal de regulador e de regressão linear múltipla para simulação da produtividade de biomassa de aveia. Portanto, na Tab. 2, está apresentado o somatório dos valores meteorológicos em cada momento de corte junto às médias obtidas de produtividade de biomassa. No momento de corte aos 30 e 60 dias após a emergência, não houve diferenças na produtividade de biomassa com o incremento das doses de regulador em cada condição de uso de N-fertilizante (Tab. 2).

Esse fato era esperado, visto que a aplicação do regulador de crescimento ocorreu aos 65 dias após a emergência, com o surgimento do primeiro e do segundo nó visível do colmo principal, conforme recomendação em trigo. A resposta ao uso de regulador sobre a expressão de biomassa já se mostrou efetiva aos 90 dias após a emergência. Nesse momento, a produtividade de biomassa evidenciou redução significativa nos pontos de 400 e 600mL ha⁻¹, que não diferiram entre si, independentemente da condição de fertilização com nitrogênio. O corte de biomassa com 120 dias após a emergência indicou a mais efetiva redução da produtividade de biomassa com 600mL ha⁻¹, com 30 e 90kg ha⁻¹ de nitrogênio. Na condição mais elevada de N-fertilizante, a produtividade de biomassa foi significativamente reduzida com 400 e 600mL ha⁻¹.

Tabela 2. Valores obtidos das variáveis meteorológicas e de produtividade de biomassa em diferentes momentos de corte no uso de nitrogênio e regulador de crescimento

Variáveis selecionadas	Dose N (kg ha ⁻¹)	Dose R (mmL ha ⁻¹)	Momento de corte (DAE)			
			30	60	90	120
(2013+2014+2015)						
Soma térmica (graus dia)	-	-	496	944	1452	1982
Precipitação (mm m ²)	-	-	167	307	433	620
Radiação (V m ⁻¹)	-	-	212	486	814	1160
Produtividade de biomassa (kg ha ⁻¹)	30	0	310 a	1813 a	8997 a	9629 a
		200	306 a	1849 a	8775 a	8562 b
		400	295 a	1804 a	8022 b	8421 b
		600	300 a	1816 a	8023 b	7713 c
	90	0	296 a	1792 a	9370 a	11009 a
		200	282 a	1849 a	9030 a	10830 a
		400	272 a	1763 a	8155 b	10147 b
		600	262 a	1714 a	7909 b	9027 c
	150	0	295 a	1922 a	9157 a	11211 a
		200	292 a	1851 a	8726 a	10988 a
		400	294 a	1887 a	7579 b	10232 b
		600	295 a	1870 a	7438 b	9886 b

DAE: dias após a emergência. Dose R: doses de regulador de crescimento aplicado; dose N: doses de nitrogênio aplicado em cobertura; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si em 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott.

Na Tab. 3, da estimativa da dose ideal de regulador de crescimento pela expressão do acamamento, as equações de regressão testadas apresentaram tendência linear decrescente significativa, independentemente da dose de nitrogênio. Na estimativa da dose ideal de regulador de crescimento, foi levada em consideração a possibilidade de acamamento de plantas de, no máximo, 5%, valor adicionado ao parâmetro “y” de cada equação. Independentemente da condição de ano de cultivo, as doses de regulador de crescimento

variaram em 460, 500 e 520mL ha⁻¹ em condição de reduzida, alta e muito alta fertilização com nitrogênio, respectivamente. De modo geral, a dose de 495ml ha⁻¹ de regulador se mostrou efetiva na redução do acamamento, independentemente de ano agrícola e dose de nitrogênio. Em trigo, Pagliosa *et al.* (2013) e Trevizan *et al.* (2015), e em arroz, Arf *et al.* (2012) e Alvarez *et al.* (2014) observaram redução efetiva do acamamento de plantas com a dose de 400mL ha⁻¹ de regulador. Em crotalaria (Kappes *et al.*, 2011) e em soja (Souza *et al.*,

A simulação da biomassa...

2013), redução eficiente do acamamento foi obtida com 500mL ha⁻¹ do regulador. Kaspary *et al.* (2015) e Guerreiro e Oliveira (2012), ao estudarem os efeitos do regulador de crescimento

na produtividade de grãos e na qualidade de sementes de aveia, afirmam que a dose de 500mL ha⁻¹ reduz a estatura da planta em até 60%.

Tabela 3. Estimativa da dose ideal do regulador de crescimento por ano e dose de N-fertilizante na previsibilidade de no máximo 5% de acamamento

Dose N (kg ha ⁻¹)	Ano	Equação AC = a ± bx	R ²	P _(bi)	Y _E (%)	Dose ideal (mL ha ⁻¹)
30	2015 (AI)	23,55 – 0,045x	0,80	*	(5)	≅410
	2014 (AD)	29,62 – 0,050x	0,92	*		≅495
	2013 (AF)	22,52 – 0,037x	0,89	*		≅475
	\bar{x}_{30} 2013+2014+2015	25,23 – 0,044x	0,87	*		≅460
90	2015 (AI)	56,82 – 0,103x	0,91	*	(5)	≅500
	2014 (AD)	46,00 – 0,080x	0,82	*		≅510
	2013 (AF)	48,75 – 0,088x	0,93	*		≅490
	\bar{x}_{90} 2013+2014+2015	50,52 – 0,090x	0,88	*		≅500
150	2015 (AI)	82,35 – 0,147x	0,93	*	(5)	≅525
	2014 (AD)	71,25 – 0,127x	0,89	*		≅520
	2013 (AF)	75,15 – 0,133x	0,94	*		≅525
	\bar{x}_{150} 2013+2014+2015	76,25 – 0,135x	0,92	*		≅520
\bar{x}_{geral}	2013+2014+2015	50,66 – 0,089x	0,89	*	(5)	≅495

*= Significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pela probabilidade de F; P_(bi)= parâmetro que mede a inclinação da reta; R²= coeficiente de determinação; () = consideração da possibilidade de acamamento de plantas inferior a 5%; \bar{x}_N =média obtida nos três anos de estudo; \bar{x}_{geral} = média geral; Y_E = valor estimado; dose ideal= dose de regulador que possibilita acamamento de plantas inferior a 5%.

Na Tab. 4, as variáveis potenciais para composição do modelo de regressão linear múltipla foram a soma térmica, a precipitação pluviométrica, a radiação térmica e o momento de corte, em todas as condições de uso de regulador crescimento e de N-fertilizante. Na proposta de um modelo mais amplo, com a possibilidade de simulação com definição de uma dose de regulador no intervalo de 0 a 600mL ha⁻¹, o efeito do produto trinexapac-ethyl foi significativo para compor o modelo múltiplo, independentemente da dose de N-fertilizante. Na validação de um modelo mais completo, envolvendo o uso combinado do nitrogênio e do regulador, as variáveis: dose de regulador de crescimento e nitrogênio foram significativas para compor o modelo múltiplo junto com os

elementos meteorológicos e a biomassa produzida ao longo do ciclo de desenvolvimento da aveia. A identificação de componentes que influenciam na produtividade é decisiva na elaboração de modelos de simulação (Leal *et al.*, 2015). O uso da técnica StepWise pode qualificar a seleção de variáveis potenciais na simulação por regressão linear múltipla (Balbinot *et al.*, 2005). Modelos meteorológicos permitem estimativas da produtividade anteriores à colheita, constituindo, assim, uma importante ferramenta na previsão de safras agrícolas (Melo *et al.*, 2008). Para Silva Junior *et al.* (2012), os fatores temperatura, radiação e precipitação são os principais agentes reguladores da produção agrícola.

Tabela 4. Identificação de variáveis potenciais via StepWise para composição do modelo de regressão linear múltipla à simulação da produtividade de biomassa de aveia

Fonte de variação	Significância/ Modelo StepWise					
	0	200	400	600	0-600	30-150
(2013+2014+2015) N-30kg ha ⁻¹						
Regressão	*	*	*	*	*	*
Soma térmica	*	*	*	*	*	*
Precipitação	*	*	*	*	*	*
Radiação	*	*	*	*	*	*
Momento de corte	*	*	*	*	*	*
Dose de regulador	-	-	-	-	*	*
Nitrogênio	-	-	-	-	-	*
N-90kg ha ⁻¹						
Regressão	*	*	*	*	*	*
Soma térmica	*	*	*	*	*	*
Precipitação	*	*	*	*	*	*
Radiação	*	*	*	*	*	*
Momento de corte	*	*	*	*	*	*
Dose de regulador	-	-	-	-	*	*
Nitrogênio	-	-	-	-	-	*
N-150kg ha ⁻¹						
Regressão	*	*	*	*	*	*
Soma térmica	*	*	*	*	*	*
Precipitação	*	*	*	*	*	*
Radiação	*	*	*	*	*	*
Momento de corte	*	*	*	*	*	*
Dose de regulador	-	-	-	-	*	*
Nitrogênio	-	-	-	-	-	*

*= Significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pela probabilidade de F; soma térmica (graus dia); precipitação (mm m⁻²); radiação (V m⁻¹); momento de corte (dias); Dose de regulador: dose ideal de regulador para estimativa de acamamento inferior a 5% (mL ha⁻¹); nitrogênio (kg ha⁻¹).

Na Tab. 5, estão apresentadas as equações de regressão linear múltipla para simulação da produtividade de biomassa de aveia. Nessa simulação, foram empregados os valores apresentados na Tab. 2 junto à dose ideal de regulador de crescimento da Tab. 3. Na dose de 30kg ha⁻¹ de nitrogênio, o incremento da dose de regulador de crescimento proporciona diminuição da produtividade de biomassa, com valores estimados variando entre 9625 e 7728kg ha⁻¹, inclusive, as equações testadas se mostraram altamente eficientes, com valores muito próximos aos observados em campo. Na

análise do modelo mais amplo, com inclusão da dose ideal de regulador de crescimento (Tab. 3), o valor estimado de produtividade de biomassa é muito próximo ao observado e dentro do intervalo de confiança proposto. Na análise do modelo mais completo que inclui os elementos climáticos, o manejo pelo nitrogênio e o regulador de crescimento, a eficiência na simulação da produtividade de biomassa foi confirmada, validando uma proposta de qualificar a previsibilidade de safra sobre a aveia direcionada à elaboração de silagem.

A simulação da biomassa...

Tabela 5. Regressão linear múltipla para estimativa da produtividade de biomassa por elementos climáticos, doses de nitrogênio e regulador de crescimento no ciclo da aveia

Dose R (mL ha ⁻¹)	Equação PB = b ₀ ± b ₁ x ± b ₂ x ₂ ± ... ± b _n x _n	PB		IC	
		E	O	LI	LS
(2013+2014+2015)					
N-30kg ha ⁻¹					
0	PB = -271 + 26,4 _{Ra} - 0,9 _{Pr} - 10,8 _{St} + 10,3 _{Mc}	9625	9629	8613	10281
200	PB = -209 + 23,7 _{Ra} - 5,4 _{Pr} - 16,3 _{St} + 141,2 _{Mc}	8572	8562	7439	10085
400	PB = -188 + 22,3 _{Ra} - 4,7 _{Pr} - 14,6 _{St} + 121,8 _{Mc}	8445	8421	7314	9150
600	PB = -236 + 19,0 _{Ra} - 4,2 _{Pr} - 14,7 _{St} + 147,2 _{Mc}	7728	7713	7155	8358
0-600	PB = 61 - 0,9 _{DR} + 22,4 _{Ra} - 4,7 _{Pr} - 14,2 _{St} + 117 _{Mc}	8612	8581	8160	9080
N-90kg ha ⁻¹					
0	PB = -211 + 29,8 _{Ra} - 6,3 _{Pr} - 13,6 _{St} + 62,5 _{Mc}	10208	11009	9574	11427
200	PB = -189 + 29,9 _{Ra} - 6,5 _{Pr} - 12,4 _{St} + 38,3 _{Mc}	9827	10530	9280	11130
400	PB = -232 + 29,5 _{Ra} - 5,8 _{Pr} - 13,8 _{St} + 58,5 _{Mc}	9665	10147	8820	10510
600	PB = -279 + 22,2 _{Ra} - 4,2 _{Pr} - 6,7 _{St} - 4,6 _{Mc}	8982	9027	8061	9788
0-600	PB = -229 + 0,01 _{DR} + 27,9 _{Ra} - 5,7 _{Pr} - 11,6 _{St} + 38 _{Mc}	10171	10178	9681	10670
N-150kg ha ⁻¹					
0	PB = -205 + 27,9 _{Ra} - 6,1 _{Pr} - 16,7 _{St} + 132 _{Mc}	11118	11211	9495	11965
200	PB = -164 + 31,7 _{Ra} - 6,4 _{Pr} - 12,7 _{St} + 27,2 _{Mc}	10733	10908	9358	11886
400	PB = -133 + 29,4 _{Ra} - 6,4 _{Pr} - 17,5 _{St} + 127 _{Mc}	10558	10532	8630	11363
600	PB = -101 + 34,6 _{Ra} - 6,5 _{Pr} - 12,3 _{St} - 11,3 _{Mc}	10270	10386	8217	11283
0-600	PB = -155 + 0,01 _{DR} + 30,9 _{Ra} - 6,2 _{Pr} - 14 _{St} + 55 _{Mc}	10702	10760	9720	11016
Geral	PB = -182 + 0,83 _N - 0,32 _{DR} + 27 _{Ra} - 5,65 _{Pr} - 13,5 _{St} + 71,4 _{Mc}	9346	9640	9300	9964

PB = produtividade de biomassa (kg ha⁻¹); ST = soma térmica (graus dia); Pr = precipitação (mm m²); RA = radiação (V m⁻¹); MC = momento de corte (dias); Geral = modelo geral, independente da condição de adubação nitrogenada e dose de regulador de crescimento; N = nitrogênio (70kg ha⁻¹); DR = dose de regulador

CONCLUSÕES

A dose de 495mL ha⁻¹ de regulador se mostra eficiente na redução do acamamento de plantas de aveia em condição de reduzida, alta e muito alta fertilização com nitrogênio. A soma térmica, a precipitação, a radiação, a dose de regulador e o nitrogênio qualificam a composição do modelo de regressão linear múltipla, tornando eficiente a simulação da produtividade de biomassa da aveia para silagem ao longo do ciclo.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S. Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento. *Rev. Ceres*, v.61, p.42-49, 2014.

ARENHARDT, E.G.; SILVA, J.A.G.; GEWEHR, E. *et al.* The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in southern Brazil. *Afr. J. Agric. Res.*, v.10, p.4322-4330, 2015.

ARF, O.; NASCIMENTO, V.; RODRIGUES, R.A.F. *et al.* Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, v.42, p.150-158, 2012.

BALBINOT, J.R.A.A.; BACKES, R.L.; ALVES, A.C. *et al.* Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. *Rev. Bras. Agrociênc.*, v.11, p.161-166, 2005.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G. *et al.* Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. *Cienc. Rural*, v.43, p.390-396, 2013.

- BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E. *et al.* Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Sci. Agron.*, v.34, p.275-283, 2012.
- COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. *Rev. Cienc. Agron.*, v.44, p.215-224, 2013.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.E.; COLETTI, A.J. *et al.* Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema de plantio direto. *Cienc. Agrar.*, v.33, p.1629-1642, 2012.
- FLORES, R.A.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R. *et al.* Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante no Cerrado. *Bras. Eng. Agric. Ambien.*, v.16, p.1282-1288, 2012.
- FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. *et al.* Rendimento de grãos de aveia branca em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.*, v.7, Supl., p.790-796, 2012.
- GODOY, S. G. DE; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. DE B. *et al.* Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. *Bras. Eng. Agric. Ambien.* v.19, p.119-125. 2015.
- GUERREIRO M.G.; OLIVEIRA N.C. Produtividade de grãos de aveia branca submetida a doses de trinexapac-ethyl. *Rev. Cienc. Exatas Terra Cienc. Agrar.*, v.7, p.27-36, 2012.
- HAWERROTH, M.C.; SILVA, J.A.G.; SOUZA, C.A. *et al.* Redução do acamamento em aveia-branca com uso do regulador de crescimento etil-trinexapac. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.50, p.115-125, 2015.
- KAPPES C.; ARF, O.; ARF, M.V. *et al.* Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, v.41, p.508-518, 2011.
- KASPARY, T.E.; LAMEGO, F.P.; BELLÉ, C. *et al.* Regulador de crescimento na produtividade e qualidade de sementes de aveia-branca. *Planta Daninha*, v.33, p.739-750, 2015.
- LEAL, A.J.F.; MIGUEL, E.P.; BAIO, G.H.R. *et al.* Redes neurais artificiais na predição da produtividade de milho e definição de sítios de manejo diferenciado por meio de atributos do solo. *Bragantia*, v.74, p.436-444, 2015.
- LEILAH, A.A.; AL-KHATEEB, S.A. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *J. Arid Environ.*, v.61, p.483-496, 2005.
- MANTAI, R.D.; SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G. *et al.* The effect of nitrogen dose on the yield indicators of oats. *Afr. J. Agric. Res.*, v.10, p.3773-3781, 2015.
- MELO, R.W.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. *et al.* An agrometeorological spectral model to estimate soybean yield, applied to southern Brazil. *Int. J. Remote Sens.*, v.29, p.4013-4028, 2008.
- MOES, J.; STOBBE, E.H. Barley treated with ethephon: I. yield components and net grain yield. *Agron. J.*, v.83, p.86-90, 1991.
- PAGLIOSA, E.E.; BENIN, G.; BIEZUS, E. *et al.* Trinexapac-Ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. *Planta Daninha*, v.31, p.623-630, 2013.
- SCHWERZ, F.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D. *et al.* Growth retardant and nitrogen levels in wheat agronomic characteristics. *Científica*, v.43, p.93-100, 2015.
- SILVA JÚNIOR, E.B.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; OLIVEIRA, P.J. *et al.* Agronomic efficiency of a new rhizobial inoculant formulation for use in cowpea. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.47, p.138-141, 2012.
- SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G.; KRÜGER, C.A.M.B. *et al.* A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambien.*, v.19, p.27-33, 2015.
- SILVA, J.A.G.; FONTANIVA, C.; COSTA, J.P.S. *et al.* Uma proposta na densidade de semeadura de um biotipo atual de cultivares de aveia. *Rev. Bras. Agrocienc.*, v.18, p.253-263, 2012.
- SILVEIRA, C.P.; OLIVEIRA, D.A.B.; SILVA, E.M. *et al.* Two years of nitrogen and sulfur fertilizations in a signal grass pasture under degradation: changes in the root system. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1195-1203, 2011.
- SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M. *et al.* Plant architecture and productivity of soybean affected by plant growth retardants. *Biosci. J.*, v.29, p.634-643, 2013.
- STORCK L.; FILHO, A.C.; GUADAGNIN, J.P. Análise conjunta de ensaios de cultivares de milho por classes de interação genótipo x ambiente. *Pesqui. Agropec. Bras.*, v.49, p.163-172, 2014.
- TREVIZAN, K.; GREGOLETI, E.; HOFFMANN, A.F. Trinexapac-etil diminui o acamamento e aumenta produtividade do cultivar de trigo TBIO Pioneiro. *Rev. Agron. Med. Vet.*, v.2, p.1-11, 2015.
- ZAMARCHI, G.; PAULO S.P.; MENEZES, L.F.G. *et al.* Silage of white oat under nitrogen fertilization and pre-wilting. *Cienc. Agrar.*, v.35, p.2185-2196, 2014.