

Correlação canônica e amostragem para estimação da média em caracteres agronômicos da mandioca

Canonical correlation and sampling for estimation of the average in agronomic characters of cassava

André Schoffel¹, Sidinei José Lopes², Jana Koefender³, Diego Pascoal Golle⁴, Juliane Nicolodi Camera⁵

RESUMO: O entendimento das relações lineares entre caracteres e a melhoria do planejamento experimental são importantes na busca do aumento da produtividade da mandioca. Objetivou-se com a elaboração da pesquisa identificar as correlações existentes entre os grupos (ramas e raízes) e determinar o tamanho de amostra para a estimação da média em caracteres agronômicos de ramas e raízes de mandioca. Em setembro de 2019 foi realizado o plantio de 36 acessos de mandioca e três cultivares para a avaliação de caracteres produtivos. Na colheita, foram avaliadas 5 plantas de cada um dos 39 acessos/cultivares, totalizando 195 observações para os caracteres de ramas e raízes. Para a análise de correlação canônica, os caracteres de ramas (Grupo 1) e de raízes (Grupo 2) formaram os grupos de variáveis. Foi usado o procedimento de reamostragem com 2.000 reamostragens, com reposição e o tamanho de amostra foi determinado pelo número de plantas a partir do qual a amplitude do intervalo de confiança de 95% foi igual a 10%, 15% e 20% da estimativa da média. A altura de ramificação da haste principal e o número de gemas por rama devem ser utilizados para a seleção de plantas com raízes de maior comprimento e diâmetro. Plantas com maior número de ramificações apresentam maior massa fresca de raízes. Oitenta e três plantas são suficientes para a estimação da média de caracteres produtivos de parte aérea e raízes de mandioca quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 20% da estimativa da média.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz. Precisão experimental. Relação entre caracteres.

ABSTRACT: The understanding of the linear relationships between characters and the improvement of the experimental design are important in the search to increase the productivity of cassava. The objective of this research was to identify the existing correlations between the groups (branches and roots) and to determine the sample size for the estimation of the average in agronomic characters of branches and roots of cassava. In September 2019, 36 cassava accessions and three cultivars were planted for the evaluation of productive characters. At harvest, 5 plants from each of the 39 accessions/cultivars were evaluated, totaling 195 observations for branches and roots characters. For the canonical correlation analysis, the characters of branches (Group 1) and of roots (Group 2) formed the groups of variables. The resampling procedure was used with 2,000 resamplings, with replacement and the sample size was determined by the number of plants from which the 95% confidence interval amplitude was equal to 10%, 15% and 20% of the estimate of the average. The branching height of the main stem and the number of buds per branch should be used for the selection of plants with roots of greater length and diameter. Plants with a greater number of branches have a greater fresh mass of roots. Eighty-three plants are sufficient to estimate the average of productive traits of shoots and roots of cassava when the confidence interval amplitude was equal to 20% of the average estimate.

Keywords: Experimental precision. *Manihot esculenta* Crantz. Relationship between characters. Resampling.

Autor correspondente: André Schoffel
E-mail: andre-schoffel@hotmail.com

Recebido em: 04/07/2022
Aceito em: 23/03/2022

¹ Doutor. Centro de Ciências da Saúde e Agrárias. Universidade de Cruz Alta. Cruz Alta (RS), Brasil.

² Doutor. Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria (RS), Brasil.

³ Doutora. Centro de Ciências da Saúde e Agrárias. Universidade de Cruz Alta. Cruz Alta (RS), Brasil.

⁴ Doutor. Centro de Ciências da Saúde e Agrárias. Universidade de Cruz Alta. Cruz Alta (RS), Brasil.

⁵ Doutora. Centro de Ciências da Saúde e Agrárias. Universidade de Cruz Alta. Cruz Alta (RS), Brasil.



INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura alimentícia destinada para a produção de raízes com alto potencial energético e por isso é considerada um dos alimentos mais importantes e está presente na dieta alimentar de milhões de pessoas em todo o mundo. Apesar de apresentar múltiplos usos, raízes que apresentam características interessantes de comprimento e diâmetro geralmente são destinadas para o comércio *in natura*. Além disso, é comercializada para o uso culinário em várias formas, tais como: o comércio de raízes refrigeradas, congeladas, pré-cozidas, na forma de “chips”, minimamente processadas e torradas (Saravanan *et al.*, 2016).

O Brasil destaca-se no cultivo mundial de mandioca e ocupa a quarta colocação entre os maiores produtores, sendo a quinta *commodity* agrícola mais produzida no país (FAO, 2018). Apesar disso, nos últimos anos as estatísticas relacionadas ao cultivo da mandioca apresentam tendência de decréscimo, seja em área cultivada, produtividade e produção de raízes. Em 2020, foi estimada produção de em torno de 19 milhões de toneladas e produtividade média de aproximadamente 15 t ha⁻¹ (Conab, 2020). O Rio Grande do Sul é o Estado com o maior número de estabelecimentos agropecuários que cultivam mandioca, com aproximadamente 131 mil estabelecimentos agropecuários e é o sétimo Estado brasileiro em quantidade de raízes produzida, com pouco mais de 368 mil toneladas (Brasil, 2017).

Conhecida pelo cultivo em ambientes caracterizados pela restrição de recursos hídricos, nutricionais e físicos de solo (Araújo *et al.*, 2018), a mandioca é responsiva em ambientes com maior nível tecnológico empregado (Lima *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2019) e o sistema de cultivo influencia caracteres morfológicos e produtivos (Barbosa Júnior *et al.*, 2019).

Apesar da sua importância, nas últimas décadas, a cultura sofre com a escassez de pesquisas direcionadas ao aprimoramento de técnicas de cultivo com o objetivo de melhorar a produtividade e a qualidade da produção de raízes. Ainda, para muitas culturas, informações importantes para o planejamento experimental geralmente são arbitradas pelo pesquisador, como a definição do tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres produtivos.

Pesquisas que identifiquem a associação entre caracteres podem surgir como uma alternativa importante para a seleção de plantas com atributos produtivos desejáveis. A análise de correlação canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite o estudo da associação de dois grupos de variáveis (Cruz; Regazzi, 1997). Com o conhecimento da

associação linear entre grupos, é possível a identificação de caracteres da parte aérea que exercem maior influência sobre o grupo de caracteres produtivos de raízes, contribuindo assim para a seleção indireta de plantas.

Para que os resultados de pesquisas tenham credibilidade, é necessária a avaliação de caracteres de parte aérea e raízes da mandioca com precisão adequada. A mensuração de todas as plantas da unidade experimental é a maneira ideal para a estimação da média, porém, há um grande dispêndio financeiro e de mão de obra em experimentos com maior número de repetições. Nestes casos, a amostragem é uma opção e o uso do tamanho de amostra adequado é importante para que a amostragem seja representativa (Storck *et al.*, 2011). Intervalos de confiança obtidos por reamostragem têm sido usados para o estudo do tamanho de amostra por não dependerem da distribuição de probabilidade dos dados (Ferreira, 2009).

Dada a importância do conhecimento da relação entre caracteres e da escolha do tamanho de amostra de acordo com a variabilidade dos dados e da precisão desejada para a estimativa identificar as correlações existentes entre os grupos (ramas e raízes) e determinar o tamanho de amostra, em número de plantas, para a estimação da média em caracteres agrônômicos de ramas e raízes de mandioca.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Polo de Inovação Tecnológica do Alto Jacuí, na Universidade de Cruz Alta, município de Cruz Alta (RS), localizado sob as coordenadas 28° 38' 19" S, 53° 36' 23" W e altitude média de 452 m. O clima da região é subtropical, tipo Cfa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média do ar é de 18,7 °C, com mínima média de 9,2 °C em julho e média máxima de 30,8 °C em janeiro (Pes *et al.*, 2011), e o solo é classificado como Typic Hapludox (Soil Survey Staff, 2010).

Foi retirada uma amostra de solo na camada de 0-20 cm para caracterizar a fertilidade e a análise revelou: pH em água = 5,5; argila = 50%; matéria orgânica do solo = 3,2%; fósforo = 23,4 mg dm⁻³; potássio = 92 mg dm⁻³; cálcio = 6,0 cmolc dm⁻³; magnésio = 2,5 cmolc dm⁻³; alumínio = 0,0 cmolc dm⁻³; e saturação de bases = 66,8%. A adubação foi aplicada em cobertura de acordo com a recomendação da Comissão de química e fertilidade do solo (2016) para a cultura da mandioca. Foram aplicados 150 kg ha⁻¹ do adubo mineral fórmula (00-20-20) e, no início do acúmulo de amido, quando as plantas apresentavam entre 20 e 25 folhas, foi realizada a aplicação da adubação nitrogenada (ureia) na dose de 50 kg N ha⁻¹.

Em setembro de 2019 foi realizado o plantio de 36 acessos de mandioca e três cultivares (Fepagro RS 13, Fepagro RS 14 e Pronta Mesa) para a avaliação de caracteres produtivos. Os acessos fazem parte do Banco de Germoplasma *in vitro* e *ex vitro* (cadastro SISGEN A867068) e foram coletados em propriedades familiares na região de abrangência do Conselho Regional de Desenvolvimento Alto Jacuí (Corede Alto Jacuí), Rio Grande do Sul. Antecedendo o preparo da área experimental, foi realizada a dessecação do cultivo de inverno com o uso do herbicida Glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ e o preparo do solo foi convencional, constando de uma aração e gradagem.

O plantio foi realizado com manivas com 4 gemas fracionadas com o uso de serra manual. As manivas foram plantadas em sulcos não adubados com 0,15 m de profundidade e espaçamento de 1,0 x 0,6 m. Para cada acesso/cultivar, foi realizado o plantio de 25 manivas. O controle de plantas daninhas foi realizado com capinas, até o fechamento das entrelinhas e foi utilizada irrigação suplementar por aspersão até o 21º dia após o plantio em turno de rega diário único ao final da tarde. O monitoramento e o controle de pragas foram iniciados após a emergência das plantas.

Na colheita, foram avaliadas 5 plantas de cada um dos 39 acessos/cultivares, totalizando 195 observações para os caracteres de rama: altura de ramificação da haste principal (cm), número de ramificações, comprimento de rama (cm), diâmetro de rama (mm) e número de gemas rama⁻¹; e de raízes: comprimento de raízes (cm), diâmetro de raízes (mm), número de raízes e a massa fresca de raízes (g planta⁻¹). O comprimento foi obtido com o uso de trena graduada e o diâmetro com paquímetro digital.

Para a análise de correlação canônica, os caracteres de ramos (Grupo 1) e de raízes (Grupo 2) formaram os grupos de variáveis. Em cada um dos grupos de caracteres formados foram testadas as pressuposições: normalidade multivariada, homocedasticidade dos desvios, multicolinearidade e linearidade. A normalidade multivariada foi verificada no programa R, com o uso dos pacotes MASS e mvShapiroTest (Villasenor Alva; Estrada, 2009). A homocedasticidade dos desvios foi verificada através de diagramas de dispersão e plantas que assumiram valores de desvio padronizado maiores do que 4 ou menores do que -4 foram consideradas discrepantes e removidas da análise (Hair *et al.*, 2009).

A multicolinearidade foi classificada conforme estabelecido por Montgomery & Peck (1982) através do número de condição (NC) e do valor de inflação da variância (VIF). A linearidade foi verificada pela significância do coeficiente da correlação de Pearson em 0,05 de probabilidade de erro, em que foram excluídas variáveis que não apresentaram ao menos uma

correlação linear significativa com o outro grupo. Foi correlacionado o grupo 1 com o 2 e a verificação dos pressupostos e a análise de correlação canônica foram realizadas pelos programas Genes (Cruz, 2006), R (R Development Core Team, 2014) e *Microsoft Excel*.

Para cada um dos caracteres avaliados nas 195 plantas dos 36 acessos e 3 cultivares de mandioca, foi realizada a determinação do tamanho de amostra. Foram calculadas as estatísticas: mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação. A partir dos dados, foram planejados 999 tamanhos de amostra, com o tamanho inicial composto por duas plantas e os demais obtidos com o acréscimo de uma planta, até o tamanho máximo de 1.000 plantas. Desse modo, os tamanhos de amostra planejados foram de 2, 3, 4, ..., até 999 plantas. A seguir, para cada um dos 999 tamanhos de amostra planejados, foi realizado um processo iterativo de reamostragem com 2.000 reamostragens, com reposição. Dessa forma, foram obtidas 2.000 estimativas da média de cada caractere para cada um dos 999 tamanhos de amostras planejados (Ferreira, 2009). A partir destes dados de médias, foram estimadas as estatísticas: valor mínimo, percentil 2,5%, média, percentil 97,5%, valor máximo e a amplitude do intervalo de confiança de 95% ($AIC_{95\%}$) foi calculada pela diferença entre o percentil 97,5% e o percentil 2,5%.

O tamanho de amostra foi determinado pelo número de plantas a partir do qual a amplitude do intervalo de confiança de 95% ($AIC_{95\%}$) for igual a 10%, 15% e 20% da estimativa da média. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R (R Development Core Team, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A linearidade foi verificada pelos coeficientes de correlação linear de Pearson e não houve exclusão de caracteres por apresentarem ao menos uma relação linear significativa com caracteres do outro grupo. Não houve atendimento ao pressuposto da normalidade multivariada dentro dos grupos 1 e 2. Nesta pesquisa foram avaliadas 195 plantas e de acordo com Hair *et al.* (2009); apesar da normalidade multivariada ser o pressuposto mais importante em análise multivariada, a preocupação com a sua ausência pode ser reduzida em estudos com amostras grandes, ou seja, com valores amostrais próximos ou superiores a 200 observações.

Para a verificação de valores discrepantes através de diagramas de dispersão é recomendada a padronização dos desvios por facilitar a comparação entre as variáveis (Hair *et al.*, 2009). Não foram observados valores discrepantes (maior que 4 ou menor que -4) dentro

dos grupos 1 e 2, não sendo necessária a exclusão de plantas. Na verificação da multicolinearidade, o grupo 1 apresentou número de condição de 12,58 e o grupo 2 de 18,60. Valores inferiores a 100 para o número de condição classificam a multicolinearidade como fraca e não foi necessária a exclusão de caracteres. O atendimento ao pressuposto da multicolinearidade é importante por exercer maior influência sobre a confiabilidade das estimativas do que a normalidade multivariada (Toebe; Cargnelutti Filho, 2013).

Os dois primeiros pares canônicos foram significativos e evidenciaram que existiu dependência linear entre os grupos de caracteres de ramos e raízes (Tabela 1). A interpretação deve ser realizada priorizando as informações do primeiro par canônico significativo (Cruz; Regazzi, 1997). O primeiro par canônico apresentou coeficiente de 0,58 e observou-se que o número de ramificações foi o caractere de menor contribuição para a explicação da dependência linear entre os grupos.

Tabela 1. Coeficientes dos pares canônicos dos caracteres dos grupos ramos (Grupo 1) e raízes (Grupo 2)

Caracteres	Coeficientes dos pares canônicos		
	1º	2º	3º
Grupo 1			
ARHP	0,738	0,282	0,776
N RAM	-0,126	0,993	0,507
NGR	0,757	0,106	-0,832
D RAMA	-0,334	-0,363	0,305
Grupo 2			
MFR	-0,298	0,520	-1,302
C RAIZ	0,567	0,816	0,345
D RAIZ	0,786	-1,116	0,371
N RAIZ	0,420	-0,288	1,509
Correlação canônica (r)	0,58	0,41	0,16
Significância χ^2	<0,001*	<0,001*	9,37 ^{ns}
Grau de liberdade	16	9	4

* Significativo pelo teste qui-quadrado, em 0,05 de probabilidade.

¹ ARHP: altura de ramificação da haste principal; N RAM: número de ramificações; NGR: número de gemas por rama; D RAMA: diâmetro de rama; MFR: massa fresca de raízes; C RAIZ: comprimento de raízes; D RAIZ: diâmetro de raízes; N RAIZ: número de raízes.

ns: Não significativo.

De acordo com o primeiro par canônico, plantas com maior altura de ramificação da haste principal e número de gemas por rama proporcionaram a produção de raízes em maior número, diâmetro e comprimento. A síntese de produtos da fotossíntese é favorecida em plantas com dossel vegetativo estruturado, e, com isso, ocorre o aumento da fotossíntese líquida e o direcionamento destes subprodutos para o enchimento das raízes, aumentando de forma expressiva o seu diâmetro (Figueiredo *et al.*, 2014). Esse resultado difere do observado por El-

Sharkawy e Tafur (2010), em que os autores sugerem que a seleção de genótipos com menor altura de ramificação da haste principal é adequada para a produção de raízes.

Por outro lado, de acordo com o segundo par canônico observou-se que plantas com maior número de ramificações apresentaram raízes com maior massa e comprimento. Esse resultado pode ser explicado pela maior área foliar em plantas com maior número de ramificações, que contribuiu para a maior produção de fotoassimilados que são destinados para as raízes durante o período de tuberização, que é iniciado após a definição do número e do comprimento das raízes (Figueiredo *et al.*, 2014). A área foliar é importante para maximizar o potencial fotossintético das plantas e, além de contribuir para o crescimento e desenvolvimento, exerce forte influência sobre o acúmulo de massa seca (Phothi; Theerakarunwong, 2017) e na habilidade competitiva com plantas daninhas, uma vez que a competição é capaz de causar reduções drásticas no índice de área foliar da cultura e, conseqüentemente, afeta negativamente a tuberização das raízes (Ferreira *et al.*, 2015).

O entendimento da relação existente entre os grupos de caracteres de parte aérea e de raízes de mandioca é importante para a definição de técnicas de manejo e para o estabelecimento de caracteres da parte aérea que servem como indicadores para a seleção de plantas com melhor produtividade e qualidade de raízes. De acordo com Silva *et al.* (2013), caracteres de parte aérea e o número, comprimento e a massa fresca de raízes são influenciados pela população de plantas e o ajuste da densidade de plantio é essencial para o aumento da produtividade e para o melhor uso de recursos como radiação solar, água e nutrientes. Pesquisas com diferentes genótipos podem contribuir no aumento da produtividade da cultura da mandioca, principalmente através da definição de caracteres práticos de seleção indireta de plantas e do aprimoramento de técnicas de manejo (Phuntupan; Banterng, 2017).

Observou-se que para a altura de ramificação da haste principal e comprimento de rama os valores médios foram de 1,09 e 0,94 cm, respectivamente. No momento da colheita, buscou-se realizar o corte das ramas a aproximadamente 15 cm da superfície do solo para facilitar a colheita das raízes. O número de ramificações e o número de gemas são governados principalmente por fatores genéticos e apresentam variabilidade entre acessos de mandioca. Os valores médios para estes caracteres foram de 2,41 ramificações planta⁻¹ e 43,64 gemas rama⁻¹ (Tabela 2). O conhecimento do número de ramificações de genótipos de mandioca é importante para a definição da densidade de plantio. Plantas com maior número de ramificações necessitam menores densidades de plantio para expressar o potencial produtivo e para evitar a competição por recursos essenciais, como a radiação solar (Irolivea *et al.*, 1998).

Tabela 2. Estatísticas descritivas de caracteres avaliados em ramas e raízes de plantas de mandioca

Estatística	ARHP ¹	N RAM	D RAMA	C RAMA	NGR	MFR	C		N
							RAIZ	D RAIZ	RAIZ
Mínimo	0,48	0,00	11,94	0,33	16,00	102,80	8,20	19,50	1,00
Máximo	1,90	3,00	27,20	1,75	74,00	3301,60	45,73	46,70	15,00
Amplitude	1,42	3,00	15,26	1,42	58,00	3198,80	37,53	27,20	14,00
Média	1,09	2,41	18,47	0,94	43,64	1273,35	23,82	32,37	6,51
Mediana	1,10	3,00	18,66	0,95	45,00	1219,93	23,68	32,05	6,00
DP	0,29	0,99	3,36	0,29	12,74	580,61	6,00	5,25	2,49
CV (%)	26,64	41,22	18,17	30,88	29,18	45,60	25,19	16,21	38,32

¹ARHP: altura de ramificação da haste principal; N RAM: número de ramificações; D RAMA: diâmetro de rama; C RAMA: comprimento de rama; NGR: número de gemas por rama; MFR: massa fresca de raízes; C RAIZ: comprimento de raízes; D RAIZ: diâmetro de raízes; N RAIZ: número de raízes.

O comprimento e o diâmetro de ramas são importantes por representarem a qualidade e a quantidade de material propagativo produzido que será utilizado para a implantação da cultura na próxima safra. Dentre estes, o diâmetro de rama apresenta importância principal durante o armazenamento e o acúmulo de substâncias de reserva contribui para a manutenção da viabilidade das ramas e, posteriormente, para a emissão de raízes e brotações após o plantio das manivas. A seleção de manivas com alta qualidade fisiológica que proporcione o rápido desenvolvimento inicial da parte aérea é importante para a obtenção de maior produtividade na cultura da mandioca (Yomeni; Akoroda; Dixon, 2012).

Para os caracteres radiculares, a massa fresca de raízes apresentou alta variabilidade, com amplitude de 3198,80 g planta⁻¹, média de 1273,35 g planta⁻¹ e produtividade aproximada de 21 t ha⁻¹. Essa produtividade está dentro do intervalo observado por Tironi *et al.* (2015) para cinco cultivares avaliadas (Fepagro RS 13, Fepagro RS 14, Estrangeira, Cascuda e Fécula Branca) em experimento conduzido na região central do Rio Grande do Sul. Os autores obtiveram produtividades entre 20,40 e 32,83 t ha⁻¹ nas safras 2010/2011 e 2011/2012.

O comprimento de raízes variou de 8,20 a 45,73 cm com média de 23,82 cm. O diâmetro variou entre 19,50 e 46,70 mm com média de 32,37 mm. Técnicas de manejo como o preparo do solo influenciam diretamente sobre o diâmetro e a produtividade de raízes. Após a definição do número de raízes por planta, ocorrem as definições do comprimento, diâmetro e massa fresca de raízes (Figueiredo *et al.*, 2014). Os valores médios para os caracteres de produtividade de raízes foram inferiores aos obtidos por Devidé *et al.* (2009), exceto para o número de raízes que foi similar (6,47 e 6,51 raízes planta⁻¹).

Durante o ciclo da cultura, foram observados extensos períodos com ausência ou baixo volume pluviométrico acumulado (Figura 1). Aparentemente, isso não influenciou negativamente o número de raízes, mas possivelmente reduziu a capacidade de produção e

translocação de fotoassimilados e carboidratos solúveis para o processo de tuberização das raízes e, conseqüentemente, limitaram o diâmetro e a massa fresca de raízes. Wasonga *et al.* (2020) verificaram que a massa seca de parte aérea e de raízes foi influenciada negativamente pela restrição hídrica. Os autores observaram que a redução de 70% do volume de irrigação associada com 16 mM de adubação potássica ocasionou a diminuição de 41% da massa seca total em plantas de mandioca, influenciando negativamente, inclusive, o número de raízes.

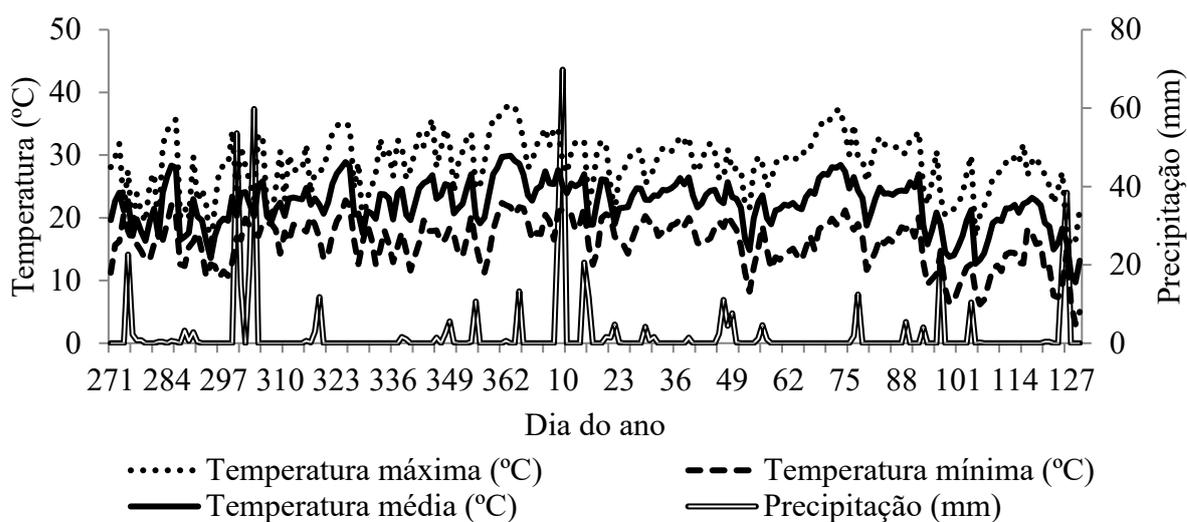


Figura 1. Temperatura mínima, máxima e média e precipitação pluviométrica no período experimental na safra 2019/2020.

Menores valores para o coeficiente de variação foram observados para os caracteres diâmetro de ramas e raízes (18,17 e 16,21%). Para os demais caracteres obtidos por medição, o coeficiente de variação variou de 25,19% até 30,88%, referentes aos caracteres comprimento de raízes e de ramas, respectivamente. Por outro lado, maiores valores para o coeficiente de variação foram observados para os caracteres de contagem e pesagem: número de ramificações, massa fresca de raízes e número de raízes (41,22%, 45,60% e 38,32%). Esses resultados demonstram a maior variabilidade existente entre caracteres mensurados por contagem e pesagem em relação aos obtidos por medição. Diferentemente, Toebe *et al.* (2014) verificaram maior variabilidade para os caracteres obtidos por pesagem em relação aos obtidos por contagem ou medição em pesquisa com híbridos de milho.

Foi observado que tamanhos de amostra superiores foram necessários para a estimação da média dos nove caracteres quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 10% da estimativa da média (Tabela 3). Neste nível de precisão, os tamanhos de amostra variaram de 43 a 333 plantas, para os caracteres diâmetro de raízes e massa fresca de raízes,

respectivamente. Em contrapartida, para o menor nível de precisão avaliado, ou seja, quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 20% da estimativa da média os tamanhos de amostra para estes caracteres foram de 10 e 83 plantas, respectivamente. A estimação do tamanho de amostra necessário para a avaliação de caracteres em diferentes níveis de precisão permite que o pesquisador escolha o nível de precisão que melhor se adequa às suas necessidades, considerando a mão de obra disponível para coleta de dados e o nível de precisão desejado para a estimação da média.

Tabela 3. Tamanho de amostra, em número de plantas, para caracteres produtivos de ramos e raízes de mandioca para quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 10%, 15% e 20% da estimativa da média

Caractere	10%	15%	20%
ARHP	116	51	29
N RAM	279	116	66
D RAMA	49	24	14
C RAMA	148	68	37
NGR	139	58	34
MFR	333	156	83
C RAIZ	102	44	23
D RAIZ	43	19	10
N RAIZ	235	100	57

¹ ARHP: altura de ramificação da haste principal; N RAM: número de ramificações; D RAMA: diâmetro de rama; C RAMA: comprimento de rama; NGR: número de gemas por rama; MFR: massa fresca de raízes; C RAIZ: comprimento de raízes; D RAIZ: diâmetro de raízes; N RAIZ: número de raízes.

Houve relação dos tamanhos de amostra com os coeficientes de variação apresentados na Tabela 2. Para os maiores coeficientes de variação, ou seja, para os caracteres número de ramificações, massa fresca de raízes e número de raízes foram necessários maiores tamanhos de amostra nos três níveis de precisão. Considerando os valores para tamanho de amostra quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 15% da estimativa da média, os tamanhos de amostra mínimos para avaliação do número de ramificações, massa fresca de raízes e número de raízes, foram: 116, 156 e 100 plantas. Por outro lado, para os diâmetros de rama e raízes, que apresentaram os menores coeficientes de variação, os tamanhos de amostra para o mesmo nível de precisão foram de 24 e 19 plantas, respectivamente. Schoffel *et al.* (2020) também verificaram a relação existente entre coeficiente de variação e tamanho de amostra e enfatizaram que caracteres com alto coeficiente de variação necessitam tamanhos de amostra maiores para a estimação da média de caracteres agronômicos em mudas de mandioca propagadas pelo método de multiplicação rápida.

Pela variabilidade existente e pelo número de plantas avaliadas o conjunto de dados ofereceu credibilidade para a obtenção do tamanho de amostra pelo método de reamostragem

com reposição (Bandeira *et al.*, 2018). Para caracteres de parte aérea, 66 plantas foram suficientes para a mensuração da média e para caracteres radiculares 83 plantas, quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 20% da estimativa da média. Desse modo, caso o objetivo da pesquisa seja a avaliação de caracteres de parte aérea e raízes, o pesquisador pode optar pelo tamanho de amostra mínimo de 333, 156 ou 83 plantas, para quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 10, 15 e 20% da estimativa da média, respectivamente. Haesbaert *et al.* (2017) mencionaram que em um mesmo nível de precisão, diferentes tamanhos de amostra devem ser utilizados para os diferentes caracteres, porém, dada a dificuldade deste método recomenda-se a utilização do maior tamanho de amostra para contemplar a variabilidade existente entre caracteres para a estimação da média. Assim, considerando a amplitude do intervalo de confiança de 20% da estimativa da média, em um experimento com 5 repetições, o pesquisador deverá realizar a amostragem mínima de 17 plantas por repetição para a estimação da média do tratamento.

4 CONCLUSÃO

A altura de ramificação da haste principal e o número de gemas por rama devem ser utilizados para a seleção de plantas com raízes de maior comprimento e diâmetro.

Plantas com maior número de ramificações apresentam maior massa fresca de raízes.

Oitenta e três plantas são suficientes para a estimação da média de caracteres produtivos de parte aérea e raízes de mandioca quando a amplitude do intervalo de confiança foi igual a 20% da estimativa da média.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. C. R.; LIMA, A. G.; MOREIRA, J. M.; LIMA JUNIOR, A. F.; SILVA, A. P.; CARVALHO, L. R.; ROSA, L. Q. S. Resposta da mandioca a diferentes tipos de preparo do solo. **Pubvet**, v. 12, n. 7, p. 1-4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n7a128.1-4>.

BANDEIRA, C. T.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CARINI, F.; SCHABARUM, D.; KLEINPAUL, J.; PEZZINI, R. Sample Sufficiency for Estimation of the Mean of Rye Traits

at Flowering Stage. **J Agric Sci**, v. 10, n. 3, p. 178-186, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n3p178>.

BARBOSA JÚNIOR, L. B.; CARVALHO, F. L. C.; SOUSA, R. R.; ARAÚJO, R. L.; BARROS, W. K. F. C.; VERAS, F. H. C.; BANDEIRA, A. C.; SILVA, R. B. Avaliação da cultura da mandioca em diferentes sistemas de manejo do solo. **Glob Sci Tech**, v. 12, n. 2, p. 152-169, 2019.

BRASIL. **Censo Agropecuário 2017**. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise mensal mandioca, outubro de 2020**. Brasília, 2020.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**. Viçosa: Editora UFV, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997.

DEVIDE, A. C. P.; RIBEIRO, R. L. D.; VALLE, T. L.; ALMEIDA, D. L.; CASTRO, C. M.; FELTRAN, J. C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 145-153, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100016>.

EL-SHARKAWY, M. A.; TAFUR, S. M. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall- and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 173-188, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0023-6>.

FERREIRA, E. A.; MATOS, C. C.; BRAGA, R. R.; MELO, C. A. D.; SILVA, D. V.; BARBOSA, E. A.; SANTOS, J. B. Crescimento inicial de mandioca 'IAC-12' em convivência com picão-preto e braquiária. **Magistra**, v. 27, n. ¾, p. 424-432, 2015.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2ª ed. Lavras: UFLA, 2009.

FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J.; MORAES-DALLAQUA, M. A.; TANAMATI, F. Y.; AGUIAR, E. B. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 357-364, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0150>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Crops: commodities by country**. FAO, 2018.

HAESBAERT, F. M.; LOPES, S. J.; MERTZ, L. M.; LUCIO, A. D.; HUTH, C. Tamanho de amostra para determinação da condutividade elétrica individual de sementes de girassol. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 54-61, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.389>.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IROLIVEA, E. A. M.; CAMARGO, G. M. S.; NOGUEIRA, M. C. S.; CINTRA, H. S. Efeito do espaçamento entre plantas e da arquitetura varietal no comportamento vegetativo e produtivo da mandioca. **Sci Agric**, v. 55, n. 2, p. 269-275, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000200016>.

LIMA, A. G.; CARVALHO, L. R.; MOTA, M. C.; LIMA JUNIOR, A. F.; MOREIRA, J. M.; SILVA, A. P.; BARBUIO, R.; ROSA, J. Q. S. Produtividade de mandioca avaliada sobre adubação fosfatada e a adubação de cobertura. **Pubvet**, v. 12, n. 8, p. 1-4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v12n8a151.1-4>.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1982.

PES, L. Z.; AMADO, T. J. C.; LA SCALA Jr, N.; BAYER, C.; FIORIN, J. E. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil Tillage Res**, v. 117, p. 163-171, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.002>.

PHOTHI, R.; THEERAKARUNWONG, C. D. Effect of chitosan on physiology, photosynthesis and biomass of rice (*Oryza sativa L.*) under elevated ozone. **Aust J Crop Sci**, v. 11, n. 5, p. 624-630, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.05.p578>.

PHUNTUPAN, K.; BANTERNG, P. Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. **J Agric Sci**, v. 155, n. 6, p. 978-992, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859617000053>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Áustria. 2014.

SARAVANAN, R.; RAVI, V.; STEPHEN, R.; THAJUDHIN, S.; GEORGE, J. Post-harvest Physiological Deterioration of Cassava (*Manihot esculenta*) - A review. **Indian J Agric Sci**, v. 86, n. 11, p. 1383-1390, 2016.

SCHOFFEL, A.; LOPES, S. J.; KOEFENDER, J.; LÚCIO, A. D.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P. Sample size for estimation of averages of agronomic traits in cassava seedlings. **Int J Innov Educ Res**, v. 8, n. 5, p. 73-82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31686/ijier.vol8.iss5.2312>.

SILVA, T. S.; SILVA, P. S. L.; BRAGA, J. D.; SILVEIRA, L. M.; SOUSA, R. P. Planting density and yield of cassava roots. **Rev Ciênc Agron**, v. 44, n. 2, p. 317-324, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200014>.

SOARES, M. R. S.; SÃO JOSÉ, A. R.; NUNES, R. T. C.; SILVA, R. A.; CAETANO, A. P. O.; OLIVEIRA, D. S.; NOLASCO, C. A.; RAMPAZZO, M. C. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da

Conquista-Ba. **Rev Cienc Agrar**, v. 42, n. 1, p. 237-247, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.19084/RCA18166>.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11^a ed. USDA - Natural Resources 565 Conservation Service, Washington, 2010.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação Vegetal**. 3^a ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2011.

TIRONI, L. F.; UHLMANN, L. O.; STRECK, N. A.; SAMBORANHA, F. K.; FREITAS, C. P. O.; SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 58-66, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0352>.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; CASAROTTO, G.; HAESBAERT, F. M. Tamanho de amostra para estimação da média e do coeficiente de variação em milho. **Pesqui Agropecu Bras**, v. 49, n. 11, p. 860-871, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100005>.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesqui Agropecu Bras**, v. 48, n. 5, p. 466-477, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000500002>.

VILLASENOR-ALVA, J. A.; ESTRADA, E. G. Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. **J Commun Stat - Theory and Methods**, v. 38, n. 11, p. 1870-1883, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610920802474465>.

WASONGA, D. O.; KLEEMOLA, J.; ALAKUKKU, L.; MÄKELÄ, P. S. A. Growth Response of Cassava to Deficit Irrigation and Potassium Fertigation during the Early Growth Phase. **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10030321>.

YOMENI, M. O.; AKORODA, M. O.; DIXON, A. G. O. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) stems quality for root production effectiveness. *In: Proceedings of the 11th triennial Symposium of the ISTRC-AB held at Memling Hotel: Tropical roots and tuber crops and the challenges of globalization and climate changes*, 2012.