

PLANEJAMENTOS EXPERIMENTAIS EM NABO FORRAGEIRO SEMEADO A LANÇO E EM LINHA

EXPERIMENTAL DESIGNS IN TURNIP SOWN TO HAUL AND IN LINE

Alberto CARGNELUTTI FILHO¹; Marcos TOEBE²; Cláudia BURIN³;
Gabriele CASAROTTO⁴; Bruna Mendonça ALVES⁴

1. Engenheiro Agrônomo, Professor do Departamento de Fitotecnia, Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, alberto.cargnelutti.filho@gmail.com; 2. Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil; 3. Engenheira Florestal, Mestranda em Agronomia - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil; 3. Engenheira Agrônoma, Mestranda em Agronomia - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar o tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), em experimentos com sementeiras a lanço e em linha, em cenários formados por combinações de números de tratamentos, de números de repetições e de níveis de precisão. Foi realizado um ensaio de uniformidade com sementeira a lanço e outro com sementeira em linha. Em cada ensaio foi pesada a massa verde em 288 unidades experimentais básicas (UEB) de 1,00 m × 0,50 m (0,50 m²). Foi determinado o índice de heterogeneidade do solo de Smith (1938) e determinado o tamanho ótimo de parcela por meio do método de Hatheway (1961). Para avaliar a massa verde de nabo forrageiro, com mesma precisão, o tamanho ótimo de parcela em experimentos com sementeira a lanço é maior que para experimentos com sementeira em linha. Em experimentos no delineamento blocos ao acaso, com 5 a 20 tratamentos e com 4 repetições, parcelas de 5 UEB de 0,50 m² (2,50 m²), possibilitam identificar diferenças significativas entre tratamentos, a 5% de probabilidade, de 30% e 20% da média geral do experimento, respectivamente, para o sistemas de sementeira a lanço e em linha.

PALAVRAS-CHAVE: *Raphanus sativus* L.. Tamanho ótimo de parcela. Número de repetições. Precisão experimental.

INTRODUÇÃO

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é utilizado como planta de cobertura de solo, permite a ciclagem e a rápida liberação de nutrientes para as culturas sucessoras e apresenta elevada produção de massas verde e seca (CRUSCIOL et al., 2005). Em experimentos com sementeira a lanço, foram verificadas médias de massa seca de parte aérea de 1.846 kg ha⁻¹ (VALICHESKI et al., 2012), 2.938 kg ha⁻¹ (CRUSCIOL et al., 2005), 3.694,7 kg ha⁻¹ (MORAES et al., 2009) e 5.480,5 kg ha⁻¹ (LIMA et al., 2007) e, para sementeira em linha, Kubota, Hoshiba e Bordon (2005) obtiveram 10.700 kg ha⁻¹. Também, para sementeira a lanço, foram obtidas médias de massa verde de parte aérea de 17.970 kg ha⁻¹ (VALICHESKI et al., 2012) e de 12.610 a 29.650 kg ha⁻¹ (AZEVEDO et al., 2012).

Em experimentos conduzidos em campo, o correto dimensionamento do tamanho ótimo de parcela e do número de repetições é fundamental para a realização de inferências precisas sobre os tratamentos em avaliação. A estimação do tamanho ótimo de parcela pode ser realizada a partir de dados obtidos em ensaios sem tratamentos, denominados ensaios de uniformidade ou experimentos em branco (RAMALHO et al., 2005; STORCK et al., 2006). Entre as diversas metodologias para a determinação do tamanho ótimo de parcelas, os métodos de Smith

(1938) e de Hatheway (1961), têm sido utilizados em planejamentos experimentais nas culturas de: morangueiro (NAGAI et al., 1978; COCCO et al., 2009), cana-de-açúcar (IGUE et al., 1991), mandioca (VIANA et al., 2003), milho verde (ALVES; SERAPHIN, 2004), trigo (HENRIQUES NETO et al., 2004; LORENTZ et al., 2007), sorgo granífero (LOPES et al., 2005) e feijão-vagem (SANTOS et al., 2012). O uso da estimativa do índice de heterogeneidade do solo de Smith (1938) na expressão de Hatheway (1961) possibilita estimar o tamanho ótimo de parcela para planejamentos experimentais, formados pela combinação de distintos números de tratamentos, de repetições e de precisões experimentais.

Manejos diferenciados podem interferir no tamanho ótimo de parcela a ser utilizado. Nesse sentido, Henriques Neto et al. (2004) constataram que na cultura de trigo, é necessário maior tamanho de parcela no sistema plantio direto em relação ao convencional. Na cultura de sorgo granífero, Lopes et al. (2005) verificaram que com o aumento da densidade de sementeira, o tamanho de parcela pode ser menor. Necessidade de maior tamanho de parcela para morangueiro cultivado com solo em relação ao cultivado em hidroponia foi constatado por Cocco et al. (2009). Experimentos com feijão-vagem conduzidos em estufa necessitam parcelas

maiores em relação aos conduzidos em túneis e em ambientes não protegidos (SANTOS et al., 2012).

Assim, embora o tamanho ótimo de parcela já tenha sido investigado, por meio da curvatura máxima do modelo do coeficiente de variação (PARANAÍBA et al., 2009), na cultura de nabo forrageiro semeado a lanço (CARGNELUTTI FILHO et al., 2011), não se conhece o tamanho ótimo de parcela para a cultura, em sistemas de semeadura a lanço e em linha, para diferentes números de tratamentos, números de repetições e níveis de precisão.

O objetivo deste trabalho foi determinar o tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), em experimentos com semeaduras a lanço e em linha, em cenários formados por combinações de números de tratamentos, de números de repetições e de níveis de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois ensaios de uniformidade (experimentos em branco) com a cultura de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) na área experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, a 29°42'S, 53°49'W e a 95 m de altitude. Os dois ensaios, de tamanho 15 m × 15 m (225 m²) foram distanciados na área experimental a 5 m entre si. Em ambos, a semeadura de nabo forrageiro foi realizada, manualmente, em 10/06/2010. No primeiro ensaio a semeadura foi realizada a lanço e a densidade foi de 150 plantas m⁻². No segundo ensaio a semeadura foi realizada em linhas com um total de 75 fileiras de 15 m de comprimento, espaçadas de 0,20 m. Nesse segundo ensaio a densidade foi ajustada, por meio de semeadura em excesso e posterior desbaste, para 15 plantas por metro linear (75 plantas m⁻²). Em ambos os ensaios a adubação de base foi de 30 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 28 dias após a emergência, foram aplicados 100 kg de N ha⁻¹.

Em cada ensaio de uniformidade, a área central de tamanho 12 m × 12 m (144 m²) foi dividida em 288 unidades experimentais básicas (UEB) de 1,00 m × 0,50 m (0,50 m²), formando uma matriz de 12 linhas e 24 colunas. Aos 90 dias após a semeadura, na fase de pleno florescimento do nabo forrageiro, em cada UEB foram cortadas as plantas, junto à superfície do solo, e pesada a massa verde, em gramas.

Inicialmente, em cada ensaio de uniformidade, a partir da massa verde das 288

unidades experimentais básicas, foram planejadas, parcelas com X_L UEB adjacentes na linha e X_C UEB adjacentes na coluna. As parcelas com diferentes tamanhos e/ou formas foram planejadas como sendo (X=X_L×X_C), ou seja, (1×1); (1×2); (1×3); (1×4); (1×6); (1×8); (1×12); (2×2); (2×3); (2×4); (2×6); (2×8); (2×12); (3×3); (3×4); (3×6); (3×8); (3×12); (4×4); (4×6); (4×8); (4×12); (6×6); (6×8) e (6×12).

Após, em cada ensaio de uniformidade, para cada tamanho de parcela (X) foram determinados: n - número de parcelas com X UEB de tamanho (n=288/X); M_(X) - média das parcelas com X UEB de tamanho; V_(X) - variância entre as parcelas de X UEB de tamanho; CV_(X) - coeficiente de variação (em porcentagem) entre as parcelas de X UEB de tamanho; e, VU_(X) - variância por UEB entre as parcelas de X UEB de tamanho [VU_(X)=V_(X)/X²].

A seguir, para cada tamanho de parcela (X), aplicaram-se os testes t (bilateral) e F (bilateral), a 5% de probabilidade, para testar, respectivamente, as hipóteses de igualdade entre as médias e de homogeneidade entre as variâncias, da massa verde mensurada em cada ensaio de uniformidade (semeadura a lanço e semeadura em linha).

Depois, para cada ensaio de uniformidade, foram estimados os parâmetros V1 (estimativa da variância por UEB entre as parcelas de uma UEB de tamanho) e b (estimativa do índice de heterogeneidade do solo) e o coeficiente de determinação (r²) da função VU_(X)=V1/X^b de Smith (1938). Esses parâmetros foram estimados mediante a transformação logarítmica da função VU_(X)=V1/X^b (SMITH, 1938), ou seja, log VU_(X)=log V1-b log X, cuja estimação foi ponderada pelos graus de liberdade (GL=n-1), associados a cada um dos tamanhos de parcela (STEEL; TORRIE; DICKEY, 1997). Os valores observados das variáveis dependente [VU_(X)] e independente (X) e a função VU_(X)=V1/X^b (SMITH, 1938), para cada ensaio de uniformidade, foram representados graficamente.

Para cada ensaio de uniformidade, foram simulados planejamentos experimentais no delineamento blocos ao acaso (comumente utilizado em experimentos em campo) para os cenários formados pelas combinações de i tratamentos (i=5; 10; 15; 20), r repetições (r=3; 4; 5; ...; 10) e d diferenças entre médias de tratamentos a serem detectadas como significativas a 5% de probabilidade, expressa em porcentagem da média geral do experimento, ou seja, diferentes níveis de precisão (d=2; 4; 6; ...; 30%). Percentuais menores de d indicam maior precisão, ou seja, diferenças menores entre médias de tratamentos serão consideradas significativas, enquanto que

percentuais maiores de d indicam menor precisão experimental.

Em cada ensaio de uniformidade (semeadura a lanço e semeadura em linha), para cada planejamento experimental foi calculado o tamanho ótimo de parcela (X_o), em número de UEB (arredondado para o número inteiro superior), por meio da expressão $X_o = \sqrt[3]{2(t_1 + t_2)^2 CV^2 / r d^2}$ (HATHEWAY, 1961). Nessa expressão b é a estimativa do índice de heterogeneidade do solo; t_1 é o valor crítico da distribuição t de *Student* para o nível de significância do teste (erro tipo I) de $\alpha=5\%$ (teste bilateral a 5%), com GL graus de liberdade; t_2 é o valor crítico da distribuição t de *Student*, correspondente a $2(1-P)$ (teste bilateral), onde P é a probabilidade de obter resultado significativo, ou seja, o poder do teste ($P=0,80$, nesse estudo), com GL graus de liberdade; CV é a estimativa do coeficiente de variação entre as parcelas de uma UEB de tamanho, em percentagem; r é o número de repetições e d é a diferença entre médias de tratamentos a serem detectadas como significativas a 5% de probabilidade, expressa em percentagem da média geral do experimento (precisão). Os graus de liberdade (GL) para obtenção dos valores críticos (tabelados) da distribuição de t de *Student* foram obtidos pela expressão $GL=(i-1)(r-1)$, onde i é o número de tratamentos e r é o número de repetições. Os valores de t_1 e de t_2 , nesse estudo, foram obtidos com o aplicativo Microsoft Office Excel®, por meio das funções $t_1=INV(T(0,05;GL))$ e $t_2=INV(T(0,40;GL))$, respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006) e do aplicativo Microsoft Office Excel®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), no pleno florescimento, na área onde foram avaliadas as 288 unidades experimentais básicas (UEB) de 0,50 m², com semeadura a lanço, oscilou entre 17.560 kg ha⁻¹ e 46.700 kg ha⁻¹ e a média foi de 31.200 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Na área onde foram avaliadas as 288 UEB de 0,50 m², com semeadura em linha, a massa verde variou entre 20.500 kg ha⁻¹ e 41.180 kg ha⁻¹ e a média foi de 30.624 kg ha⁻¹. Esses resultados revelam ampla variabilidade entre as UEB, nos dois ensaios de uniformidade, o que é particularmente importante para o estudo de tamanho ótimo de parcela, pois refletem condições reais de áreas de campo.

Tomando como base os resultados de Valicheski et al. (2012), a massa seca de parte aérea equivale a 10,3% (1.846 kg ha⁻¹/17.970 kg ha⁻¹×100) da massa verde de parte aérea. Portanto, os resultados desse trabalho, em relação à massa verde de nabo forrageiro, foram semelhantes aos obtidos por Crusciol et al. (2005), Lima et al. (2007), Moraes et al. (2009), Azevedo et al. (2012) e Valicheski et al. (2012), o que revela crescimento e desenvolvimento adequado das plantas e, conseqüentemente, credibilidade desse banco de dados para o estudo proposto.

Em relação à massa verde de nabo forrageiro, nos 25 tamanhos de parcelas planejados, não houve diferença ($p>0,05$) entre os sistemas de semeadura a lanço e em linha (Tabela 1), embora a densidade de plantas no ensaio de uniformidade com semeadura a lanço (150 plantas m⁻²) tenha sido o dobro em relação ao ensaio de uniformidade com semeadura em linha (75 plantas m⁻²). Para a definição de técnicas experimentais adequadas, considerando o fato de não haver diferença de massa verde entre os sistemas de semeadura, é importante investigar se há diferença na variabilidade entre as UEB dos sistemas. O sistema de semeadura com menor variabilidade entre as UEB, deverá ser o preferido, pois possibilitará a execução de experimentos mais precisos.

Em 15 (60%) dos 25 tamanhos de parcelas planejados, as variâncias de massa verde entre os sistemas de semeadura a lanço e em linha foram heterogêneas ($P\leq 0,05$), o que evidencia a necessidade de tamanhos de parcela diferenciados. Embora, nos demais dez tamanhos de parcelas planejados as variâncias tenham sido homogêneas ($P>0,05$), nos 25 tamanhos de parcelas planejados, a magnitude da variância entre as parcelas foi superior no ensaio de uniformidade com semeadura a lanço em relação ao ensaio com semeadura em linha. Superioridade da variância por UEB [$VU_{(x)}$] (Tabela 1 e Figura 1) e do coeficiente de variação [$CV_{(x)}$] no ensaio com semeadura a lanço em relação ao ensaio com semeadura em linha, também foi constatada nos 25 tamanhos de parcelas planejados (Tabela 1). Variabilidades distintas e, conseqüentemente, tamanhos de parcela diferenciados, para uma mesma precisão experimental, foram constatadas entre os sistemas de semeadura (plantio direto e convencional) de trigo (HENRIQUES NETO et al., 2004), entre os caracteres de mandioca (VIANA et al., 2003) e de trigo (LORENTZ et al., 2007), entre as densidades de semeadura de sorgo granífero (LOPES et al., 2005), entre as formas de cultivo (em solo ou em hidroponia) de morangueiro (COCCO et al., 2009) e entre os ambientes de cultivo (protegido

e não protegido) de feijão-vagem (SANTOS et al., 2012).

No ensaio de uniformidade com semeadura em linha, as sementes foram distribuídas em excesso e, posteriormente, foi realizado o desbaste. Isso pode ter proporcionado uma melhor distribuição espacial das plantas na área experimental e, conseqüentemente, maior uniformidade, crescimento e desenvolvimento das plantas. Por outro lado, no ensaio de uniformidade com semeadura a lanço, possíveis concentrações

(irregularidades) maiores ou menores de sementes, no momento da semeadura, podem ter ocasionado maior variabilidade. Portanto, do ponto de vista de técnicas experimentais, pode-se inferir que experimentos para avaliação de massa verde de nabo forrageiro devem, preferencialmente, serem conduzidos com o sistema de semeadura em linha, pois serão mais precisos em relação ao sistema de semeadura a lanço, mesmo com densidades de plantas diferenciadas.

Tabela 1. Tamanho de parcela planejado ($X=X_L \times X_C$), em unidades experimentais básicas (UEB), com X_L UEB adjacentes na linha e X_C UEB adjacentes na coluna, número de parcelas com X UEB de tamanho ($n=288/X$); média das parcelas com X UEB de tamanho [$M_{(X)}$], em gramas; variância entre as parcelas de X UEB de tamanho [$V_{(X)}$]; coeficiente de variação (em porcentagem) entre as parcelas de X UEB de tamanho [$CV_{(X)}$]; e, variância por UEB entre as parcelas de X UEB de tamanho [$VU_{(X)}=V_{(X)}/X^2$]. Dados de massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) semeados a lanço (ensaio de uniformidade 1 com 288 UEB) e em linha (ensaio de uniformidade 2 com 288 UEB).

X_L	X_C	X	n	Média ⁽¹⁾		Teste t	Variância ⁽²⁾		Teste F	VU _(X)		CV _(X)	
				Lanço	Linha	Valor-p	Lanço	Linha	Valor-p	Lanço	Linha	Lanço	Linha
1	1	1	288	1.560 a	1.531 a	0,189	94.202 a	44.181 b	0,000	94.202	44.181	19,67	13,73
1	2	2	144	3.120 a	3.062 a	0,273	284.480 a	111.923 b	0,000	71.120	27.981	17,10	10,92
1	3	3	96	4.680 a	4.594 a	0,319	512.050 a	205.453 b	0,000	56.894	22.828	15,29	9,87
1	4	4	72	6.240 a	6.125 a	0,370	848.824 a	333.178 b	0,000	53.051	20.824	14,76	9,42
1	6	6	48	9.360 a	9.187 a	0,433	1.673.461 a	640.602 b	0,001	46.485	17.795	13,82	8,71
1	8	8	36	12.480 a	12.249 a	0,451	2.264.072 a	1.058.632 b	0,027	35.376	16.541	12,06	8,40
1	12	12	24	18.720 a	18.374 a	0,526	4.933.770 a	2.086.179 b	0,044	34.262	14.487	11,87	7,86
2	2	4	72	6.240 a	6.125 a	0,355	816.371 a	295.588 b	0,000	51.023	18.474	14,48	8,88
2	3	6	48	9.360 a	9.187 a	0,412	1.550.432 a	561.720 b	0,001	43.068	15.603	13,30	8,16
2	4	8	36	12.480 a	12.249 a	0,461	2.533.134 a	947.908 b	0,005	39.580	14.811	12,75	7,95
2	6	12	24	18.720 a	18.374 a	0,529	5.314.151 a	1.826.747 b	0,013	36.904	12.686	12,31	7,36
2	8	16	18	24.960 a	24.499 a	0,538	6.743.285 a	3.126.050 a	0,123	26.341	12.211	10,40	7,22
2	12	24	12	37.440 a	36.748 a	0,618	16.209.513 a	6.167.442 a	0,124	28.142	10.707	10,75	6,76
3	3	9	32	14.040 a	13.781 a	0,472	3.237.295 a	862.463 b	0,000	39.967	10.648	12,82	6,74
3	4	12	24	18.720 a	18.374 a	0,519	5.178.432 a	1.609.904 b	0,007	35.961	11.180	12,16	6,91
3	6	18	16	28.080 a	27.561 a	0,597	11.927.420 a	3.090.081 b	0,013	36.813	9.537	12,30	6,38
3	8	24	12	37.440 a	36.748 a	0,603	15.352.672 a	5.277.497 a	0,090	26.654	9.162	10,47	6,25
3	12	36	8	56.159 a	55.123 a	0,684	38.586.964 a	11.233.707 a	0,126	29.774	8.668	11,06	6,08
4	4	16	18	24.960 a	24.499 a	0,543	7.414.680 a	2.714.342 b	0,045	28.964	10.603	10,91	6,72
4	6	24	12	37.440 a	36.748 a	0,614	16.922.164 a	4.947.910 a	0,053	29.379	8.590	10,99	6,05
4	8	32	9	49.919 a	48.998 a	0,614	19.910.428 a	8.992.995 a	0,282	19.444	8.782	8,94	6,12
4	12	48	6	74.879 a	73.497 a	0,697	53.528.937 a	18.083.199 a	0,259	23.233	7.849	9,77	5,79
6	6	36	8	56.159 a	55.123 a	0,666	33.202.940 a	11.053.140 a	0,170	25.620	8.529	10,26	6,03
6	8	48	6	74.879 a	73.497 a	0,668	39.425.981 a	19.190.198 a	0,448	17.112	8.329	8,39	5,96
6	12	72	4	112.319 a	110.245 a	0,750	111.369.745 a	43.768.967 a	0,463	21.483	8.443	9,40	6,00

⁽¹⁾ Em cada tamanho de parcela planejado (X) as médias de massa verde nos ensaios com semeadura a lanço e em linha, não seguidas pela mesma letra, diferem pelo teste t bilateral, a 5% de probabilidade de erro. ⁽²⁾ Em cada tamanho de parcela planejado (X) as variâncias de massa verde nos ensaios com semeadura a lanço e em linha, não seguidas pela mesma letra, são heterogêneas pelo teste F bilateral, a 5% de probabilidade de erro.

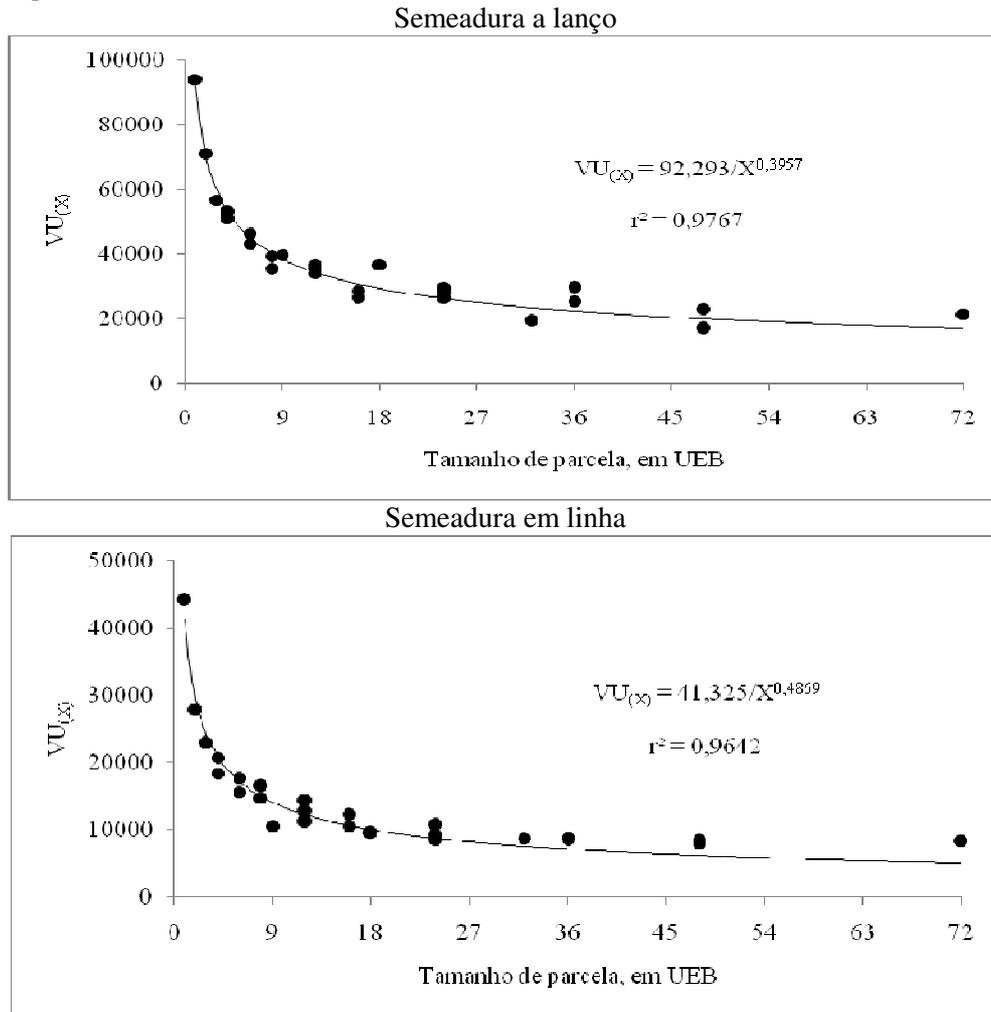


Figura 1. Representação gráfica da relação entre a variância por unidade experimental básica (UEB) entre as parcelas de X UEB de tamanho $[VU(x)=V(x)/X^2]$ e o tamanho de parcela planejado (X), em UEB e estimativas dos parâmetros da função $VU(x)=V1/X^b$ de Smith (1938). Dados de massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) semeados a lanço (ensaio de uniformidade 1 com 288 UEB) e em linha (ensaio de uniformidade 2 com 288 UEB).

O tamanho ótimo de parcela (X_0), em UEB, para avaliar a massa verde de nabo forrageiro, estimado por meio do método de Hatheway (1961), com número fixo de tratamentos e de repetições, aumenta com o acréscimo da precisão desejada (Tabelas 2 e 3). Por exemplo, caso o pesquisador queira avaliar 5 tratamentos com 3 repetições, com sistema de semeadura a lanço, e deseja que em 80% dos experimentos (poder=0,80) diferenças entre tratamentos de $d=30\%$ da média geral do experimento (menor precisão), sejam detectadas como significativas a 5% de probabilidade, o tamanho de parcela deverá ser de 16 UEB (8,00 m²) (Tabela 2). Nessas mesmas condições, em outro extremo, precisaria de uma parcela com 13.265.497 UEB (6.632.748,50 m²) para $d=2\%$ (maior precisão). Alterando somente o sistema de semeadura para em linha, o pesquisador poderia utilizar parcelas de 3 UEB (1,50 m²) e de 140.299

UEB (70.149,50 m²) para obter d de 30% (menor precisão) e 2% (maior precisão), respectivamente (Tabela 3). Portanto, diante desse cenário, confirma-se que o sistema de semeadura em linha deve ser o preferido em relação ao lanço, pois possibilita planejar experimentos com mesma precisão em áreas experimentais menores. Esses resultados demonstram, também, que altas precisões experimentais (baixos percentuais de d) são difíceis de serem alcançados na prática, em função do elevado tamanho de parcela necessário.

Fixando o número de tratamentos (i) e a precisão (d), o tamanho ótimo de parcela (X_0) diminui com o acréscimo do número de repetições (r). Também com valores fixos de repetições (r) e precisão (d), há diminuição do tamanho ótimo de parcela (X_0) com o acréscimo do número de tratamentos (i) (Tabelas 2 e 3). Esses resultados são esperados, pois com maior número de tratamentos e

de repetições, a estimativa da variância residual (quadrado médio do erro) será menor (maior precisão) devido ao maior número de graus de liberdade do erro.

Na metodologia de Hatheway (1961), o tamanho ótimo de parcela (X_o) é dependente do número de tratamentos (i), do número de repetições (r) e da precisão (d). Portanto, o pesquisador, partindo do número de tratamentos que deseja avaliar e da precisão desejada pode utilizar as informações desse estudo, para planejar o tamanho de parcela e o número de repetições a ser utilizado.

Por exemplo, caso o pesquisador queira avaliar 10 tratamentos e deseja precisão (d) de 30%, poderá utilizar parcelas de 11 UEB ($6,50 \text{ m}^2$) de tamanho e 3 repetições, caso a semeadura seja a lanço (Tabela 2). Caso a opção seja semeadura em linha, esses 10 tratamentos avaliados em parcelas de 2 UEB ($1,00 \text{ m}^2$) de tamanho e com 3 repetições teriam precisão de $d=30\%$ (Tabela 3). No sistema de semeadura a lanço, fixando 4 repetições e $d=30\%$, o tamanho ótimo de parcela (X_o) foi de 6; 5; 5 e 5 UEB para avaliar 5; 10; 15 e 20 tratamentos, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Tamanho ótimo de parcela (X_o), em unidades experimentais básicas (UEB) estimado por meio da metodologia de Hatheway (1961), para planejamentos experimentais no delineamento blocos ao acaso, em cenários formados pelas combinações de i tratamentos, r repetições e d diferenças entre médias de tratamentos a ser detectada como significativa a 5% de probabilidade, expressa em porcentagem da média geral do experimento (precisão), para os dados de massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) semeado a lanço.

i	r	d(%)														
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	3	13.265.497	399.285	51.440	12.019	3.891	1.549	711	362	200	118	73	47	32	22	16
5	4	5.083.296	153.005	19.712	4.606	1.491	594	273	139	77	45	28	18	12	9	6
5	5	2.585.988	77.837	10.028	2.343	759	302	139	71	39	23	15	10	7	5	3
5	6	1.527.301	45.971	5.923	1.384	448	179	82	42	23	14	9	6	4	3	2
5	7	990.624	29.818	3.842	898	291	116	54	28	15	9	6	4	3	2	2
5	8	685.517	20.634	2.659	622	202	81	37	19	11	7	4	3	2	2	1
5	9	497.517	14.975	1.930	451	146	59	27	14	8	5	3	2	2	1	1
5	10	374.523	11.273	1.453	340	110	44	21	11	6	4	3	2	1	1	1
10	3	9.063.731	272.814	35.147	8.212	2.659	1.058	486	248	137	81	50	32	22	15	11
10	4	3.978.278	119.744	15.427	3.605	1.167	465	214	109	60	36	22	14	10	7	5
10	5	2.158.730	64.977	8.371	1.956	634	252	116	59	33	20	12	8	6	4	3
10	6	1.323.889	39.849	5.134	1.200	389	155	71	37	20	12	8	5	4	3	2
10	7	880.138	26.492	3.413	798	259	103	48	25	14	8	5	4	3	2	2
10	8	619.758	18.655	2.404	562	182	73	34	17	10	6	4	3	2	1	1
10	9	455.653	13.715	1.767	413	134	54	25	13	7	5	3	2	2	1	1
10	10	346.455	10.429	1.344	314	102	41	19	10	6	4	2	2	1	1	1
15	3	8.174.592	246.051	31.699	7.406	2.398	955	438	223	123	73	45	29	20	14	10
15	4	3.718.233	111.917	14.419	3.369	1.091	434	200	102	56	33	21	14	9	6	5
15	5	2.052.949	61.793	7.961	1.860	603	240	110	56	31	19	12	8	5	4	3
15	6	1.272.009	38.287	4.933	1.153	374	149	69	35	20	12	7	5	3	3	2
15	7	851.404	25.627	3.302	772	250	100	46	24	13	8	5	3	2	2	1
15	8	602.418	18.133	2.336	546	177	71	33	17	10	6	4	3	2	1	1
15	9	444.500	13.380	1.724	403	131	52	24	13	7	4	3	2	2	1	1
15	10	338.918	10.202	1.315	308	100	40	19	10	6	3	2	2	1	1	1
20	3	7.790.969	234.504	30.211	7.059	2.286	910	418	213	118	69	43	28	19	13	9
20	4	3.602.390	108.430	13.969	3.264	1.057	421	193	99	55	32	20	13	9	6	5
20	5	2.005.082	60.352	7.776	1.817	589	235	108	55	31	18	11	8	5	4	3
20	6	1.248.314	37.574	4.841	1.131	367	146	67	35	19	12	7	5	3	3	2
20	7	838.199	25.230	3.251	760	246	98	45	23	13	8	5	3	2	2	1
20	8	594.415	17.892	2.305	539	175	70	32	17	9	6	4	3	2	1	1
20	9	439.335	13.224	1.704	399	129	52	24	12	7	4	3	2	2	1	1
20	10	335.419	10.096	1.301	304	99	40	18	10	6	3	2	2	1	1	1

Tabela 3. Tamanho ótimo de parcela (X_o), em unidades experimentais básicas (UEB) estimado por meio da metodologia de Hatheway (1961), para planejamentos experimentais no delineamento blocos ao acaso, em cenários formados pelas combinações de i tratamentos, r repetições e d diferenças entre médias de tratamentos a ser detectada como significativa a 5% de probabilidade, expressa em percentagem da média geral do experimento (precisão), para os dados de massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) semeado em linha.

i	r	d(%)														
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	3	140.299	8.137	1.539	472	189	90	48	28	17	11	8	6	4	3	3
5	4	64.338	3.732	706	217	87	41	22	13	8	6	4	3	2	2	1
5	5	37.146	2.155	408	125	50	24	13	8	5	3	2	2	1	1	1
5	6	24.212	1.405	266	82	33	16	9	5	3	2	2	1	1	1	1
5	7	17.030	988	187	58	23	11	6	4	3	2	1	1	1	1	1
5	8	12.626	733	139	43	17	9	5	3	2	1	1	1	1	1	1
5	9	9.730	565	107	33	14	7	4	2	2	1	1	1	1	1	1
5	10	7.725	448	85	26	11	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1
10	3	102.946	5.971	1.129	347	139	66	35	21	13	9	6	4	3	3	2
10	4	52.717	3.058	579	178	71	34	18	11	7	5	3	2	2	2	1
10	5	32.075	1.861	352	108	44	21	11	7	4	3	2	2	1	1	1
10	6	21.556	1.251	237	73	29	14	8	5	3	2	2	1	1	1	1
10	7	15.469	898	170	53	21	10	6	4	2	2	1	1	1	1	1
10	8	11.632	675	128	40	16	8	4	3	2	1	1	1	1	1	1
10	9	9.059	526	100	31	13	6	4	2	2	1	1	1	1	1	1
10	10	7.251	421	80	25	10	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1
15	3	94.659	5.490	1.039	319	128	61	32	19	12	8	5	4	3	2	2
15	4	49.899	2.894	548	168	68	32	17	10	7	4	3	2	2	1	1
15	5	30.791	1.786	338	104	42	20	11	7	4	3	2	2	1	1	1
15	6	20.867	1.211	229	71	29	14	8	5	3	2	2	1	1	1	1
15	7	15.058	874	166	51	21	10	6	3	2	2	1	1	1	1	1
15	8	11.367	660	125	39	16	8	4	3	2	1	1	1	1	1	1
15	9	8.879	515	98	30	12	6	3	2	2	1	1	1	1	1	1
15	10	7.122	414	79	24	10	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1
20	3	91.032	5.280	999	307	123	58	31	18	11	8	5	4	3	2	2
20	4	48.631	2.821	534	164	66	31	17	10	6	4	3	2	2	1	1
20	5	30.207	1.752	332	102	41	20	11	6	4	3	2	2	1	1	1
20	6	20.551	1.192	226	70	28	14	7	5	3	2	2	1	1	1	1
20	7	14.868	863	164	51	20	10	6	3	2	2	1	1	1	1	1
20	8	11.244	653	124	38	16	8	4	3	2	1	1	1	1	1	1
20	9	8.795	511	97	30	12	6	3	2	2	1	1	1	1	1	1
20	10	7.063	410	78	24	10	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1

No sistema de semeadura em linha, fixando 4 repetições e $d=20\%$, o tamanho ótimo de parcela (X_o) foi de 6; 5; 4 e 4 UEB para avaliar 5; 10; 15 e 20 tratamentos, respectivamente. Portanto, de maneira geral (valor médio), pode-se inferir que para avaliar a massa verde de nabo forrageiro, experimentos conduzidos no delineamento blocos ao acaso (DBA), com parcelas de 5 UEB ($2,50\text{ m}^2$) de tamanho e com 4 repetições, possibilitam a avaliação de 5 a 20 tratamentos com d de 30% (menor precisão) para o sistema de semeadura a lanço e d de 20% (maior precisão) para o sistema de semeadura em linha. Para avaliar a massa verde de nabo forrageiro, Cargnelutti Filho et al. (2011) constataram que o tamanho ótimo de parcela foi

4,82 UEB de $0,25\text{ m}^2$ ($1,20\text{ m}^2$). No entanto, a metodologia utilizada no estudo, não possibilitou aos autores investigarem o delineamento experimental, o número de tratamentos, o número de repetições e a precisão experimental associados ao tamanho de parcela.

Para avaliar a massa verde de nabo forrageiro em um experimento a lanço, no DBA com 5 tratamentos e 4 repetições, caso o pesquisador deseja d de 20% necessitará usar X_o de 45 UEB (Tabela 2). Portanto precisará de uma área experimental de 450 m^2 ($5 \times 4 \times 45 = 900$ UEB). Mas, se ao invés de 4 usar 5 repetições a mesma precisão de 20% poderá ser obtida em uma área menor, ou seja, em $287,50\text{ m}^2$ ($5 \times 5 \times 23 = 575$ UEB). Esse caso

revela que para uma mesma precisão, parcelas menores e maior número de repetições são mais eficientes no uso da área experimental, conforme discutido em pesquisas de Nagai et al. (1978), Igue et al. (1999), Alves e Seraphin (2004) e Henriques Neto et al. (2004).

O pesquisador deve investigar dentro de sua disponibilidade de área experimental, de número de tratamentos a serem avaliados e da precisão desejada, qual a combinação de tamanho de parcela e de número de repetições mais adequada. As informações disponibilizadas nesse estudo possibilitam essas investigações, para um número restrito de cenários formados pelas combinações de i tratamentos ($i=5; 10; 15; 20$), r repetições ($r=3; 4; 5; \dots; 10$) e d diferenças entre médias de tratamentos a serem detectadas como significativa a 5% de probabilidade ($d=2; 4; 6; \dots; 30\%$) (Tabelas 2 e 3). Porém, outros cenários poderão ser simulados por meio da expressão

$X_o = \sqrt[0.4869]{2(t_1 + t_2)^2 CV^2 / r d^2}$ (HATHEWAY, 1961), a partir das estimativas do índice b de heterogeneidade do solo de Smith (1938) (Figura 1) e do coeficiente de variação (CV) entre as 288 UEB (Tabela 1). Por exemplo, caso o pesquisador queira avaliar 6 tratamentos com 4 repetições e com $d=15\%$, o tamanho ótimo de parcela (X_o), para os seguintes casos, será: 1) delineamento blocos ao acaso com semeadura a lanço: $b=0,3957$; $GL=(6-1)(4-1)=15$; $t_1=INV T(0,05;15)=2,1314$; $t_2=INV T(0,40;15)=0,8662$; $CV=19,6748\%$; $r=4$; $d=15\%$, logo

$$X_o = \sqrt[0.3957]{2(2,1314 + 0,8662)^2 19,6748^2 / 4 \times 15^2} = 175,5857 \approx 176 \text{ UEB};$$

2) delineamento inteiramente casualizado com semeadura a lanço: $b=0,3957$; $GL=i(r-1)=6(4-1)=18$; $t_1=INV T(0,05;18)=2,1009$; $t_2=INV T(0,40;18)=0,8620$; $CV=19,6748\%$; $r=4$; $d=15\%$, logo

$$X_o = \sqrt[0.3957]{2(2,1009 + 0,8620)^2 19,6748^2 / 4 \times 15^2} = 165,5447 \approx 166 \text{ UEB}$$

; 3) delineamento blocos ao acaso com semeadura em linha: $b=0,4869$; $GL=(6-1)(4-1)=15$; $t_1=INV T(0,05;15)=2,1314$; $t_2=INV T(0,40;15)=0,8662$; $CV=13,7275\%$; $r=4$; $d=15\%$, assim

$$X_o = \sqrt[0.4869]{2(2,1314 + 0,8662)^2 13,7275^2 / 4 \times 15^2} = 15,2100 \approx 16 \text{ UEB};$$

4) delineamento inteiramente casualizado com semeadura em linha: $b=0,4869$; $GL=i(r-1)=6(4-$

$1)=18$; $t_1=INV T(0,05;18)=2,1009$; $t_2=INV T(0,40;18)=0,8620$; $CV=13,7275\%$; $r=4$; $d=15\%$, assim,

$$X_o = \sqrt[0.4869]{2(2,1009 + 0,8620)^2 13,7275^2 / 4 \times 15^2} = 14,4992 \approx 15 \text{ UEB}.$$

Nessas expressões foram apresentados os dados com quatro casas decimais, mas os cálculos foram realizados com todas as casas decimais disponibilizadas no aplicativo Microsoft Office Excel®.

Na prática, os resultados apresentados nesse estudo possibilitam ao pesquisador escolher a combinação de tamanho de parcela e número de repetições que satisfaça a necessidade do número de tratamentos que deseja avaliar e da precisão requerida. Além disso, oferece estimativas que podem ser utilizadas para simular planejamentos experimentais não contemplados nesse estudo. Portanto, a definição do tamanho de parcela e do número de repetições, para o planejamento de experimentos com a cultura do nabo forrageiro, fica a critério do pesquisador que usufruir dessas informações.

CONCLUSÕES

Para avaliar a massa verde de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), com mesma precisão, o tamanho ótimo de parcela em experimentos com semeadura a lanço é maior que para experimentos com semeadura em linha.

Para avaliar a massa verde de nabo forrageiro em experimentos no delineamento blocos ao acaso, com 5 a 20 tratamentos e com 4 repetições, parcelas de 5 unidades experimentais básicas de 0,50 m² (2,50 m²), possibilitam identificar diferenças significativas entre tratamentos, a 5% de probabilidade, de 30% e 20% da média geral do experimento, respectivamente, para o sistemas de semeadura a lanço e em linha.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa aos autores. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo auxílio financeiro.

ABSTRACT: The objective of this research was to determine the optimum plot size to evaluate the fresh weight of turnip (*Raphanus sativus* L.), in experiments with sowing to haul and in line, in scenarios formed by combinations of numbers of treatments, number of repetitions and levels of precision. Was carried out uniformity assay with sowing to haul and in line. In each assay was weighed the fresh weight in 288 basic experimental units of 1.00 m × 0.50 m (0.50 m²). It was determined soil heterogeneity index of Smith (1938) and determined the optimum plot size by the

method of Hatheway (1961). To evaluate the fresh weight of turnip, with same precision, the optimum plot size in experiments with sowing to haul is greater than for experiments with sowing in line. In experiments on randomized complete block, with 5 to 20 treatments and 4 repetitions, plots of 5 UEB of 0.50 m² (2.50 m²), possible to identify significant differences between treatments, at 5% probability, of 30% and 20% of the average experiment, respectively, seeding systems for to haul and in line.

KEYWORDS: *Raphanus sativus* L.. Optimum plot size. Number of replications. Experimental precision.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S. M. de F.; SERAPHIN, J. C. Coeficiente de heterogeneidade do solo e tamanho de parcela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 105-111, 2004.
- AZEVEDO, F. A. de; ROSSETTO, M. P.; SCHINOR, E. H.; MARTELLI, I. B.; PACHECO, C. de A. Influência do manejo da entrelinha do pomar na produtividade da laranjeira - 'Pera'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 134-142, 2012.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A. L.; CASAROTTO, G. Tamanhos de parcela e de ensaio de uniformidade em nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1517-1525, 2011.
- COCCO, C.; BOLIGON, A. A.; ANDRIOLO, J. L.; OLIVEIRA, C. S.; LORENTZ, L. H. Tamanho e forma de parcela em experimentos com morangueiro cultivado em solo ou em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 681-686, 2009.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. DO V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.
- HATHEWAY, W. H. Convenient plot size. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, n. 4, p. 279-280, 1961.
- HENRIQUES NETO, D.; SEDIYAMA, T.; SOUZA, M. A. de; CECON, P. R.; YAMANAKA, C. H.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIANA, A. E. S. Tamanho de parcelas em experimentos com trigo irrigado sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 517-524, 2004.
- IGUE, T.; ESPIRONELO, A.; CANTARELLA, H.; NELLI, E. J. Tamanho e forma de parcela experimental para cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 163-180, 1991.
- KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 150-158, 2005.
- LIMA, J. D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. da S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 60-63, 2007.
- LOPES, S. J.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; LORENTZ, L. H.; LOVATO, C.; DIAS, V. de O. Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 525-530, 2005.
- LORENTZ, L. H.; MARTIN, T. N.; BOLIGON, A. A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Tamanho de parcela e precisão experimental em ensaios com trigo em plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 129-135, 2007.

- MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; VIGNOLO, G. K.; SANTOS, L. S.; PANOZZO, L. E. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2009.
- NAGAI, V.; PASSOS, F. A.; SCARANARI, H. J.; MARTINS, F. P. Tamanho de parcela e número de repetições em experimentos com morangueiro. **Bragantia**, Campinas, v. 37, n. 9, p. 71-81, 1978.
- PARANAÍBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. de. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira de Biometria**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.
- SANTOS, D.; HAESBAERT, F. M.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 119-128, 2012.
- SMITH, H. F. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. **Journal of Agricultural Science**, Camberra, v. 28, n. 1, p. 1-23, 1938.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach**. 3.ed. Nova York: McGraw-Hill, 1997. 666 p.
- STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.
- VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.
- VIANA, A. E. S.; SEDIYAMA, T.; LOPES, S. C.; CECON, P. R.; SILVA, A. A. da. Estudos sobre tamanho de parcela em experimentos com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 281-289, 2003.