

GENÉTICA DE COFFEA

VI — INDEPENDÊNCIA DOS FATORES *xc xc* (XANTHOCARPA) E *Br Br* (BRONZE) EM *COFFEA ARABICA* L.

C. A. Krug

e

Alcides Carvalho

I — INTRODUÇÃO

Em trabalhos anteriores (1 e 2) os autores apresentaram os resultados da análise genética da cor amarela dos frutos e da coloração bronzeada das folhas novas em *Coffea arabica* L. Concluiu-se que estes caracteres são controlados, cada um, por um único par de fatores genéticos, que receberam, respectivamente, os símbolos *xc xc* (de *xanthocarpa* = fruto amarelo) e *Br Br* (de *bronze*). Em ambos os casos verificou-se a existência de dominância incompleta nos híbridos: o cruzamento entre plantas de frutos vermelhos e de frutos amarelos é constituído por indivíduos de frutos maduros de coloração vermelha levemente mais clara do que o tipo vermelho puro, e os híbridos entre plantas de folhas novas bronze-escuras e outras de brotos verdes caracterizando-se por possuir folhas novas de coloração bronze-clara. Por este motivo obtem-se na geração F_2 destes híbridos a relação 1:2:1, que é uma modificação da relação mendeliana monohíbrida 3:1, os *back-crosses* fornecendo a relação esperada de 1:1.

Os genótipos encontrados nestas hibridações e a sua respectiva expressão fenotípica são, pois, os seguintes:

<i>Br Br</i>	=	Folhas novas	<i>bronze escuras</i>
<i>Br br</i>	=	" "	<i>bronze claras</i>
<i>br br</i>	=	" "	<i>verdes</i>
<i>Xc Xc</i>	=	Frutos maduros	<i>vermelhos</i> (normais)
<i>Xc xc</i>	=	" "	<i>vermelho claros</i>
<i>xc xc</i>	=	" "	<i>amarelos</i>

Narasimha Swamy (5), estudando a ocorrência da cor das folhas novas e do pericarpo em algumas variedades de *Coffea arabica*, chegou

à conclusão de que plantas com folhas novas bronzeadas apenas produzem frutos de coloração vermelha e plantas com folhas novas verdes, somente frutos amarelos.

Como em algumas das hibridações aqui efetuadas foram estudados os dois caracteres em questão, reuniram-se, na presente publicação, os resultados obtidos na análise conjunta envolvendo os dois pares de fatores acima mencionados.

II — ANÁLISE GENÉTICA

A seguir apresentam-se os resultados das classificações efetuadas em alguns lotes de mudas procedentes de autofecundações de plantas híbridas para os dois gens em questão e também de dois *back-crosses*. Com relação a estes últimos, cumpre notar que os dados são um tanto incompletos, pois são ao todo quatro os *back-crosses* que se podem realizar :

1)	Híbrido	(Xc xc Br br)	x	(Xc Xc br br)
2)	"	"	x	(xc xc Br Br)
3)	"	"	x	(Xc Xc Br Br)
4)	"	"	x	(xc xc br br)

Destas quatro modalidades apenas possuímos dados das duas primeiras ; o último, isto é, o *back-cross* com a forma duplamente recessiva, sempre o mais preferido em tais análises genéticas, não foi efetuado, porque tal combinação só foi obtida quando os indivíduos F₂ frutificaram pela primeira vez, isto é, 7 anos após o início dos trabalhos ; a realização deste *back-cross* teria, assim, atrasado esta análise por mais 3 a 4 anos.

1) Autofecundação de plantas heterozigotas (Xc xc Br br)

Em 1933 vários cruzamentos foram realizados entre plantas de diversas variedades de *C. arabica* L, umas possuindo frutos amarelos e outras frutos vermelhos, a-fim-de se estudar o mecanismo da transmissão desse característico. Todas as plantas de frutos amarelos utilizadas nesses cruzamentos apresentavam as folhas novas de cor bronze-escuro enquanto alguns dos cafeeiros de frutos vermelhos possuíam as folhas novas de cor verde bem típica. Verifica-se, pois, que estes fatos já estão em completo desacordo com os resultados de Narasinha Swamy (5) atrás mencionados. Quando esses híbridos frutificaram, verificou-se que todos eles possuíam frutos de coloração intermediária entre o amarelo e o vermelho (1) e folhas novas de cor bronze-clara (2). A relação desses híbridos é a seguinte :

QUADRO I

PLANTAS CRUZADAS			Número de híbridos F ₁ obtidos (Xc xc Br br)
N.ºs	Variedades	Constituição genética	
38 x 1	<i>typica xanthocarpa</i> x <i>bourbon</i>	xc xc Br Br x Xc Xc br br	9
39 x 2	"	"	40
58 x 34	<i>maragogipe xanthocarpa</i> x <i>mokka</i>	"	25
59 x 34	"	"	10
34 x 59	<i>mokka</i> x <i>maragogipe xanthocarpa</i>	Xc Xc br br x xc xc Br Br	4

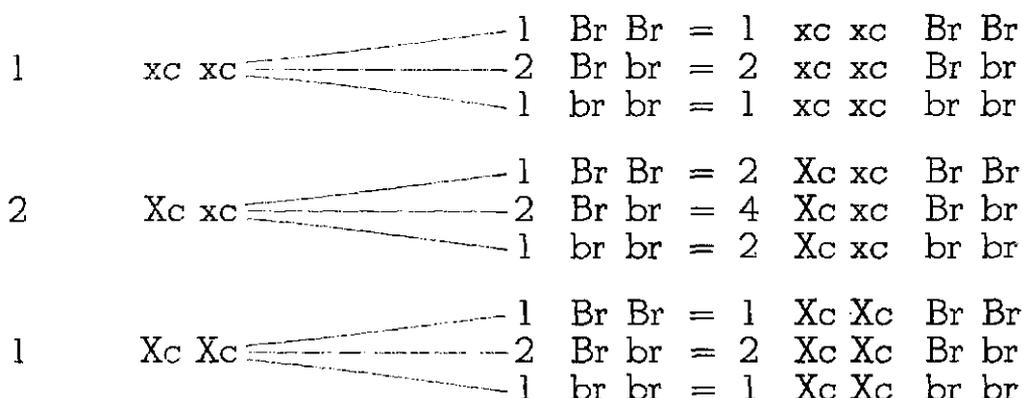
Proseguindo a análise genética para o estudo da coloração da cor dos frutos, vários desses exemplares híbridos foram autofecundados, obtendo-se um número considerável de sementes. Estas foram semeadas em canteiros a pequena distância e sob a sombra de um ripado. Uma parte das mudas obtidas foi mais tarde transplantada, no ripado, para outros canteiros a distância maior, sendo alí deixada até a época da maturação completa dos frutos, quando se procedeu a uma cuidadosa classificação da cor dos mesmos. Nesta ocasião realizou-se também a classificação das mudas de acordo com a cor das suas folhas novas, isto é, *verde*, *bronze-claro* e *bronze escuro*.

A outra parte das mudas foi posteriormente transplantada para o local definitivo a pleno sol, em um dos lotes da Secção de Genética, para o estudo da sua produtividade. Aí também se fez a classificação da cor dos frutos e das folhas novas, quando estes cafeeiros frutificaram pela primeira vez.

Verificou-se, desde logo, que os diversos tipos de plantas encontradas em F₂, podiam ser classificados em nove grupos :

Grupo	Cor dos frutos	Cor das folhas novas	Constituição genética
1.º	amarelo	bronze escuro	xc xc Br Br
2.º	"	" claro	xc xc Br br
3.º	"	verde	xc xc br br
4.º	vermelho-claro	bronze escuro	Xc xc Br Br
5.º	"	" claro	Xc xc Br br
6.º	"	verde	Xc xc br br
7.º	vermelho normal	bronze escuro	Xc Xc Br Br
8.º	"	" claro	Xc Xc Br br
9.º	"	verde	Xc Xc br br

Tratando-se de dois pares de fatores que mostram dominância incompleta em F_1 , a relação que se obtém em F_2 , admitindo a hipótese de esses fatores serem independentes, é de 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1, relação essa, que não passa de uma modificação da relação normal mendeliana 9 : 3 : 3 : 1 e que se obtém da seguinte maneira :



No quadro II apresentamos os resultados obtidos.

χ^2 — teste referente ao quadro II

F. obs.	F. esp.		F. obs. - F. esp.	(F. obs. - F. esp.) ²	(F. obs. - F. esp.) ²
					F. esp.
38	1	38.06	— 0.06	0.0036	0.0000
81	2	76.12	— 4.88	23.8144	0.3129
36	1	38.06	— 2.06	4.2436	0.1115
74	2	76.12	— 2.12	4.4944	0.0590
156	4	152.24	— 3.76	14.1376	0.0929
87	2	76.12	— 10.88	118.3744	1.5551
36	1	38.06	— 2.06	4.2436	0.1115
65	2	76.12	— 11.12	123.6544	1.6245
36	1	38.06	— 2.06	4.2436	0.1115
609					3.9789

$$\chi^2 = 3,9789 \quad nf = 8 \quad \text{Limites de } \chi^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{ — } 15.5 \\ 1\% \text{ — } 20.1 \end{array} \right.$$

O valor obtido para χ^2 nos indica, pois, que as frequências observadas muito se aproximam das frequências esperadas na base de 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1.

QUADRO II

F₂ DE PLANTAS HETEROZIGOTAS: Xc ac Br br.

N.º do híbrido F ₁ autofecun- dado	GENÓTIPOS ENCONTRADOS EM F ₂									
	xc xc Br Br	xc xc Br br	xc xc br br	Xc xc Br Br	Xc xc Br br	Xc xc br br	Xc Xc Br Br	Xc Xc Br br	Xc Xc br br	Xc Xc br br
(34 x 59) — 2	1	6	2	8	11	10	0	7	1	
— 3	11	22	13	19	54	25	12	21	10	
(39 x 2) — 4	5	3	5	0	12	7	4	7	6	
(39 x 2) — 20	6	4	4	0	5	3	0	1	2	
— 29	3	14	5	9	23	9	12	10	5	
(59 x 34) — 9	2	4	0	5	6	2	0	2	2	
— 20	3	4	2	12	10	10	3	6	4	
— 22	2	13	3	8	16	7	2	4	2	
(59 x 34) — 1	0	3	2	4	2	3	0	1	0	
— 4	2	4	0	4	9	7	1	1	1	
— 5	0	2	0	5	7	2	2	5	2	
— 8	3	2	0	0	1	2	0	0	1	
Totais	38	81	36	74	156	87	36	65	36	

2) *Back-cross* de plantas heterozigotas ($Xc\ xc\ Br\ br$), com indivíduos de frutos vermelhos e folhas novas verdes ($Xc\ Xc\ br\ br$).

Ainda continuando a análise genética da cor dos frutos, foi efetuada, em 1937, uma série de *back-crosses* entre as plantas híbridas ($Xc\ xc\ Br\ br$) e cafeeiros de frutos vermelhos ($Xc\ Xc$). Como algumas destas plantas possuíam brotos verdes ($br\ br$), esses mesmos *back-crosses* serviram para o estudo da hereditariedade da cor das folhas novas, bem como para esclarecer a relação existente entre os dois pares de fatores em questão. Nestes *back-crosses* constataram-se os seguintes grupos de plantas :

Grupo	Cor dos frutos	Cor das folhas novas	Constituição genética	
1.º	vermelho normal	Bronze claro	$Xc\ Xc$	$Br\ br$
2.º	"	verde	$Xc\ Xc$	$br\ br$
3.º	vermelho claro	Bronze claro	$Xc\ xc$	$Br\ br$
4.º	"	verde	$Xc\ xc$	$br\ br$

Admitindo novamente a hipótese de se tratar de dois pares de fatores independentes, que mostram dominância incompleta em F_1 , a relação teórica entre as quatro combinações acima citadas seria de 1 : 1 : 1 : 1. Analisando-se os dados numéricos obtidos, reunidos no quadro III, verifica-se que as frequências observadas se aproximam bastante desta relação, o valor de χ_2 calculado sendo muito menor do que o da tabela.

QUADRO III

BACK-CROSSES DE PLANTAS HETEROZIGOTAS ($Xc\ xc\ Br\ br$) COM PLANTAS DE FRUTOS VERMELHOS E BROTOS VERDES ($Xc\ Xc\ br\ br$).

Cruzamento N.º	Genótipos encontrados neste <i>back-cross</i>			
	$Xc\ Xc\ Br\ br$	$Xc\ Xc\ br\ br$	$Xc\ xc\ Br\ br$	$Xc\ xc\ br\ br$
(38 x 1) — 5 x 1	25	18	21	17
(39 x 2) — 20 x 2	5	6	11	9
Total	30	24	32	26

χ^2 — teste

F. obs.	F. esp.		F. obs. - F. esp.	(F. obs. - F. esp.) ²	(F. obs. - F. esp.) ²
					F. esp.
30	1	28	2	4	0.14
24	1	28	- 4	16	0.57
32	1	28	4	16	0.57
26	1	28	- 2	4	0.14
112	112				1.42

$$\chi^2 = 1.42 \quad n = 3 \quad \text{limites de } \chi^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{ — } 7.8 \\ 1\% \text{ — } 11.3 \end{array} \right.$$

3) *Back-cross* de plantas heterozigotas (Xc xc Br br) com plantas de frutos amarelos e folhas novas bronze escuras (xc xc Br Br)

Ao mesmo tempo que se efetuaram os cruzamentos atrás mencionados, realizaram-se também outros *back-crosses* entre plantas híbridas (Xc xc Br br) e cafeeiros de frutos amarelos e folhas novas bronze-escuras (xc xc Br Br). Na classificação destes *back-crosses* puderam ser observados os seguintes grupos de plantas :

Grupo	Cor dos frutos	Cor das folhas novas	Constituição genética
1.º	vermelho claro	Bronze claro	Xc xc Br br
2.º	"	" escuro	Xc xc Br Br
3.º	amarelo	" claro	xc xc Br br
4.º	"	" escuro	xc xc Br Br

Baseada na hipótese atrás mencionada, espera-se também aqui a relação de 1 : 1 : 1 : 1, entre os quatro genótipos acima especificados. O quadro IV e o χ^2 teste correspondente resumem os resultados obtidos :

QUADRO IV

Cruzamento N.º	Genótipos encontrados neste <i>back-cross</i>			
	Xc xc Br br	Xc xc Br Br	xc xc Br br	xc xc Br Br
(39 x 2) — 4 x 39	15	12	8	4
(39 x 2) — 20 x 39	12	8	16	10
Total	27	20	24	14

 χ^2 — teste

F. obs.	F. esp.		F. obs. - F. esp.	(F. obs. - F. esp.) ²	(F. obs. - F. esp.) ²
					F. esp.
27	1	21,25	5.75	33.06	1.56
20	1	21,25	- 1.25	1.76	0.08
24	1	21,25	2.75	7.56	0.36
14	1	21,25	- 7.25	52.56	2.47
85		85,00	0	—	4.47

$$\chi^2 = 4.47 \quad \text{nf} = 3 \quad \text{limites de } \chi^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 50\% \text{ — } 7.8 \\ 1\% \text{ — } 11.3 \end{array} \right.$$

Os resultados observados se aproximam, pois, dos esperados na base da relação 1 : 1 : 1 : 1.

III — CONCLUSÕES DA ANÁLISE GENÉTICA

Em vista das relações obtidas em F_2 de indivíduos heterozigotos para os fatores determinantes da cor amarela dos frutos e da cor bronzeada das folhas novas (Xc xc Br br), e dos *back-crosses* destas plantas híbridas tanto com cafeeiros de frutos vermelhos e de folhas verdes (Xc Xc br br) como com indivíduos de frutos amarelos e folhas novas bronze escuras (xc xc Br Br), conclue-se que ficou confirmada a hipótese atrás estabelecida, da independência entre esses dois pares de fatores

os dois fatores se acham localizados em cromosômios diferentes ou num mesmo cromosômio, porem distanciados entre si de 50 ou mais unidades de "crossing-over". Considerando-se que as variedades de *Coffea arabica* L, utilizadas na presente análise possuem 22 pares de cromosômios (3,4) a primeira das hipóteses é a mais provavel. Não há, pois, "linkage" entre os dois pares de gens estudados. .

À vista destes resultados tornam-se tambem sem valor as afirmações de Narasimha Swamy (5) de que plantas de frutos *vermelhos* sempre possuem folhas novas *bronzeadas*, sendo estas sempre *verdes* nos indivíduos produtores de frutos amarelos.

IV — RESUMO

Em artigos anteriores (1, 2) os autores demonstraram que a cor amarela dos frutos e a coloração bronzada das folhas novas são, em *Coffea arabica* L, controladas, cada uma, por um único par de fatores genéticos (respectivamente xc xc e Br Br). Os híbridos F₁, no primeiro caso com plantas de frutos *vermelhos*, e no segundo com plantas de folhas novas *verdes*, demonstraram tratar-se de casos em que há dominância incompleta nesta geração, os frutos híbridos possuindo uma coloração *vermelho clara* e as folhas novas se apresentando com uma tonalidade *bronze clara*.

Como algumas das hibridações realizadas envolviam, ao mesmo tempo, os dois caracteres em questão, apresentou-se a oportunidade para constatar se havia ou não independência entre os dois pares de fatores que controlam estes caracteres.

Neste artigo apresentam-se os resultados das observações realizadas, tanto em diversas populações de F₂ como tambem em dois *back-crosses*.

Os dados confirmam plenamente a hipótese estabelecida, isto é, da independência entre os dois pares de fatores em questão (xc xc e Br Br). Este fato era esperado à vista do número relativamente elevado de cromosômios nas variedades cruzadas ($2n = 44$).

SUMMARY

In two previous publications (1,2) the authors demonstrated that in *Coffea arabica* L. yellow fruit color and bronze color of young leaves are each controled by one pair of genes (respectively xc xc and Br Br). The F₁ hybrids, in the first instance between plants with yellow and red fruits and in the second instance between plants with bronze and green colored young leaves, showed incomplete dominance of both characters, the F₁ fruits being of a light red color and the F₁ young leaves of a light bronze one.

As some of the crosses involved both pairs of genes, it was possible to find out whether they are linked or independent.

In the present article the authors are publishing the results obtained with several F₂ populations and also with 2 types of back crosses. The data demonstrate clearly that the two pairs of genes are independent, a fact which was expected, considering that the varieties of *Coffea arabica* L., used in the present analysis, have as many as 22 pairs of chromosomes.

LITERATURA CITADA

1. **Krug, C. A. e A. Carvalho.** Genética de Coffea III. Hereditariedade da cor amarela dos frutos. Bol. Técn. do Instituto Agronômico do Estado de S. Paulo em Campinas. 82: 1-16. Figs. 1-4. 1940.
2. **Krug, C. A. e A. Carvalho.** Genética de Coffea V. Hereditariedade da coloração bronzeada das folhas novas de *Coffea arabica* L. *Bragantia* 2: 199-220. Fig. 1. 1942.
3. **Krug, C. A.** Contribuição para o estudo da citologia do gênero *Coffea*. Bol. Técn. do Instituto Agronômico do Estado de S. Paulo em Campinas. 11: 1-8. Figs. 1-9. 1934.
4. **Krug, C. A.** Estudos citológicos em *Coffea* II. Bol. Técn. do Instituto Agronômico do Estado de S. Paulo em Campinas. 22. 1-5. Figs. 1-7. 1936.
5. **Narasimha Swamy, R. L.** Genetical studies in *Coffea arabica* L. A preliminary study with young leaf colour and ripe pericarp colour. *The Indian Jour. Agric. Sci.* 10: 414-421. 1940.