

## Variabilidade genética do banco de germoplasma de mandioca da Embrapa cerrados acessada por meio de descritores morfológicos

### Genetic variability of the Embrapa-cerrados cassava germoplasm collection accessed by morphological descriptors

Eduardo Alano Vieira<sup>1</sup>, Josefino de Freitas Fialho<sup>2</sup>, Marília Santos Silva<sup>2</sup>, Wania Maria Gonçalves Fukuda<sup>3</sup>, Fábio Gelape Faleiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Autor para Correspondência. Embrapa Cerrados (CPAC). BR 020, Km 18, C.P. 08223. CEP 73310-970, Planaltina (DF), Brasil. [vieiraea@cpac.embrapa.br](mailto:vieiraea@cpac.embrapa.br).

<sup>2</sup> Embrapa Cerrados (CPAC), Planaltina (DF).

<sup>3</sup> Embrapa Mandioca e Fruticultura (CNPMPF), Cruz das Almas (BA).

#### Resumo

Por reunirem constituições genéticas de diferentes origens e de diferentes níveis de melhoramento, os bancos de germoplasma podem constituir-se em ótimas fontes de genes para programas de melhoramento. Para tanto, é fundamental que o melhorista conheça o germoplasma disponível em relação à variabilidade e ao desempenho agrônomo. Os objetivos deste estudo foram estimar a variabilidade genética de 356 acessos de mandioca do banco de germoplasma da Embrapa Cerrados em relação a 27 descritores morfológicos; estabelecer quais desses descritores evidenciam maior entropia, e agrupar os acessos em função da dissimilaridade genética. Com base nos dados aferidos, foram estimados o nível de entropia dos caracteres, a dissimilaridade genética e, posteriormente, os acessos foram agrupados pelo método de agrupamento de Tocher. Os acessos de mandioca avaliados foram divididos em 34 grupos distintos e evidenciaram elevada variabilidade genética. Os caracteres com as maiores entropias foram: cor externa do caule, cor do pecíolo, forma do lóbulo central e cor da folha apical. Aqueles com as menores entropias foram: hábito de crescimento do caule, floração, textura da epiderme da raiz e constrictões da raiz.

**Palavras-chave adicionais:** *Manihot esculenta* Crantz; distância genética; entropia; recursos genéticos; melhoramento vegetal.

#### Abstract

Germplasm collections may represent excellent sources of genes for plant breeding programs, since they bring together genetic compositions from different origins and from different breeding levels. Therefore, it is essential for plant breeders to be informed about the genetic variability and agronomic performance of the available germplasm of a given species. The aims of the present work were to estimate the genetic variability of 356 cassava accessions from the Embrapa-Cerrados germplasm collection in relation to 27 morphological descriptors, find out which of them show the highest entropy levels and to group the accessions in terms of genetic dissimilarity. Based on the data, the entropy level of the characters and the genetic dissimilarity were estimated. Later, the accessions were grouped according to Tocher's grouping method. The cassava accessions were organized in 34 different groups which presented high genetic variability. The characters showing the highest entropy levels were stem external colour, petiole colour, shape of the central lobule, and colour of the apical leaf. The characters presenting the lowest entropy levels were stem growth habit, flowering, texture of the root epidermis, and the occurring of constrictions in roots.

**Additional keywords:** *Manihot esculenta* Crantz; genetic distance; entropy; genetic resources; plant breeding.

#### Introdução

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é muito importante em países em desenvolvimento, principalmente em função da sua rusticidade e da capacidade que apresenta de produzir razoavelmente bem em condições

em que outras culturas não sobreviveriam. Tal habilidade advém de a espécie ser naturalmente tolerante a solos ácidos e à seca, e ao mesmo tempo oferecer uma flexibilidade de colheita aos produtores (CEBALLOS et al., 2004). No Brasil (centro de origem e de diversidade da espécie), a mandioca é cultivada em praticamente todas

as regiões, ocupando papel de destaque na alimentação humana e animal (LORENZI & DIAS, 1993).

Em função da grande importância da cultura para o País, foram criados e vêm sendo mantidos bancos de germoplasma. Estes têm como finalidade principal reunir em um local parte da variabilidade genética (germoplasma), visando a evitar a perda de genes ou de combinações gênicas (erosão genética), para, dessa forma, assegurar ampla base genética para programas de melhoramento (FUKUDA, 1996). Os bancos de germoplasma, normalmente, são constituídos por variedades antigas (etnovarietades), variedades modernas (melhoradas) e variedades silvestres do mesmo gênero da cultura. Em função de reunirem ao mesmo tempo constituições genéticas de diferentes origens e de diferentes níveis de melhoramento, podem constituir-se em ótimas fontes de genes para os programas de melhoramento genético. Entretanto, para que toda essa variabilidade seja utilizada com frequência e eficiência, é necessário que o pesquisador conheça o germoplasma disponível em relação à variabilidade e ao desempenho agrônomo.

A caracterização do germoplasma é o ponto de partida para que o pesquisador defina quais acessos serão incluídos na etapa de avaliação agrônomo. Portanto, primeiro o pesquisador faz uma caracterização mais ampla e, a partir daí, define com maior objetividade os acessos que serão submetidos à etapa de avaliação agrônomo, etapa esta em que os acessos são avaliados em experimentos mais elaborados, que permitem a obtenção de informações sobre o desempenho dos genótipos em relação aos principais caracteres de interesse (HIDALGO, 2003).

A caracterização do germoplasma pode ser realizada por meio do emprego de caracteres fenotípicos (agronômicos e descritores morfológicos), dados de passaporte e marcadores moleculares. Dentre estas ferramentas, a de mais fácil utilização e de menor custo, é a caracterização por meio dos dados de passaporte, desde que estas informações estejam disponíveis, o que não ocorre para grande parte dos acessos da maioria dos bancos de germoplasma. A utilização de marcadores moleculares na caracterização de germoplasma de mandioca vem crescendo nos últimos anos, principalmente em função de estes não sofrerem influência do ambiente e possibilitarem a geração de uma grande quantidade de informação referente ao genoma da espécie (MÜHLEN et al., 2000; COLOMBO et al., 2000; CARVALHO et al., 2001; ELIAS et al., 2001a; ZACCARIAS et al., 2004). Contudo, o custo

dessa metodologia ainda é o principal entrave para a utilização em larga escala. Dentre os caracteres fenotípicos, os agrônômicos, apesar de importantes, não são adequados para a caracterização de germoplasma em função de serem muito influenciados pelo ambiente (ELIAS et al., 2001a). Desta forma, cresce a importância da utilização dos descritores morfológicos na caracterização do germoplasma por serem relativamente de fácil aferição, de menor custo e menos influenciados pelo ambiente.

Os objetivos deste estudo foram estimar a variabilidade genética de 356 acessos de mandioca do banco de germoplasma da Embrapa Cerrados em relação a 27 descritores morfológicos; estabelecer quais desses descritores evidenciam maior entropia, e agrupar os acessos em função da dissimilaridade genética.

## Material e métodos

No ano de 2004, 356 acessos do banco de germoplasma de mandioca da Embrapa Cerrados (Tabela 1) foram caracterizados com a utilização dos 27 descritores morfológicos (Tabela 2). As avaliações seguiram as recomendações de FUKUDA & GUEVARA (1998). Anteriormente, 256 acessos desse banco de germoplasma haviam sido caracterizados, como mandioca-mansa ou brava, em função do teor de HCN em suas raízes (FIALHO et al., 1999).

Com base nos dados aferidos a campo, foi estimado o nível de entropia dos caracteres (H) por meio do coeficiente de entropia de

Renyi,  $H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$ , onde: a entropia é

uma medida da frequência da distribuição de (n) acessos  $P = (p_1, p_2 \dots p_s)$ , sendo:  $p_1 = f_1/n$  e  $(p_1 + p_2 + \dots + p_s = 1)$  desde que  $(n = f_1 + f_2 + \dots + f_s)$ , onde  $f_1, f_2, \dots f_n$ , são as contagens de cada uma das classes (s) no descritor considerado. Esta estimativa da entropia foi realizada com o auxílio do programa Multiv v.2.3 (PILLAR, 1997). A entropia de um determinado descritor será tão maior quanto maior for o número de classes fenotípicas desse e quanto mais equilibrada for a proporção entre a frequência dos acessos nas diferentes classes fenotípicas. Ou seja, para um descritor morfológico com duas classes fenotípicas, a maior entropia ocorrerá quando ambas as classes apresentarem 50% dos acessos avaliados.

**Tabela 1** - Identificação dos 356 acessos avaliados.  
*Table 1* - Identification of the 356 evaluated accessions.

Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar
1	IAC 117-66	41	EAB - 858	81	Paraguaiana-R-18
2	IAC 14-18	42	EAB - 887	82	Varjão
3	IAC 105-66 (Caapora)	43	EAB - 918	83	Roxinha - I
4	IAC 1416-67 (Yara)	44	EAB - 954	84	IAC 7-158
5	SRT - 59 (Pirassununga)	45	EAB - 1011	85	Vermelhinha-da-Caçimbas
6	Engana-Ladrão	46	EAB - 81	86	Arrebenta-Burro
7	Sertaneja	47	EAB - 551	87	Olho-Roxo
8	IAC 7-127 (Iracema)	48	EAB - 875	88	CM - 424/5
9	Preta-do-Quilombo	49	Manjari	89	CMC 99
10	IAC 24-2 (Mantiqueira)	50	Taquari	90	IAC 105-66
11	Branca-de-Santa-Catarina	51	IAC 352-7 (Jaçanã)	91	Olho-Branco
12	Ponta-Porã-Amarela	52	IAC 12-829	92	Japones
13	IAC 352-6	53	IAC 5-66	93	Mandioca-Ferro
14	Cacau-Vermelho	54	IAC 5-165	94	IAC 576-70
15	Sonora	55	SRT 1012	95	Cacau
16	Clone EAB- 213	56	CPAC - 18	96	-
17	EAB-642	57	CPAC - 22	97	-
18	EAB-645	58	CPAC - 42	98	-
19	CM - 305/1	59	CPAC - 91	99	-
20	CM - 305/2	60	CPAC - 97	100	-
21	CM - 375/2	61	CPAC - 103	101	-
22	CM - 367/3	62	CPAC - 111	102	-
23	CM - 425/5	63	CPAC - 38	103	-
24	CM - 367/6	64	CPAC - 54	104	-
25	CM - 424/11	65	CPAC - 114	105	-
26	CMC - 99	66	Clone 247	106	-
27	SM - 82/1	67	Clone 333	107	-
28	EAB - 646	68	Clone 7-127	108	-
29	EAB - 647	69	Santa-Catarina I	109	-
30	EAB - 653	70	Variedade	110	-
31	EAB - 649	71	Tupim-Branco	111	-
32	EAB - 670	72	IAC 5136	112	EAB Local
33	EAB - 673	73	Mucuri	113	-
34	EAB - 675	74	IAC 112-66	114	Sulista
35	EAB - 688	75	Mameluca - I	115	-
36	EAB - 331	76	Prata-com-folha-Miúda	116	-
37	EAB - 321	77	Juriti	117	-
38	EAB - 484	78	Chifre-de-Bode	118	-
39	EAB - 635	79	Mameluco	119	-
40	EAB - 786	80	Casca-Dura	120	Branquinha
121	-	165	-	209	-

Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar
122	Vassourinha	166	-	210	-
123	IAC 114-80	167	Cacau	211	-
124	Branca	168	Congonhas	212	-
125	-	169	-	213	-
126	Cacau	170	Folha-Fina	214	Cacau
127	Branca	171	Cacau-Branca	215	Cacau
128	Aipim-Saracura	172	Canela-de-Urubu	216	-
129	Aipim-Rosa	173	-	217	-
130	Descoberta	174	Cacau	218	Cacau
131	Três-Meses	175	Pão-dos-Anjos	219	Americana
132	Aipim-Casca-Roxa	176	Cacau	220	-
133	Mameluca	177	Cacau	221	-
134	Aipim-Manteiga	178	Piranga	222	Mandioca-de-Metro
135	Aipim-Paraguai	179	-	223	-
136	Cenoura-Rosada	180	-	224	-
137	-	181	Engana-Tatu	225	-
138	Cacau	182	-	226	-
139	-	183	Sabará	227	-
140	-	184	Amarelinha	228	Pé-de-Burro
141	Branca	185	-	229	Chitinha
142	-	186	Saracura	230	-
143	De Fritar	187	Desgaiada	231	Pão-da-China
144	Cacau-Água-Morna	188	Pão-Doce	232	Cacau
145	-	189	-	233	Pão-de-Queijo
146	-	190	Pão-Doce	234	Pão-Doce
147	-	191	-	235	Manteiga
148	-	192	Amarela	236	Pão-do-Chile
149	-	193	Sertaneja	237	-
150	-	194	Pão-da-China	238	-
151	-	195	Paulistinha	239	-
152	Manteiga	196	-	240	-
153	Amarelinha	197	-	241	-
154	Rainha	198	-	242	-
155	Sequeira	199	-	243	Buriti
156	Folha-Redonda	200	-	244	-
157	Cacau	201	-	245	Sabará
158	-	202	Cacau	246	Cacau
159	Sertaneja	203	-	247	SACRI I
160	Cacau	204	-	248	Pioneira
161	Pão-Doce	205	-	249	Sutinga
162	Chitinha	206	-	250	IAC 5/36
163	Cacau	207	-	251	Ibruxeiro
164	-	208	-	252	IAC 14-06-7

Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar	Número	Nome vulgar
253	CM 430-37	296	Clone CPAC	339	-
254	CPAC-111	297	-	340	-
255	Rio-Verde	298	Brasília	341	-
256	Amarela	299	Clone CPAC	342	-
257	Sr.-Amaro	300	Clone CPAC	343	-
258	09/12-818	301	Clone CPAC	344	-
259	08/118	302	Ceolina	345	-
260	Janaúba	303	Pé-de-Negro	346	-
261	Engana-Ladrão	304	-	347	-
262	Barrinha	305	Clone CPAC	348	-
263	Vassourinha	306	Clone CPAC	349	-
264	EEU 248/89	307	Clone CPAC	350	-
265	B 696	308	Aipim-Folha-estreita	351	-
266	B 646 (IAPAR 19)	309	-	352	-
267	B 860(Pêssego-Amarelo)	310	-	353	-
268	B 656	311	-	354	-
269	B 751	312	-	355	-
270	Aipim-Gigante	313	-	356	-
271	Taguari	314	Joaquinzinha		
272	Casca-Roxa	315	IAC 13		
273	Apronta-a-mesa	316	Pão da China		
274	-	317	Cacau		
275	M 342 (MBRA 731)	318	Polpa Branca		
276	B 144 (Bahia-Preta P9)	319	GP		
277	BGM 204	320	-		
278	M 369 (MBRA 715)	321	-		
279	B 070 (S2-1125)	322	-		
280	M 327 (CG 165-2)	323	-		
281	EEU 270/89	324	-		
282	EEU 326/89	325	-		
283	Prata	326	-		
284	-	327	-		
285	Mico	328	-		
286	Pernambucana	329	-		
287	Branca	330	-		
288	-	331	-		
289	Pé-de-negro	332	-		
290	UnB	333	-		
291	Vassourinha	334	-		
292	-	335	-		
293	-	336	-		
294	-	337	-		
295	Clone CPAC	338	-		

- sem identificação; - no identification

Os dados aferidos a campo foram utilizados na estimativa da similaridade genética (SG) entre todos os pares de acessos, por meio do índice de coincidência simples. A matriz de similaridade foi transformada em matriz de dissimilaridade genética (DG) por meio do complemento da matriz de similaridade genética ( $DG = 1 - SG$ ). Posteriormente, com base na matriz de dissimilaridade genética, os acessos foram agrupados pelo método de otimização de Tocher, sendo que tal método é baseado na premissa da existência de homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos. As análises foram realizadas por meio do programa Genes (CRUZ, 2001).

### Resultados e discussão

Os resultados obtidos evidenciaram que os acessos de mandioca mantidos no banco de germoplasma da Embrapa Cerrados exibem variabilidade genética, uma vez que, dentre os 27 caracteres avaliados, somente para o caráter hábito de crescimento de caule não foi detectado polimorfismo (Tabela 2). Os resultados permitem o estabelecimento da hipótese de que os acces-

os de mandioca do banco de germoplasma do cerrado possuem ampla base genética. Tal variabilidade pode ser explicada pelo fato de os pequenos agricultores (em especial) terem sempre mantido elevada variabilidade genética sob cultivo, uma vez que estes normalmente cultivam grande número de genótipos de forma conjunta e constantemente introduzem novos genótipos aos seus cultivos (BELLON, 1996; SAMBATTI et al., 2000). Ademais, pequenos agricultores raramente descartam etnovarietades pouco produtivas, mesmo que tenham de mantê-las em menor quantidade (PERONI et al., 1999; FREGENE et al., 2003). Além disso, como a mandioca apresenta reprodução sexual, esta pode gerar recombinantes que se propagam por sementes, são incorporados ao sistema de cultivo e mantidos por propagação assexuada, incrementando, assim, a base genética sob cultivo (BOSTER, 1984; MARTINS, 1994; SALICK et al., 1997; ELIAS et al., 2001b). Como o banco de germoplasma deve refletir parte da variabilidade da cultura, era esperada a existência desta variabilidade genética no banco de germoplasma da Embrapa Cerrados.

**Tabela 2** - Caracteres avaliados, classes fenotípicas, frequência de acessos em cada uma das classes e entropia dos caracteres (H).

Table 2 - Evaluated characters, phenotypical classes, frequency of the accessions within each class and entropy of the character (H).

Caráter	Classes fenotípicas	Frequência dos acessos (%)	Entropia (H)
Cor da folha apical	Verde-clara	25%	1,27
	Verde-escura	20%	
	Verde-arroxeadado	44%	
	roxo	11%	
Pubescência do broto apical	ausente	61%	0,67
	presente	39%	
Forma do lóbulo central	ovoide	1%	1,60
	elíptico-lanceolada	26%	
	obovado-lanceolada	4%	
	oblongo-lanceolada	10%	
	Lanceolada	43%	
	linear	7%	
	Pandurada	1%	
	linear-piramidal	4%	
linear-pandurada	4%		
Cor do pecíolo	Verde-amarelada	2%	1,64
	verde	12%	
	Verde-avermelhada	21%	
	Vermelho-esverdeada	18%	
	vermelha	27%	
	roxa	19%	
Cor do córtex do caule	amarela	5%	0,84
	Verde-clara	39%	
	Verde-escura	56%	

Caráter	Classes fenotípicas	Frequência dos acessos (%)	Entropia (H)
Cor externa do caule	laranja	2%	1,67
	Verde-amarelada	1%	
	dourada	12%	
	Marrom-clara	19%	
	prateada	27%	
	cinza	23%	
Comprimento da filotaxia	Marrom-escuro	17%	0,61
	curto (< 8 cm)	20%	
	médio (8-15 cm)	78%	
Presença de pedúnculo nas raízes	longo (> 15 cm)	3%	0,96
	séssil	15%	
	pedunculada	57%	
Cor externa da raiz	misto (ambos)	28%	1,03
	branco ou creme	15%	
	amarelo	0,3%	
	marrom claro	40%	
Cor do córtex da raiz	marrom escuro	45%	1,11
	branca ou creme	60%	
	amarela	14%	
	rosada	14%	
Cor da polpa da raiz	roxa	12%	0,59
	branca	79%	
	creme	3%	
Textura da epiderme da raiz	amarela	18%	0,44
	rugosa	84%	
Floração	ausente	15%	0,42
	presente	85%	
Cor da folha desenvolvida	Verde-clara	33%	0,63
	Verde-escuro	67%	
Número de lóbulos	três lóbulos	0,3%	0,88
	cinco lóbulos	12%	
	sete lóbulos	66%	
	nove lóbulos	22%	
Cor da epiderme do caule	creme	10%	0,86
	Marrom-clara	26%	
	Marrom-escuro	64%	
Hábito de crescimento de caule	reto	100%	0
	zig-zag	-	
Cor dos ramos principais nas plantas adultas	verde	24%	0,68
	verde-arroxeadado	73%	
	roxa	3%	
Constrições da raiz	nenhuma ou poucas	84%	0,46
	médias	16%	
	muitas	0,3%	
Posição do pecíolo	inclinada para cima	10%	0,73
	horizontal	79%	
	inclinada para baixo	8%	
	irregular	4%	
Forma da raiz/ <i>Root shape</i>	cônica	2%	1,14
	cônica-cilíndrica	29%	
	cilíndrica	44%	
	irregular	24%	
Tipo de planta	compacto	41%	1,07
	aberto	4%	
	Guarda-sol	45%	
	cilíndrico	10%	

Caráter	Classes fenotípicas	Frequência dos acessos (%)	Entropia (H)
Comprimento médio da raiz	curto (< 20 cm)	16%	1,02
	intermediário (20-30 cm)	47%	
	longo (> 30 cm)	37%	
Diâmetro médio da raiz	fino (< 5 cm)	77%	0,57
	intermediário (5-8 cm)	22%	
	grosso (> 8 cm)	1%	
Destaque da película da raiz	fácil	69%	0,62
	difícil	31%	
Destaque do córtex da raiz	fácil	20%	0,50
	difícil	80%	
Posição das raízes	tendência vertical	54%	0,94
	tendência horizontal	35%	
	irregular	11%	

Dentre os caracteres aferidos, alguns evidenciaram baixa entropia: i) hábito de crescimento do caule (0); ii) floração (0,42), indicando que a manutenção do processo de reprodução sexual é importante para a espécie (KERR & CLEMENT, 1980; IGLESIAS et al., 1994; ELIAS et al., 2001b); iii) textura da epiderme da raiz (0,44); iv) constrictões da raiz (0,46); v) destaque do córtex da raiz (0,5); vi) diâmetro médio da raiz (0,57); vii) cor da polpa da raiz (0,59); viii) comprimento da filotaxia (0,61); ix) destaque da película da raiz (0,62), e x) cor da folha desenvolvida (0,63). Em relação aos demais caracteres que evidenciaram baixa entropia, os resultados obtidos apontam para um cenário de preferência dos povos que domesticaram a cultura por alguns caracteres que, em dado momento, foram importantes, como: raízes sem constrictões, textura rugosa, cor da polpa branca, destaque fácil da película e menor diâmetro (Tabela 2). Entretanto, tal cenário não se confirmou para o destaque do córtex da raiz, uma vez que a maioria dos acessos apresentou destaque difícil do córtex da raiz. Dois caracteres que aparentemente não evidenciam importância econômica nem evolutiva para a espécie, também expressaram baixa entropia, em função de a maioria dos acessos apresentarem comprimento médio da filotaxia e cor verde-escura da folha desenvolvida (Tabela 2).

Dentre os caracteres aferidos, alguns se destacaram em função de expressarem elevada entropia: i) cor externa do caule (1,67); ii) cor do pecíolo (1,64); iii) forma do lóbulo central (1,60), e iv) e cor da folha apical (1,27) (Tabela 2). Esses caracteres não apresentam interesse agrônomico, o que provavelmente fez com que fossem pouco visados durante o processo de seleção, tanto de forma consciente (realizado pelos melhoristas), como inconsciente (realizado no início da domesticação da espécie), fato que permitiu a manutenção de elevada variabilidade de classes. Entretanto, dois caracteres de interesse agrônomico apresentaram elevada entropia:

i) forma da raiz (1,14), e ii), cor do córtex da raiz (1,11). Em relação à forma da raiz, esta elevada entropia é função de grande parte de os acessos apresentarem raiz de forma cônico-cilíndrica, cilíndrica ou irregular. Poucos acessos apresentaram raízes cônicas, pelo fato de essa característica ser de menor interesse agrônomico. Em relação à cor do córtex da raiz, a maioria dos acessos apresentou a coloração branca, havendo, entretanto, um equilíbrio entre as colorações amarela, rosada e roxa. Provavelmente, este equilíbrio seja um reflexo de não ter havido clara preferência quanto à cor do córtex das raízes por parte dos povos que domesticaram a cultura. Atualmente, cultivares de mandioca selecionadas para a indústria apresentam raízes com córtex branco.

Dentre os caracteres avaliados, alguns são de grande importância para o melhoramento. Dentre eles, destacam-se: i) cor da polpa da raiz na região do cerrado, onde os agricultores e consumidores têm preferência pelas plantas de polpa amarela; dos acessos avaliados, 18% evidenciaram cor de polpa amarela, enquanto a grande maioria evidenciou cor de polpa branca ou creme; ii) constrictões nas raízes: os programas de melhoramento genético objetivam cultivares com poucas constrictões e 84% dos acessos expressaram esse fenótipo; iii) comprimento médio das raízes: os melhoristas de mandioca têm preferência por cultivares com raízes de tamanho médio e 47% dos acessos do banco expressaram esse fenótipo; iv) destaque da película e do córtex da raiz: para esses caracteres, o ideal são fenótipos com destaque fácil e foi observado que 69% dos acessos apresentam um destaque fácil, da película da raiz, porém 80% apresentam destaque difícil do córtex; v) presença de pedúnculo nas raízes, o ideal são fenótipos com pedúnculo curto, e 57% dos acessos evidenciam a presença de pedúnculos; vi) cor externa da raiz e do córtex da raiz: tais caracteres começaram a ter importância agrônomico há



pouco tempo, sendo que o ideal para a indústria são acessos de cor do córtex e externa da raiz branca, e 15% dos acessos apresentam cor externa da raiz branca ou creme; e 60% cor do córtex branca ou creme, para a produção de mandioca de mesa, são preferidas as mandiocas com coloração externa da raiz marrom-clara ou escura e 85% dos acessos evidenciam tais caracteres (Tabela 2). Esses resultados sugerem que os acessos do banco de germoplasma podem ser úteis como genitores em programas de melhoramento, uma vez que grande número de acessos apresenta caracteres desejáveis do ponto de vista agrônomo e com elevada variabilidade genética.

A análise de agrupamento de Tocher distribuiu os 356 acessos de mandioca avaliados em 34 grupos distintos, em função da sua similaridade genética (Tabela 3). Foi formado um grande grupo constituído por 99 acessos, cinco grupos medianos constituídos de 37 a 24 acessos e 28 grupos pequenos, formados por menos de 13 acessos. Dentre os grupos pequenos, seis

foram formados por apenas um acesso, o que indica que tais acessos são os mais divergentes em relação aos demais.

Os acessos dentro de cada grupo apresentaram distância genética média inferior a 0,41, ou seja, a similaridade média dentro dos grupos foi superior a 0,59, o que permite que se admita que os grupos formados são homogêneos (Tabela 3). O estabelecimento de agrupamentos com homogeneidade dentro dos grupos de genótipos e com heterogeneidade entre os grupos pode ser o ponto de partida para uma avaliação mais minuciosa dos acessos, visando à maior eficiência nos programas de melhoramento. Desta forma, os resultados apontam para a possibilidade de o pesquisador amostrar genótipos pertencentes a grupos diferentes, que então poderão ser avaliados quanto a caracteres fenotípicos de interesse agrônomo em ensaios mais elaborados, com delineamento experimental e realizados em vários locais, visando à seleção de cultivares.

**Tabela 3** - Grupos de acessos estabelecidos pelo método de Tocher, com base na dissimilaridade genética, número de acessos em cada grupo e a dissimilaridade genética média dentro de cada grupo.

*Table 3 - Groups of accessions established by the Tocher method, based on genetic dissimilarity, number of accessions within each group and mean genetic dissimilarity within each group.*

Grupo	Acessos	Número de acessos	Dissimilaridade média intragrupo
1	1 <sup>m</sup> , 3 <sup>nd</sup> , 11 <sup>m</sup> , 42 <sup>m</sup> , 48 <sup>m</sup> , 69 <sup>m</sup> , 81 <sup>b</sup> , 85 <sup>m</sup> , 108 <sup>m</sup> , 103 <sup>m</sup> , 112 <sup>m</sup> , 124 <sup>m</sup> , 142 <sup>m</sup> , 148 <sup>b</sup> , 158 <sup>m</sup> , 162 <sup>m</sup> , 181 <sup>m</sup> , 205 <sup>m</sup> , 230 <sup>m</sup> , 238 <sup>m</sup> , 255 <sup>m</sup> , 260 <sup>nd</sup> , 261 <sup>m</sup> , 263 <sup>m</sup> , 276 <sup>b</sup> , 279 <sup>b</sup> , 283 <sup>b</sup> , 304 <sup>nd</sup> , 305 <sup>nd</sup> , 308 <sup>nd</sup> , 311 <sup>nd</sup> , 312 <sup>nd</sup> , 313 <sup>nd</sup> , 314 <sup>nd</sup> , 315 <sup>nd</sup> , 341 <sup>nd</sup> e 356 <sup>nd</sup>	37	0,38
2	16 <sup>m</sup> , 18 <sup>m</sup> , 19 <sup>b</sup> , 27 <sup>m</sup> , 34 <sup>m</sup> , 44 <sup>b</sup> , 47 <sup>b</sup> , 55 <sup>b</sup> , 56 <sup>m</sup> , 57 <sup>m</sup> , 59 <sup>b</sup> , 60 <sup>nd</sup> , 62 <sup>m</sup> , 64 <sup>m</sup> , 65 <sup>m</sup> , 70 <sup>b</sup> , 71 <sup>b</sup> , 73 <sup>m</sup> , 74 <sup>b</sup> , 75 <sup>b</sup> , 84 <sup>m</sup> , 88 <sup>m</sup> , 94 <sup>m</sup> , 105 <sup>m</sup> , 113 <sup>b</sup> , 114 <sup>m</sup> , 116 <sup>m</sup> , 117 <sup>m</sup> , 119 <sup>m</sup> , 121 <sup>m</sup> , 122 <sup>b</sup> , 123 <sup>m</sup> , 125 <sup>m</sup> , 126 <sup>m</sup> , 128 <sup>m</sup> , 136 <sup>m</sup> , 140 <sup>b</sup> , 143 <sup>m</sup> , 145 <sup>m</sup> , 146 <sup>b</sup> , 147 <sup>m</sup> , 153 <sup>m</sup> , 155 <sup>m</sup> , 164 <sup>m</sup> , 170 <sup>nd</sup> , 176 <sup>m</sup> , 189 <sup>m</sup> , 195 <sup>m</sup> , 201 <sup>m</sup> , 203 <sup>m</sup> , 208 <sup>m</sup> , 211 <sup>m</sup> , 212 <sup>nd</sup> , 213 <sup>b</sup> , 216 <sup>m</sup> , 217 <sup>m</sup> , 218 <sup>nd</sup> , 225 <sup>b</sup> , 233 <sup>m</sup> , 246 <sup>nd</sup> , 248 <sup>nd</sup> , 250 <sup>nd</sup> , 252 <sup>m</sup> , 254 <sup>m</sup> , 259 <sup>nd</sup> , 262 <sup>nd</sup> , 266 <sup>m</sup> , 268 <sup>m</sup> , 271 <sup>m</sup> , 272 <sup>m</sup> , 274 <sup>m</sup> , 277 <sup>m</sup> , 282 <sup>m</sup> , 285 <sup>b</sup> , 286 <sup>m</sup> , 289 <sup>b</sup> , 290 <sup>nd</sup> , 292 <sup>m</sup> , 295 <sup>m</sup> , 296 <sup>b</sup> , 297 <sup>nd</sup> , 298 <sup>nd</sup> , 301 <sup>nd</sup> , 307 <sup>nd</sup> , 319 <sup>nd</sup> , 320 <sup>nd</sup> , 323 <sup>nd</sup> , 329 <sup>nd</sup> , 332 <sup>nd</sup> , 333 <sup>nd</sup> , 335 <sup>nd</sup> , 336 <sup>nd</sup> , 337 <sup>nd</sup> , 338 <sup>nd</sup> , 339 <sup>nd</sup> , 342 <sup>nd</sup> , 349 <sup>nd</sup> , 351 <sup>nd</sup> e 352 <sup>nd</sup>	99	0,37
3	4 <sup>nd</sup> , 8 <sup>b</sup> , 13 <sup>m</sup> , 15 <sup>b</sup> , 21 <sup>nd</sup> , 26 <sup>m</sup> , 29 <sup>m</sup> , 30 <sup>m</sup> , 31 <sup>b</sup> , 32 <sup>m</sup> , 33 <sup>b</sup> , 36 <sup>b</sup> , 38 <sup>b</sup> , 40 <sup>b</sup> , 52 <sup>m</sup> , 63 <sup>b</sup> , 67 <sup>m</sup> , 68 <sup>m</sup> , 72 <sup>m</sup> , 89 <sup>nd</sup> , 95 <sup>m</sup> , 96 <sup>b</sup> , 99 <sup>m</sup> , 104 <sup>m</sup> , 111 <sup>m</sup> , 130 <sup>b</sup> , 154 <sup>m</sup> , 156 <sup>b</sup> , 157 <sup>m</sup> , 166 <sup>b</sup> , 175 <sup>m</sup> , 177 <sup>m</sup> , 186 <sup>m</sup> , 191 <sup>m</sup> e 224 <sup>m</sup>	35	0,37
4	46 <sup>m</sup> , 93 <sup>m</sup> , 97 <sup>m</sup> , 129 <sup>m</sup> , 138 <sup>nd</sup> , 144 <sup>m</sup> , 151 <sup>m</sup> , 159 <sup>m</sup> , 160 <sup>m</sup> , 163 <sup>m</sup> , 167 <sup>m</sup> , 173 <sup>m</sup> , 174 <sup>m</sup> , 185 <sup>m</sup> , 188 <sup>m</sup> , 194 <sup>b</sup> , 207 <sup>m</sup> , 214 <sup>m</sup> , 215 <sup>m</sup> , 219 <sup>b</sup> , 220 <sup>m</sup> , 231 <sup>m</sup> , 232 <sup>m</sup> , 242 <sup>m</sup> , 264 <sup>m</sup> , 269 <sup>m</sup> , 270 <sup>m</sup> , 303 <sup>nd</sup> , 316 <sup>nd</sup> , 317 <sup>nd</sup> e 340 <sup>nd</sup>	31	0,37
5	6 <sup>b</sup> , 45 <sup>m</sup> , 98 <sup>m</sup> , 101 <sup>b</sup> , 102 <sup>m</sup> , 107 <sup>m</sup> , 109 <sup>m</sup> , 115 <sup>m</sup> , 132 <sup>m</sup> , 150 <sup>m</sup> , 168 <sup>m</sup> , 182 <sup>m</sup> , 204 <sup>m</sup> , 222 <sup>m</sup> , 228 <sup>b</sup> , 229 <sup>m</sup> , 234 <sup>m</sup> , 236 <sup>m</sup> , 237 <sup>nd</sup> , 243 <sup>m</sup> , 247 <sup>nd</sup> , 275 <sup>b</sup> , 299 <sup>nd</sup> e 310 <sup>nd</sup>	24	0,38

Grupo	Acessos	Número de acessos	Dissimilaridade média intragrupo
6	5 <sup>m</sup> , 7 <sup>nd</sup> , 9 <sup>b</sup> , 10 <sup>nd</sup> , 20 <sup>nd</sup> , 22 <sup>nd</sup> , 23 <sup>nd</sup> , 24 <sup>nd</sup> , 25 <sup>nd</sup> , 28 <sup>b</sup> , 35 <sup>b</sup> , 39 <sup>m</sup> , 53 <sup>m</sup> , 54 <sup>b</sup> , 78 <sup>b</sup> , 87 <sup>b</sup> , 90 <sup>m</sup> , 92 <sup>m</sup> , 100 <sup>m</sup> , 133 <sup>b</sup> , 135 <sup>m</sup> , 152 <sup>nd</sup> , 169 <sup>m</sup> , 178 <sup>m</sup> , 267 <sup>m</sup> e 294 <sup>m</sup>	26	0,38
7	134 <sup>nd</sup> , 137 <sup>nd</sup> , 223 <sup>nd</sup> , 258 <sup>nd</sup> , 284 <sup>m</sup> , 306 <sup>nd</sup> , 325 <sup>nd</sup> , 347 <sup>nd</sup> e 353 <sup>nd</sup>	9	0,36
8	190 <sup>m</sup> , 193 <sup>m</sup> , 226 <sup>m</sup> , 241 <sup>m</sup> , 244 <sup>m</sup> , 251 <sup>nd</sup> , 257 <sup>m</sup> , 288 <sup>nd</sup> , 291 <sup>m</sup> , 309 <sup>nd</sup> , 327 <sup>nd</sup> , 328 <sup>nd</sup> e 334 <sup>nd</sup>	13	0,32
9	12 <sup>m</sup> , 37 <sup>b</sup> , 61 <sup>b</sup> , 80 <sup>m</sup> , 83 <sup>b</sup> , 118 <sup>m</sup> , 120 <sup>nd</sup> , 141 <sup>m</sup> , 149 <sup>m</sup> e 165 <sup>m</sup>	10	0,34
10	187 <sup>m</sup> , 202 <sup>nd</sup> , 210 <sup>b</sup> e 273 <sup>m</sup>	4	0,31
11	58 <sup>m</sup> , 77 <sup>b</sup> , 79 <sup>b</sup> , 86 <sup>m</sup> , 91 <sup>m</sup> e 161 <sup>m</sup>	6	0,33
12	184 <sup>m</sup> , 196 <sup>m</sup> , 206 <sup>m</sup> , 221 <sup>m</sup> , 324 <sup>nd</sup> , 330 <sup>nd</sup> , 345 <sup>nd</sup> e 354 <sup>nd</sup>	8	0,38
13	198 <sup>m</sup> , 199 <sup>b</sup> , 245 <sup>m</sup> , 278 <sup>m</sup> , 280 <sup>m</sup> e 350 <sup>nd</sup>	6	0,37
14	127 <sup>m</sup> , 131 <sup>m</sup> , 171 <sup>m</sup> e 209 <sup>m</sup>	4	0,35
15	180 <sup>m</sup> , 197 <sup>m</sup> , 265 <sup>m</sup> e 348 <sup>nd</sup>	4	0,36
16	293 <sup>m</sup> , 300 <sup>nd</sup> , 322 <sup>nd</sup> e 331 <sup>nd</sup>	4	0,38
17	17 <sup>b</sup> , 76 <sup>m</sup> , 82 <sup>m</sup> e 183 <sup>m</sup>	4	0,37
18	43 <sup>m</sup> e 302 <sup>nd</sup>	2	0,30
19	50 <sup>m</sup> , 106 <sup>m</sup> , 110 <sup>m</sup> e 139 <sup>m</sup>	4	0,38
20	179 <sup>m</sup> , 346 <sup>nd</sup> , e 355 <sup>nd</sup>	3	0,35
21	200 <sup>m</sup> e 318 <sup>nd</sup>	2	0,33
22	235 <sup>nd</sup> , 240 <sup>m</sup> e 321 <sup>nd</sup>	3	0,38
23	287 <sup>m</sup> e 343 <sup>nd</sup>	2	0,33
24	2 <sup>nd</sup> e 14 <sup>m</sup>	2	0,41
25	41 <sup>b</sup> e 172 <sup>m</sup>	2	0,41
26	51 <sup>m</sup> e 249 <sup>nd</sup>	2	0,41
27	192 <sup>m</sup> e 256 <sup>nd</sup>	2	0,41
28	239 <sup>m</sup> e 344 <sup>nd</sup>	2	0,41
29	227 <sup>nd</sup>	1	-
30	281 <sup>nd</sup>	1	-
31	253 <sup>m</sup>	1	-
32	49 <sup>b</sup>	1	-
33	326 <sup>nd</sup>	1	-
34	66 <sup>m</sup>	1	-

\*número do acesso, seguido por m) mandioca-mansa; b) mandioca-brava e nd) não determinado, segundo FIALHO et al. (1999).

\*the letters m, b, and nd, following an accession number, indicate, respectively, a cool cassava, a bitter cassava and a not determined genotype, accordingly to FIALHO et al. (1999).

A divergência genética estimada por meio dos caracteres morfológicos não permitiu a separação dos acessos em relação ao teor de HCN nas raízes (Tabela 3). A distinção de acessos de mandioca em mansa e brava não tem sido correlacionada com diferenças fenotípicas (ROGERS & FLEMING, 1973; MKUMBIRA et al., 2003). Entretanto, por meio da utilização de marcadores moleculares, tem sido possível a diferenciação de cultivares de mandioca de acordo com o teor de HCN nas raízes (MKUMBIRA et al., 2003; ELIAS et al., 2004), indicando que existem diferenças em nível de DNA entre as mandioacas-bravas e mansas (*pools* gênicos diferentes). Outra explicação é que as diferenças morfológicas ocorrem principalmente devido à necessidade dos agricultores em diferenciar as cultivares (BOSTER, 1984). Apesar de os caracteres morfológicos utilizados nesse estudo e

no estudo de MKUMBIRA et al. (2003) não terem sido eficientes na separação de acessos de mandioca em mansa e brava, os autores relatam que os agricultores tradicionais apresentam elevada acurácia na diferenciação das cultivares de mandioca-brava e mansa que mantêm sob cultivo, talvez em função de, intuitivamente, utilizarem caracteres morfológicos mais detalhados que os utilizados pelos pesquisadores.

### Conclusões

Os acessos de mandioca do banco de germoplasma da Embrapa Cerrados evidenciam elevada variabilidade com base em descritores morfológicos.

Os caracteres com maiores entropias foram cor externa do caule, cor do pecíolo, forma do lóbulo central e cor da folha apical, e os de

menores entropias foram hábito de crescimento do caule, floração, textura da epiderme da raiz e constrições da raiz.

Os 356 acessos foram divididos em 34 grupos distintos em função de sua similaridade genética.

Os caracteres morfológicos não são eficientes na diferenciação entre mandiocas mansas e bravas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa, Fundação Banco do Brasil, CNPq, Programa Biodiversidade Brasil x Itália e FAPDF, pelos auxílios recebidos e bolsas de iniciação científica.

### Referências

- BELLON, M. R. The dynamics of crop intraspecific diversity: a conceptual framework at the farmer level. **Economic Botany**, Bronx, v.50, n.1, p.26-39, 1996.
- BOSTER, J. S. Classification, cultivation, and selection of Araguari cultivars of *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae). **Advances in Economic Botany**, Bronx, v.1, n.1, p.34-47, 1984.
- CARVALHO, L. J. C. B.; ACHAAL, B. A. Assessing genetic diversity in the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm collection in Brazil using PCR-based markers. **Euphytica**, Dordrecht, v.120, n.1, p.130-140, 2001.
- CEBALLOS, H.; IGLESIAS, C. A.; PÉREZ, J. C.; DIXON, A. G. O. Cassava breeding: opportunities and challenges. **Plant Molecular Biology**, v.56, Dordrecht, n.4, p.503-516, 2004.
- COLOMBO, C.; SECOND, G.; CHARRIER, A. Diversity within American cassava germ plasm based on RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.23, n.1, p.189-199, 2000.
- CRUZ, C. D. **Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: Editora da UFV, 2001. 648p.
- ELIAS, M.; McKEY, D.; PANAUD, O.; ANSTETT, M. C.; ROBERT, T. Traditional management of cassava morphological and genetic diversity by the Makushi Amerindians (Guyana, South America): Perspectives for on-farm conservation of crop genetic resources. **Euphytica**, Dordrecht, v.120, n.1, p.143-157, 2001a.
- ELIAS, M.; MÜHLEN, G. S.; McKEY, D.; ROA, A. C.; THOME, J. Genetic diversity of traditional south american landraces of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) an analysis using microsatellites. **Economic Botany**, Bronx, v.58, n.2, p.242-256, 2004.
- ELIAS, M.; PENET, L.; VINDRY, P.; McKEY, D.; PANAUD, O.; ROBERT, T. Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a vegetatively propagated crop plant, cassava (*Manihot esculenta* Crantz), in a traditional farming system. **Molecular Ecology**, New York, v.10, n.8, p.1.895-1.907, 2001b.
- FIALHO, J. F.; PEREIRA, A. V.; FUKUDA, W.M.G.; COSTA, I. R. S. Conservação e avaliação de germoplasma de mandioca do cerrado. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE - SIRGALC, 2., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. p.53.
- FREGENE, M. A.; SUAREZ, M.; MKUMBIRA, J.; KULEMBEKA, H.; NDEDYA, E.; KULAYA, A.; MITCHEL, S.; GULLBERG, U.; ROSLING, H.; DIXON, A. G. O.; DEAN, R.; KRESOVICH, S. Simple sequence repeat marker diversity in cassava landraces: genetic diversity and differentiation in an asexually propagated crop. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.107, n.8, p.1.083-1.093, 2003.
- FUKUDA, W. M. G. **Banco de germoplasma de mandioca: manejo, conservação e caracterização**. Cruz das Almas: EMBRAPA – CNPMF, 1996. 103p.
- FUKUDA, W. M. G.; GUEVARA, C. L. **Descritores morfológicos e agrônômicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cruz das Almas: EMBRAPA – CNPMF, 1998. 38p.
- HIDALGO, R. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In: FRANCO, T. L.; HIDALGO, R. (Eds.). **Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos**. Cali: IPGRI, 2003. 89p.
- IGLESIAS, C.; HERSHEY, C.; CALLE, F.; BOLANOS, A. Propagating cassava (*Manihot esculenta*) by sexual seed. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.30, n.3, p.283-290, 1994.
- KERR, W. E.; CLEMENT, C. R. Práticas agrícolas de consequências genéticas que possibilitariam aos índios da Amazônia uma melhor adaptação às condições ecológicas da região. **Acta Amazônica**, Manaus, v.10, n.1, p.251-261, 1980.

- LORENZI, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca**. Campinas: CATI, 1993. 41p.
- MARTINS, P. S. Biodiversity and agriculture: patterns of domestication of brazilian native plant species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.66, n.1, p.219-224, 1994.
- MKUMBIRA, J.; CHIWONA-KARLTUN, L.; LAGERCRANTZ, U.; MAHUNGU, N. M.; SAKA, J.; MHONE, A.; BOKANGA, M.; BRIMER, L.; GULLBERG, U.; ROSLING, H. Classification of cassava into "bitter" and "cool" in Malawi: from farmer's perception to characterization by molecular markers. **Euphytica**, Dordrecht, v.132, n.1, p.7-22, 2003.
- MÜHLEN, G. S.; MARTINS, P. S.; ANDO, A. Variabilidade genética de etnovarietades de mandioca, avaliada por marcadores de DNA. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.2, p.319-328, 2000.
- PERONI, N.; MARTINS, P. S.; ANDO, A. Diversidade inter- e intra específica e uso de análise multivariada para morfologia da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): um estudo de caso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.587-595, 1999.
- PILLAR, V.P. Multivariate exploratory analysis and randomization testing using Multiv. **Coenoses**, Gorizia, v.12, n.1, p.145-148, 1997.
- ROGERS, D. J.; FLEMING, H. S. A monograph of *Manihot esculenta* with an explanation of the taximetric methods used. **Economic Botany**, Bronx, v.27, n.1, p.1-113, 1973.
- SALICK, J.; CELLINESE, N.; KNAPP, S. Indigenous diversity of cassava: generation, maintenance, use and loss among Amuesha, Peruvian upper Amazon. **Economic Botany**, Bronx, v.51, n.1, p.6-19, 1997.
- SAMBATTI, J. B. M.; MARTINS, P. S.; ANDO, A. Distribuição da diversidade isoenzimática e morfológica da mandioca autóctone de Ubatuba. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.75-80, 2000.
- ZACARIAS, A. M.; BOTHA, A. M.; LABUSCHAGNE, M. T.; BENESI, I. R. M. Characterization and genetic distance analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm form Mozambique using RAPD fingerprinting. **Euphytica**, Dordrecht, v.138, n.1, p.49-53, 2004.

Recebido em 10-05-2006  
Aceito para publicação em 12-08-2007