

# Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca

Carlos Nick Gomes<sup>(1)</sup>, Samuel Pereira de Carvalho<sup>(1)</sup>, Adriana Madeira Santos Jesus<sup>(1)</sup> e Telde Natel Custódio<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Lavras, Dep. de Agricultura, Caixa Postal 3037, CEP 37200 000 Lavras, MG. E-mail: karlnickbr@yahoo.com.br, samuelpc@ufla.br, madeiradri@yahoo.com.br, telde@ufla.br

**Resumo** – Os objetivos deste trabalho foram caracterizar agronomicamente cem clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e calcular os coeficientes de trilha entre a produção de raízes tuberosas e cinco componentes da produção, de modo a auxiliar na seleção de clones superiores. O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de Lavras, em 2005 e 2006. Cem clones de mandioca foram avaliados em delineamento látice quadrado 10x10. A unidade experimental foi constituída por quatro plantas espaçadas de 1,0x0,6 m. As análises estatísticas foram realizadas considerando-se as oito características individualmente, utilizando-se o teste de Scott-Knott para agrupamento das médias. Os clones 87 e 88 mostraram-se promissores tanto para serem utilizados em cruzamentos quanto para fixação como novas cultivares em virtude do excelente desempenho nas características comprimento, número e produção de raízes tuberosas por planta. A análise de trilha mostrou que o número de raízes por planta e o peso total da parte aérea podem ser utilizados como critérios na seleção indireta para produção de raízes tuberosas em mandioca.

Termos para indexação: *Manihot esculenta*, análise de trilha, seleção indireta, produção de raízes tuberosas.

## Morphoagronomic characterization and path analysis of production components in cassava clones

**Abstract** – The objectives of this work were to perform the agronomic characterization of 100 cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) and to obtain path coefficients analysis between the storage root production (basic variable) and five production components (explanative variable). The experiment was conducted at a research farm of Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais State, Brazil, in square lattice (10x10), with two replications, using 100 clones and four plants per plot. Statistical analyses were accomplished considering the eight characteristics individually. The Scott-Knott's test was used for grouping the means. Clones 87 and 88 showed to be promising both to be used in crossings and to be fixed as new cultivate, due to their excellent performance in the characteristics: length, number and storage roots production per plant. Path coefficient analysis demonstrates that root number per plant and aerial part weight can be used as criteria of indirect selection for storage roots production.

Index terms: *Manihot esculenta*, path analysis, indirect selection, storage root production.

### Introdução

A mandioca é uma das mais importantes fontes de carboidrato e é consumida por mais de 500 milhões de pessoas em regiões tropicais e subtropicais (El-Sharkawy, 2006). No entanto, pesquisas com a cultura são limitadas e a produtividade de raízes tuberosas alcançada nas diversas regiões do Brasil é baixa.

A obtenção e a caracterização agrônoma de clones com elevada capacidade de produção, portadores de características agrônomicas superiores e aptos a substituírem as cultivares tradicionais, são meios

utilizados para aumentar o rendimento da cultura (Fukuda, 1999).

Os objetivos de um programa de melhoramento de mandioca são estabelecidos de acordo com as necessidades de produção, processamento e mercado, baseando-se na resistência a pragas e a doenças, e principalmente no incremento da produtividade de raízes tuberosas (Fukuda & Silva, 2002). Contudo, a produtividade é um caráter complexo e resultante da expressão e associação de diferentes componentes (Carvalho et al., 2002), o que torna necessário o entendimento e estudo do grau de associação entre

esses caracteres, e das estimativas dos coeficientes de correlação.

De acordo com Furtado et al. (2002), apesar da utilidade das estimativas dos coeficientes de correlação para a compreensão de um caráter complexo como a produção, as estimativas não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas dos outros caracteres com a produção, pois a correlação entre duas características mede a associação entre ambas, mas não determina a relação de causa e efeito entre elas, que, por sua vez, pode ser determinada por meio da análise de trilha.

A análise de trilha, conforme Cruz & Carneiro (2003), permite a obtenção de informações a respeito dos efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres, em relação a um determinado caráter considerado de maior importância (variável básica). Assim, para fins de melhoramento, é importante identificar entre as características de alta correlação com a variável básica, as de maior efeito direto no sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (Severino et al., 2002).

Esse tipo de análise vem auxiliando a formulação de procedimentos apropriados para seleção de genótipos superiores em diversas culturas (Carvalho et al., 1999; Santos et al., 2000; Coimbra et al., 2005; Marchezan et al., 2005).

O estudo dos efeitos diretos e indiretos de características agrônomicas no rendimento de raízes tuberosas é necessário para que se possa conduzir com sucesso programas de melhoramento que objetivem o aumento de produtividade da mandioca.

Os objetivos deste trabalho foram caracterizar morfoagronomicamente 100 clones de mandioca e calcular os coeficientes de trilha entre a produção de raízes tuberosas e cinco componentes da produção, de modo a auxiliar na seleção de clones superiores.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, situada a 21°14'30"S e 45°0'10"W. O clima da região é classificado como mesotérmico, Cwa (Köppen), com temperaturas médias anuais de 19,3°C, precipitação média de 1.411 mm, com 65 a 70% desse total concentrados no período de dezembro a março, e

altitude média de 900 m (Brasil, 1992). O experimento foi implantado em um Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 1999).

Os tratamentos constituíram-se de 100 clones de mandioca, dos quais 84 eram clones novos, provenientes de campos de policruzamentos realizados na Universidade Federal de Lavras. Os demais clones, de origem comercial, foram obtidos pela coleta nos municípios de Lavras e Patos de Minas. Por ocasião da implantação do experimento, foram aplicados 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato simples, de acordo com recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). No plantio em sulco, a 10 cm de profundidade, foram utilizadas manivas com 15 a 20 cm de comprimento e diâmetro de 2,5 cm, com aproximadamente cinco a sete gemas (Otsubo & Lorenzi, 2004). O plantio foi realizado em setembro de 2005, e a colheita realizada em agosto de 2006.

O experimento foi delineado em látice 10x10, com duas repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de uma linha com quatro plantas em espaçamento de 1,0x0,6 m, com área útil de 2,4 m<sup>2</sup>.

Na colheita, efetuada 11 meses após a emergência das plantas, foram coletados dados de oito variáveis quantitativas: altura da planta (ALTP), média das alturas das plantas da parcela; altura da primeira ramificação (ALTR), média da altura da primeira ramificação acima do solo; peso total da parte aérea (PTPA), peso da parte aérea mais o peso da cepa das plantas da parcela; comprimento de raízes tuberosas (CORA), comprimento médio das raízes tuberosas da parcela, obtido no momento da colheita; diâmetro das raízes tuberosas (DIAR), média do diâmetro das raízes tuberosas da parcela, medido na região central das raízes; número de raízes tuberosas por planta (NURA), número médio de raízes tuberosas da parcela no momento da colheita; índice de colheita (INDC), relação entre o peso das raízes tuberosas e o peso total da planta (Kawano, 1982); e peso de raízes tuberosas por planta (PRAP), média do peso total de raízes tuberosas da parcela em relação ao número de plantas.

Inicialmente os dados relativos a todas as características avaliadas foram analisados de acordo com o delineamento experimental em látice 10x10, estimando-se a eficiência do látice em relação ao delineamento em blocos casualizados. Para a análise, os dados relativos ao número de raízes tuberosas foram transformados em  $(x + 1)^{0,5}$ .

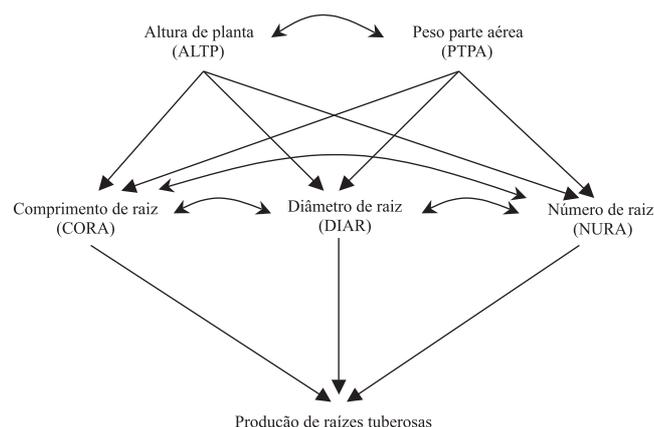
Ao se verificar a baixa eficiência do látice em relação ao delineamento em blocos casualizados, procedeu-se à análise de variância dos dados, considerando o delineamento experimental em blocos casualizados, com as médias sendo agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

O coeficiente de correlação genética (rg) foi estimado pela expressão (Cruz et al., 2004):

$$rg = \hat{\sigma}_{gxy} / (\hat{\sigma}_{gx}^2 \times \hat{\sigma}_{gy}^2)^{0,5}$$

em que  $\hat{\sigma}_{gxy}$  é o estimador da covariância genotípica entre os caracteres avaliados x e y;  $\hat{\sigma}_{gx}^2$  e  $\hat{\sigma}_{gy}^2$  são estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres x e y, respectivamente.

No procedimento da realização da análise de trilha, estabeleceu-se previamente um diagrama de trilha (Figura 1). As variáveis explicativas foram divididas em



**Figura 1.** Diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias (CORA, DIAR e NURA) e secundárias (ALTP e PTPA) sobre a produção de raízes tuberosas. CORA: comprimento de raiz tuberosa; DIAR: diâmetro de raiz de raiz tuberosa; NURA: número de raízes tuberosas; ALTP: altura da planta; PTPA: peso da parte aérea.

dois grupos. O primeiro foi composto pelas variáveis primárias: comprimento de raiz, diâmetro de raiz e número de raízes por planta, e o segundo, pelas características altura de planta e peso total da parte aérea. A seguir, efetuou-se diagnóstico de multicolinearidade envolvendo as variáveis, que resultou em fraca colinearidade. Os resultados da análise de trilha foram interpretados conforme indicado por Vencovsky & Barriga (1992), considerando-se que coeficientes de correlação e efeitos diretos (coeficientes de trilha) elevados indicam que estas variáveis independentes explicam parte da alteração da variável básica, e que coeficientes de correlação positivos, ou negativos, mas com efeito direto de sinal diferente ou insignificante, indicam que variáveis com maiores efeitos indiretos devem ser consideradas simultaneamente para explicar a alteração da variável básica. Para realizar as análises utilizou-se o programa computacional Genes (Cruz, 2001), versão 2004.

### Resultados e Discussão

O efeito de clones nas variáveis ALTP, ALTR, PTPA, CORA, DIAR, NURA, PRAP foi significativo ( $p < 0,01$ ) pelo teste F, na análise de variância univariada (Tabela 1). O agrupamento de médias das variáveis pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, é apresentado na Tabela 2.

Na ALTP, constatou-se altura média de 1,23 m, com 50% dos clones apresentando altura superior à média geral. Destaque para os clones 93, 88, 10, 100, 51, 15, 97, 21, 98, 81, 31 e 20 que apresentaram altura superior a 1,5 m. Não existem relatos sobre qual seria o tamanho ideal das plantas de mandioca. Plantas mais altas podem favorecer a realização dos tratos culturais e a colheita. Contudo, também são mais susceptíveis ao acamamento, o que dificulta o processo de colheita.

**Tabela 1.** Análise de variância, médias e coeficientes de variação de oito características avaliadas em 100 clones de mandioca<sup>(1)</sup>.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio							
		ALTP (m)	ALTR (m)	PTPA (kg)	CORA (cm)	DIAR (cm)	NURA	PRAP (kg)	INDC (%)
Clones	99	0,1000*	0,0340*	0,1265*	32,1115*	0,4042*	0,2839*	0,3918*	167,1681*
Blocos	1	0,8320	0,0087	0,4723	0,49401	1,7495	0,1551	0,9620	14,9445
Resíduo	99	0,0364	0,0165	0,0464	14,4645	0,2014	0,0708	0,0860	49,5236
Média		1,2331	0,4819	0,6780	22,5813	3,4413	2,4783	1,0977	61,1664
CV (%)		15,48	26,68	31,77	16,84	13,04	10,74	26,72	11,50

<sup>(1)</sup>ALTP, altura da planta; ALTR, altura da primeira ramificação; PTPA, peso da parte aérea; CORA, comprimento de raiz tuberosa; DIAR, diâmetro de raiz tuberosa; NURA, número de raízes tuberosas; PRAP, produção de raízes tuberosas por planta; INDC, índice de colheita. \*Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

**Tabela 2.** Agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott<sup>(1)</sup>.

Clones	ALTP	ALTR	PTPA	CORA	DIAR	NURA	PRAP	INDC
1	1,28a	0,68a	0,56c	30,35a	3,37b	4,08c	1,68c	74,75a
2	1,15b	0,50a	0,75b	13,75b	3,18b	8,87a	0,71e	58,24a
3	1,21b	0,56a	0,57c	18,20b	3,66a	3,41c	0,83e	47,98b
4	1,46a	0,48b	0,67c	27,50a	4,09a	1,09c	0,75e	59,17a
5	0,97b	0,35b	0,40c	15,25b	2,70b	3,12c	0,24e	52,85b
6	1,32a	0,56a	0,50c	22,20b	4,13a	4,47c	1,05d	41,43c
7	0,89b	0,35b	0,63c	19,90b	3,39b	5,42b	1,75c	67,23a
8	1,33a	0,45b	1,08b	19,15b	3,70a	7,12b	2,15b	73,34a
9	1,10b	0,43b	0,49c	20,55b	3,66a	6,50b	1,07d	66,53a
10	1,75a	0,72a	1,02b	32,65a	3,96a	3,62c	1,42c	68,30a
11	1,39a	0,55a	0,76b	26,50a	4,29a	4,50c	1,29d	62,55a
12	1,29a	0,61a	0,79b	19,40b	3,61a	7,91a	1,45c	64,00a
13	1,07b	0,40b	0,46c	23,55a	3,78a	6,12b	1,17d	71,88a
14	1,28a	0,47b	0,66c	22,30b	3,97a	5,12b	1,16d	62,64a
15	1,59a	0,59a	0,88b	25,90a	2,97b	3,50c	0,76e	46,82c
16	1,04b	0,58a	0,36c	17,10b	2,53b	4,75c	0,51e	59,04a
17	1,33a	0,49a	0,93b	20,60b	3,97a	5,00b	1,35c	58,97a
18	1,33a	0,58a	0,92b	23,15a	4,55a	6,50b	1,28d	58,33a
19	1,25a	0,52a	0,45c	22,35b	3,00b	4,75c	0,91d	66,92a
20	1,50a	0,59a	0,66c	25,45a	3,29b	5,25b	1,16d	63,05a
21	1,50a	0,58a	0,35c	17,40b	2,70b	5,00b	0,84e	70,69a
22	1,21b	0,42b	0,24c	18,25b	3,00b	4,17c	0,62e	71,39a
23	0,76b	0,59a	0,46c	24,65a	3,23b	3,30c	0,66e	58,37a
24	1,28a	0,43b	0,58c	23,65a	3,29b	5,74b	1,38c	70,47a
25	0,88b	0,53a	0,50c	39,00a	3,97a	5,20b	1,10d	68,87a
26	1,22b	0,55a	0,41c	24,30a	3,29b	2,62c	0,65e	61,46a
27	1,16b	0,32b	0,40c	22,50b	2,78b	4,00c	0,68e	65,27a
28	0,66b	0,41b	0,42c	21,85b	3,15b	2,83c	0,52e	55,33b
29	1,06b	0,43b	0,60c	26,90a	3,09b	6,55b	1,10d	63,79a
30	0,99b	0,53a	0,75b	28,90a	3,34b	5,25b	1,32c	59,45a
31	1,51a	0,39b	0,47c	21,50b	3,34b	5,37b	0,79e	66,62a
32	1,00b	0,77a	0,66c	25,20a	3,61a	6,03b	1,08d	63,33a
33	1,33a	0,49a	0,57c	23,15a	3,77a	5,91b	1,18d	66,94a
34	1,25a	0,44b	0,70c	22,95b	3,96a	6,25b	1,22d	63,74a
35	1,05b	0,38b	0,49c	22,88b	3,77a	3,95c	0,92d	65,78a
36	1,06b	0,80a	0,92b	25,50a	3,58a	3,29c	0,70e	43,30c
37	1,37a	0,54a	0,30c	20,70b	3,16b	3,70c	0,54e	64,06a
38	1,03b	0,53a	0,59c	16,20b	2,41b	10,41a	1,27d	68,55a
39	1,25a	0,51a	0,64c	22,25b	3,50b	6,12b	1,31c	66,98a
40	1,33a	0,64a	0,62c	15,80b	3,16b	6,00b	1,01d	61,53a
41	1,28a	0,54a	0,52c	21,55b	3,16b	5,62b	0,99d	67,10a
42	1,37a	0,39b	1,08b	21,60b	4,07a	5,75b	1,25d	54,61b
43	1,29a	0,45b	0,48c	17,20b	3,86a	5,12b	1,19d	72,28a
44	1,21b	0,60a	0,50c	17,85b	3,10b	7,12b	1,06d	69,23a
45	1,18b	0,29b	0,53c	25,50a	3,42b	4,45c	1,73c	76,79a
46	0,80b	0,45b	0,99b	24,00a	3,85a	5,87b	1,39c	58,40a
47	1,33a	0,07b	0,58c	18,95b	3,07b	6,95b	0,91d	61,00a
48	0,80b	0,35b	0,36c	21,25b	3,18b	3,25c	0,48e	57,21a
49	1,01b	0,44b	0,52c	19,35b	3,07b	8,12a	1,60c	75,23a
50	1,40a	0,64a	0,86b	19,50b	3,08b	6,08b	1,22d	59,15a
51	1,59a	0,43b	0,57c	22,85b	3,80a	4,58c	1,20d	68,49a
52	1,16b	0,31b	0,78b	25,40a	3,58a	2,25c	0,64e	42,46c

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Clones	ALTP	ALTR	PTPA	CORA	DIAR	NURA	PRAP	INDC
53	0,96b	0,46b	0,52c	23,55a	3,18b	6,37b	1,46c	74,45a
54	1,03b	0,80a	0,19c	20,50b	3,39b	7,83a	1,23d	84,21a
55	1,20b	0,34b	0,61c	23,60a	3,66a	5,75b	1,16d	65,76a
56	1,14b	0,27b	0,73c	26,25a	3,89a	2,87c	1,05d	61,00a
57	1,17b	0,43b	0,76b	19,35b	3,08b	5,58b	0,91d	54,71b
58	1,23b	0,19b	0,51c	25,90a	3,31b	4,00c	0,71e	58,16a
59	1,07b	0,37b	0,59c	17,05b	3,27b	3,49c	0,46e	44,23c
60	1,31a	0,52a	0,55c	17,00b	3,24b	5,25b	0,86e	61,24a
61	1,35a	0,46b	0,70c	19,00b	3,82a	5,00b	1,02d	59,42a
62	1,14b	0,42b	0,67c	20,15b	5,36a	1,62c	0,52e	38,10c
63	1,18b	0,30b	0,71c	21,25b	2,96b	3,25c	0,81e	52,08b
64	0,96b	0,85a	0,79b	26,15a	3,21b	9,00a	1,72c	68,48a
65	1,21b	0,59a	0,61c	19,10b	3,34b	6,12b	0,83e	57,47a
66	0,96b	0,38b	0,43c	22,80b	3,42b	5,75b	1,02d	70,47a
67	0,97b	0,39b	0,70c	30,10a	3,40b	6,75b	1,84c	72,42a
68	0,93b	0,31b	0,38c	27,05a	3,29b	3,27c	0,69e	64,40a
69	1,44a	0,66a	0,66c	21,75b	3,15b	7,66a	1,24d	65,42a
70	1,37a	0,26b	0,71c	18,40b	3,39b	3,87c	0,59e	45,13c
71	1,42a	0,52a	1,22b	24,10a	3,99a	2,87c	0,87e	41,71c
72	1,26a	0,45b	0,78b	25,30a	3,69a	5,25b	1,25d	59,20a
73	1,38a	0,43b	0,40c	20,90b	3,38b	5,37b	0,76e	65,47a
74	0,76b	0,20b	0,42c	19,85b	3,02b	5,25b	0,61e	59,94a
75	1,42a	0,59a	0,65c	21,90b	2,92b	4,87c	0,73e	53,50b
76	1,36a	0,58a	0,80b	19,05b	3,11b	6,16b	1,17d	59,91a
77	0,92b	0,70a	0,49c	16,00b	2,62b	3,49c	0,40e	43,71c
78	1,04b	0,28b	0,51c	21,45b	2,56b	5,75b	1,02d	67,35a
79	1,12b	0,54a	0,40c	22,35b	3,32b	7,00b	0,98d	71,65a
80	1,49a	0,43b	1,31b	30,00a	3,46b	6,75b	2,08b	62,11a
81	1,51a	0,48b	0,93b	22,15b	2,99b	10,41a	1,69c	64,47a
82	1,13b	0,58a	0,67c	21,30b	3,66a	4,37c	0,91d	61,85a
83	1,07b	0,49a	0,53c	26,20a	4,05a	3,33c	0,72e	57,74a
84	1,45a	0,31b	0,97b	24,20a	3,64a	4,50c	1,03d	51,78b
85	1,10b	0,44b	0,66c	24,50a	3,35b	7,62a	1,40c	67,73a
86	1,32a	0,50a	0,72c	25,55a	3,83a	3,95c	0,99d	57,06a
87	1,18b	0,31b	0,93b	25,10a	3,21b	12,00a	2,61a	74,95a
88	1,77a	0,47b	1,89a	27,45a	3,77a	8,79a	2,72a	59,23a
89	1,43a	0,43b	1,13b	21,35b	2,87b	5,50b	1,08d	49,00b
90	1,24a	0,47b	0,78b	18,25b	3,37b	10,00a	1,40c	63,77a
91	1,41a	0,62a	0,79b	27,65a	3,48b	2,83c	0,92d	53,81b
92	1,11b	0,24b	0,56c	19,55b	3,48b	3,37c	0,79e	58,44a
93	1,79a	0,39b	0,83b	23,95a	3,45b	3,37c	1,22d	59,10a
94	1,10b	0,52a	0,59c	22,45b	3,23b	6,25b	1,07d	64,20a
95	1,39a	0,57a	0,72c	24,30a	3,59a	3,66c	0,80e	52,40b
96	1,19b	0,41b	1,05b	26,70a	3,80a	6,28b	1,79c	61,82a
97	1,58a	0,51a	1,03b	26,05a	3,61a	7,00b	1,60c	60,76a
98	1,51a	0,59a	0,99b	26,30a	3,59a	6,00b	1,73c	63,60a
99	1,43a	0,29b	0,79b	22,05b	3,96a	4,16c	1,18d	59,45a
100	1,59a	0,55a	1,00b	18,90b	3,21b	3,25c	0,48e	31,42c
Média	1,23	0,48	0,68	22,50	3,41	6,50	1,09	61,16

<sup>(1)</sup>ALTP, altura da planta; ALTR, altura da primeira ramificação; PTPA, peso da parte aérea; CORA, comprimento de raiz tuberosa; DIAR, diâmetro de raiz tuberosa; NURA, número de raízes tuberosas; PRAP, produção de raízes tuberosas por planta; INDC, índice de colheita; médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Outro ponto a ser considerado é o fato de que plantas com elevado vigor vegetativo, quando cultivadas em solos férteis, podem gerar um desequilíbrio entre a parte aérea e a produção de raízes tuberosas e apresentarem baixa produção.

A altura da primeira ramificação (ALTR) apresentou média de 0,48 m, e 47% dos clones com altura superior à média, sendo a maior altura de 0,85 m (clone 64) e a menor de 0,20 m. A altura da primeira ramificação é uma característica que contribui para maior facilidade na realização do manejo da cultura. De acordo com Vidigal Filho et al. (2000), esta característica é importante na aplicação de tratamentos culturais e na colheita, tanto manual como mecanizada. As cultivares preferidas pelos produtores são aquelas cuja arquitetura se expressa em maior altura da primeira ramificação, e que conseqüentemente permitem maior facilidade no que se refere a cultivos consorciados, ao controle de plantas daninhas e principalmente à colheita.

A produção total de parte aérea (PTPA) é uma característica muito importante na mandiocultura por representar a quantidade de matéria verde produzida pela planta, podendo ser utilizada na alimentação animal, principalmente na obtenção de manivas visando ao plantio subsequente. Os clones avaliados apresentaram em média um peso total da parte aérea por planta de 0,68 kg, com 41% dos clones mostrando produções superiores. O clone 88 apresentou o maior peso total da parte aérea, com cerca de 1,89 kg planta<sup>-1</sup>, que corresponde a mais de 30 t ha<sup>-1</sup>.

As características CORA e DIAR são importantes componentes da produção. O comprimento médio apresentado pelas raízes tuberosas foi de 22,5 cm, com 46% dos clones avaliados com comprimento superior à média. No diâmetro de raízes tuberosas, a média geral foi de 3,45 cm. Dos clones avaliados, 43% apresentaram diâmetro superior à média. Apenas o clone 62 apresentou diâmetro superior a 5 cm.

Segundo Pinho et al. (1995), as raízes tuberosas alcançam seu comprimento máximo entre o 84<sup>o</sup> e 95<sup>o</sup> dia após o plantio, com pequenas variações ao final de 24 meses. Esses mesmos autores também sugerem que o diâmetro aumenta continuamente até o momento da colheita e que esta é uma característica que mais se correlaciona com a produtividade. Sagrillo et al. (2006) observaram valores de diâmetro médio de raízes tuberosas entre

o 12<sup>o</sup> e 15<sup>o</sup> mês de 4,0 cm e um aumento médio de 1,2 cm do 15<sup>o</sup> ao 19<sup>o</sup> mês.

Quanto ao número de raízes tuberosas por planta, a média foi de 6,7, com 52% dos clones superando esse valor. Os clones 87, 81, 38, 90, 64, 2, 88, 49, 12, 54, 69, e 85 foram superiores e o número de raízes por planta variou de 8,5 a 12 raízes. Cury (1998) constatou média de 6,7 raízes por planta na avaliação de etnovarietades de diferentes regiões do Brasil. Pinho et al. (1995) verificaram que o número de raízes tuberosas por planta é definido até o quarto mês após o plantio.

A característica PRAP é a de maior representatividade econômica e mercadológica na cultura da mandioca. Considerando-se uma densidade de 16.660 plantas por hectare, estima-se que uma produção satisfatória de 1,8 kg por planta resultará em uma produtividade de 30 t ha<sup>-1</sup>.

A produção de raízes tuberosas é um caráter quantitativo muito influenciado pela época de plantio e condições ambientais, o que dificulta a comparação dos resultados obtidos (Fukuda, 1986; Silva et al., 2002; Kvitschal et al., 2003).

Os clones mais produtivos foram o 88 e o 87, que apresentaram produções de raízes tuberosas por planta de 2,72 e 2,61 kg, respectivamente. Sob as condições experimentais a que os clones foram submetidos, esses valores equivalem à produtividade de 45 e 43,8 t ha<sup>-1</sup>. Destaca-se que essas produtividades foram alcançadas em plantas com 11 meses de idade, ou seja, um ciclo vegetativo. Os clones 8 e 80 apresentaram produções de 2,15 e 2,08 kg por planta com produtividade média superior a 30 t ha<sup>-1</sup>. Produções de raízes tuberosas inferiores a 1,2 kg por planta são consideradas muito baixas.

O índice de colheita representa a relação entre o peso das raízes e o peso total da planta. De acordo com Peixoto et al. (2005), este índice é considerado satisfatório quando acima de 50%. Silva et al. (2002) relatam que nem sempre variedades com melhores índices de colheita apresentam maiores produções de raízes tuberosas, já que plantas com baixo peso de raízes tuberosas, mas que também tenham baixa produção de parte aérea, proporcionarão valores de índice de colheita elevados.

O índice de colheita médio obtido no experimento foi de 61,16%, valor superior ao índice considerado como satisfatório (50%). Dos clones avaliados 88%

apresentaram índice de colheita superior a 50%. Contudo, concordando com Silva et al. (2002), foram encontrados clones com baixa produção de raízes e com índice de colheita elevado, uma vez que também apresentaram baixa produção de parte aérea. Como exemplo tem-se o clone 22, que apresentou produção de raízes tuberosas de 0,62 kg por planta, considerada baixa, e um índice de colheita de 71,39%, considerado elevado.

Neste trabalho, serão discutidos apenas os coeficientes das correlações genotípicas de maior magnitude e interesse, sendo estes valores obtidos entre as seguintes variáveis: altura de planta e peso total da parte aérea; produção de raízes tuberosas por planta e peso total da parte aérea; produção de raízes tuberosas por planta e comprimento de raízes tuberosas; produção de raízes tuberosas por planta e número de raízes tuberosas; produção de raízes tuberosas por planta e índice de colheita (Tabela 3).

Os clones que apresentaram maior altura de planta também apresentaram maior peso total da parte aérea, o que já era esperado. Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves-Vidigal et al. (1997), que verificaram correlações genotípicas positivas e significativas entre a altura da planta e produção total da parte aérea.

Em relação ao peso total da parte aérea e à produção de raízes tuberosas por planta, verificou-se correlação positiva (0,549). Valle (1990) e Cury (1998) constataram correlações genotípicas de 11270,66 e 0,75 entre produção de raízes e parte aérea, sugerindo que o descarte inicial de baixa intensidade, baseado na parte aérea, pode ser usado. Por sua vez, Peixoto et al. (2005) observaram correlação negativa entre esses

caracteres e atribuíram este comportamento a um desequilíbrio na relação fonte/dreno.

A correlação entre o comprimento e produção de raízes tuberosas foi positiva ( $r = 0,504$ ). O número de raízes tuberosas apresentou correlação de elevada magnitude com a produção total de raízes ( $r = 0,680$ ) e com o índice de colheita ( $r = 0,703$ ). É importante observar que o número de raízes tuberosas correlaciona-se negativamente com o comprimento e com o diâmetro de raízes tuberosas ( $r = -0,42$ ). Correlações positivas entre o número de raízes e a produção de raízes tuberosas também foram observadas por Cury (1998) e por Silva et al. (2002), que constataram um coeficiente de correlação de 0,75 e de 0,47 entre essas variáveis.

Com relação à produção de raízes tuberosas e o índice de colheita, observou-se uma correlação positiva ( $r = 0,618$ ). Por representar a relação entre o peso de raízes tuberosas e peso total da planta, é de se esperar que um aumento na produção de raízes tuberosas ocasione um aumento no índice de colheita. Fukuda et al. (1998) e Cury (1998) relatam esse mesmo comportamento. Contudo Silva et al. (2002) relatam que plantas de baixa produtividade de raízes tuberosas podem também apresentar índices de colheita baixos.

Os efeitos diretos do desdobramento, mediante a análise de trilha dos coeficientes de correlação genotípica das características agrônômicas primárias comprimento (CORA), diâmetro (DIAR) e número de raiz tuberosa (NURA), sobre a variável básica produção de raízes por planta (PRPA), foram positivos, e na variável NURA foi de elevada magnitude (Tabela 4). Assim, em um processo de seleção indireta para produção de raízes tuberosas

**Tabela 3.** Coeficiente de correlação genotípica entre oito variáveis de 100 clones de mandioca<sup>(1)</sup>.

Variáveis	ALTP	ALTR	PTPA	CORA	DIAR	NURA	PRAP	INDC
ALTP	1	0,362	0,717	0,256	0,187	-0,040	0,218	-0,306
ALTR	-	1	0,030	0,134	-0,058	0,230	0,017	0,065
PTPA	-	-	1	0,390	0,312	0,108	0,549	-0,289
CORA	-	-	-	1	0,348	-0,054	0,504	0,224
DIAR	-	-	-	-	1	-0,422	0,125	-0,189
NURA	-	-	-	-	-	1	0,680	0,703
PRAP	-	-	-	-	-	-	1	0,618
INDC	-	-	-	-	-	-	-	1

<sup>(1)</sup>ALTP, altura da planta; ALTR, altura da primeira ramificação; PTPA, peso da parte aérea; CORA, comprimento de raiz tuberosa; DIAR, diâmetro de raiz tuberosa; NURA, número de raízes tuberosas; PRAP, produção de raízes tuberosas por planta; INDC, índice de colheita.

este caráter deve ser considerado. De acordo com Carvalho et al. (2002), a identificação de possíveis critérios de seleção indireta para produção pode ser assim realizada: as características mais desejáveis são as que se correlacionam positivamente com a variável básica e que apresentam efeitos diretos positivos e elevados sobre esta característica. Por sua vez, características com efeitos diretos positivos moderados podem também servir como critério de seleção e, neste caso, as características devem ter, preferencialmente, efeitos indiretos negativos mínimos sobre a variável básica. O caráter número de raízes tuberosas por planta atende a estes pressupostos, o que sugere sua utilização como caráter auxiliar na seleção para produção de raízes tuberosas em mandioca.

Os efeitos diretos e indiretos das características secundárias sobre a produção de raízes são

**Tabela 4.** Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias: comprimento de raiz (CORA), diâmetro de raiz (DIAR) e número de raízes tuberosas (NURA) sobre a variável básica produção de raízes por planta (PRPA).

Caráter	Efeito	Estimativa
CORA	Direto sobre PRAP	0,432
	Indireto via DIAR	0,114
	Indireto via NURA	-0,042
	Total	0,504
DIAR	Direto sobre PRAP	0,329
	Indireto via CORA	0,150
	Indireto via NURA	-0,354
	Total	0,125
NURA	Direto sobre PRAP	0,840
	Indireto via CORA	-0,021
	Indireto via DIAR	-0,139
	Total	0,679

apresentados na Tabela 5. Os efeitos diretos da variável altura de planta sobre as variáveis comprimento e diâmetro de raízes tuberosas foram negativos, contrários às correlações com estes caracteres. Conforme Cruz & Regazzi (1997), caracteres que apresentam efeito direto em sentido contrário à correlação com a variável principal indicam ausência de causa e efeito, sugerindo que o caráter auxiliar não é o principal determinante das alterações na variável básica, existindo outros que poderão proporcionar maior ganho de seleção. Vencovsky & Barriga (1992) sugerem que, nessas situações, fatores causais indiretos sejam considerados simultaneamente no processo de seleção. Neste contexto, a seleção indireta pode ser realizada via peso da parte aérea.

A correlação entre altura de planta e número de raízes é próxima de zero, e por isso ela não explica a variação ocorrida neste componente primário (Tabela 3). A variável peso da parte aérea apresentou efeito direto positivo, de magnitude moderada, sobre os componentes primários, podendo ser considerada como critério auxiliar na seleção dessas características.

Na análise dos componentes secundários, a característica que apresentou maior efeito direto sobre o peso de raízes tuberosas por planta foi o peso total de parte aérea (Tabela 5). Os resultados apontam ser esta a característica que mais refletiu o potencial produtivo dos clones avaliados. Há relatos sobre uma correlação de elevada magnitude entre essas variáveis (Valle, 1990; Gonçalves-Vidigal et al., 1997; Cury, 1998). Por conseguinte, em populações segregantes oriundas do cruzamento dos genótipos avaliados, esse caráter pode ser útil em resposta correlacionada, por meio de seleção indireta.

**Tabela 5.** Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias: altura de planta (ALTP) e peso total da parte aérea (PTPA), sobre a variável básica produção de raízes por planta (PRAP), na cultura da mandioca.

Descrição dos efeitos	Componentes primários <sup>(1)</sup>			PRAP
	CORA	DIAR	NURA	
Efeito direto secundário de ALTP	-0,020	-0,025	-0,202	-0,362
Efeito indireto via PTPA	0,131	0,080	0,168	0,579
Total	0,110	0,061	-0,033	0,217
Efeito direto secundário de PTPA	0,183	0,120	0,235	0,805
Efeito indireto via ALTP	-0,014	-0,018	-0,145	-0,259
Total	0,168	0,102	0,092	0,548

<sup>(1)</sup>CORA, comprimento de raiz tuberosa; DIAR, diâmetro de raiz tuberosa; NURA, número de raízes tuberosas.

## Conclusões

1. Há genótipos, entre os avaliados, que podem ser utilizados em programas de melhoramento com grande potencial para o desenvolvimento de cultivares de mandioca para uso comercial.

2. O número de raízes tuberosas por planta e o peso total da parte aérea podem ser utilizados como critérios auxiliares na seleção de clones mais produtivos.

## Agradecimentos

À Fapemig, pelo financiamento do projeto; ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

## Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação; Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.
- CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F. de; OLIVEIRA, M.F. de; VELLO, N.A. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.311-320, 2002.
- CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.603-613, 1999.
- COIMBRA, J.L.M.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A.; OLIVEIRA, A.C. de; CARVALHO, F.I.F.; GUIDOLIN, A.F.; SOARES, A.P. Conseqüências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, v.35, p.347-352, 2005.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.ed. Lavras, 1999. 359p.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001, 585p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v.1. 585p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v.2. 480p.
- CURY, R. **Distribuição da diversidade genética e correlações de caracteres em etnovarietades de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) provenientes da agricultura tradicional do Brasil**. 1998. 163p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EL-SHARKAWY, M.A. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, v.44, p.481-512, 2006.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FUKUDA, W.M.G. Melhoramento da mandioca. In: BOREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p.409-428.
- FUKUDA, W.M.G. **Melhoramento genético de mandioca para adaptação em diferentes ecossistemas**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1986. 9p.
- FUKUDA, W.M.G.; SILVA, S.O. e. Melhoramento de mandioca no Brasil. In: CEREDA, M. P. (Ed.). **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, 2002. p.242-257.
- FUKUDA, W.M.G.; SILVA, S.S. de O.; PORTO, M.C.M. **Caracterização e avaliação de germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1998. 161p.
- FURTADO, M.R.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A.; COELHO, A.D.F.; PETERNELLI, L.A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, v.32, p.217-220, 2002.
- GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; BRACCINI, A. de L. Análise de parâmetros genéticos e correlações simples e canônicas entre características morfoagronômicas e da qualidade das raízes em cultivares de mandioca adaptadas ao noroeste paranaense. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.3, p.41-48, 1997.
- KAWANO, K. Mejoramiento genético de yuca para productividad. In: CIAT. **Yuca: investigación, producción y utilización**. Cali, 1982. p.91-112. (Documento de trabajo, 50).
- KVITSCHAL, M.V.; VIDIGAL FILHO P.S.; PEQUENO M.G.; SAGRILO E.; BRUMATI C.C.; MANZOTI M.; BEVILAQUA G. Avaliação de clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para indústria na região noroeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.25, p.299-304, 2003.
- MARCHEZAN, E.; MARTIN, T.N.; SANTOS, F.M.; CAMARGO, E.R. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em arroz. **Ciência Rural**, v.35, p.1027-1033, 2005.
- OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004, 116p.
- PEIXOTO, J.R.; BERNARDES, S.R.; SANTOS, C.M. dos; BONNAS, D.S.; FIALHO, J. de. F.; OLIVEIRA, J.A. de. Desempenho agrônômico de variedades de mandioca mansa em Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.18, p.19-24, 2005.
- PINHO, J.L.N. de; TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I.O.; QUEIROZ, G.M. de. Componentes de produção e capacidade distributiva da mandioca no litoral do Ceará. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.7, p.89-96, 1995.
- SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; GONÇALVES VIDIGAL, M.C.; SCAPIM, C.A.; KVITSCHAL, M.V.; MAIA, R.R.; RIMOLDI, F. Effect of harvest period on foliage production and dry matter distribution in five cassava cultivars during

- the second plant cycle. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.49, p.1007-1018, 2006.
- SANTOS, R.C. dos; CARVALHO, L.P. de; SANTOS, V.F. dos. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.13-16, 2000.
- SEVERINO, L.S.; SAKIYAMA, N.S.; PEREIRA, A.A.; MIRANDA, G.V.M.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U.V. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor") **Acta Scientiarum**, v.24, p.1467-1471, 2002.
- SILVA, R.M. da; FARALDO, M.F.I.; ANDO, A.; VEASEY, E.A. Variabilidade genética de etnovarietades de mandioca. In: CEREDA, M.P. (Ed.). **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p.207-242.
- VALLE, T.L. **Cruzamentos dialélicos em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 1990. 180p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 466p.
- VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; VIDIGAL, M. C. G. V.; MAIA, R. R.; SAGRILO, E.; SIMON, G.A.; LIMA, R.S. Avaliação de cultivares de mandioca na região noroeste do Paraná. **Bragantia**, v.59, p.69-75, 2000.

---

Recebido em 19 de abril de 2007 e aprovado em 20 de julho de 2007