

Revista de Agricultura

DIRETORES

Prof. Dr. F. Pimentel-Gomes
Prof. Dr. Evoneo Berti Filho
Prof^ª Dr^a Marli de Bem Gomes
Prof. Dr. Frederico M. Wiendl
Prof. Dr. Valdemar A. Demétrio
Prof. Dr. Paulo Roberto de Camargo e Castro

Vol. 79

Setembro/2004

Nº 2

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA AVALIAÇÃO NUMÉRICA DA BEBIDA DO CAFÉ EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

João Carlos Peres Romero¹

José Peres Romero¹

F. Pimentel - Gomes²

RESUMO

O artigo trata da obtenção de equações matemáticas que ligam a bebida do café, expressa numericamente, à condutividade elétrica de exsudato de suas amostras de grãos. Devido a diferenças de variâncias experimentais, os anos com dados completos foram separados em dois grupos, um relativo aos anos de 1998, 1999 e 2000, outro relativo aos cinco demais anos. No primeiro grupo, de variâncias similares, as equações foram de primeiro grau, com Nota = valor numérico da bebida em função de C a condutividade elétrica. São elas:

-
1. Engenheiros Agrônomos, cafeicultores em Minas Gerais.
 2. Engenheiro Agrônomo, Prof. Catedrático, Esalq, USP.

Ano de 1998: Nota = $4,596 - 0,0416 C$;

Ano de 1999: Nota = $4,959 - 0,0381 C$;

Ano de 2000: Nota = $5,559 - 0,0630 C$.

Nos 5 casos do segundo grupo foi necessário usar o logaritmo decimal (log). São elas:

Ano de 1993: Nota = $11,484 - 5,224 \log C$

Ano de 1994: Nota = $17,132 - 8,235 \log C$

Ano de 1995: Nota = $14,493 - 6,510 \log C$

Ano de 1996: Nota = $13,926 - 6,748 \log C$

Ano de 1997: Nota = $10,652 - 5,053 \log C$

ABSTRACT

The article has in view the calculation of equations to permit obtaining the numerical value of coffee taste in function of the electrical conductivity of its grains.

Having in account the value of experimental variances, the eight years with complete data were separated into two groups, one with years 1998, 1999 and 2000 and another with the remaining five years (1993 through 1997). In the first group, with similar variances of conductivity, first degree equations were used with no transformation of variables. In the second group, with five years, the decimal logarithm was applied to the conductivity data, to uniform the variances. In the first group, of variances more similar, first degree equations were used, without transformation of variables.

In the second group, the same method was used, but for conductivity data transformed into their decimal logarithm.

The equations obtained were:

Year 1998: Note = $4.596 - 0.0416 C$,

Year 1999: Note = $4.959 - 0.0381 C$,

Year 2000: Note = $5.559 - 0.0630 C$.

For the second group the equations were:

Year 1993: Note = $11.484 - 5.224 \log C$,

Year 1994: Note = $17.132 - 8.235 \log C$,

Year 1995: Note = 14.493 – 6.510 log C,

Year 1996: Note = 13.926 – 6.748 log C,

Year 1997: Note = 10.652 – 5.053 log C.

INTRODUÇÃO

Como visto em artigo anterior (Romero *et al.*, 2004), a condutividade elétrica de exsudato dos grãos de café beneficiado, sem escolha dos grãos, imersos em 75 mL de água destilada (no interior de copos plásticos) por Loeffler *et al.*, 1988 permite avaliar a bebida do café. Para melhor compreender esse método, o primeiro autor (João Carlos Peres Romero) durante dez anos (1993 a 2002) analisou a condutividade elétrica de grãos de café beneficiados de *Coffe arábica*, assim obtendo numerosíssimos dados da bebida, avaliada por degustação clássica, e também pela condutividade elétrica. Com base em tais dados é que se pesquisaram as equações matemáticas que ligam a condutividade elétrica à bebida do café. Os resultados dessas pesquisas são agora expostos neste artigo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os cafés estudados foram colhidos em dez anos de observação, com amostras numerosas, classificadas em Rio, Riado, Duro e Mole, com o Mole incluindo também apenas Mole e estritamente Mole. As amostras dos anos de 1993 a 1997 foram obtidas de diversas regiões do Brasil, com ênfase para cafés de bebida Rio e Riado, para a zona da Mata de Minas Gerais e para o Espírito Santo; e, no casos dos cafés moles, para o Estado de São Paulo e Sul de Minas, provenientes de cooperativas, arnazéns gerais, corretoras, produtores e comerciantes de café. Todas as amostras são comerciais, com características como tipo e bebida. Para cada ano e cada bebida (Rio, Riado, Duro e Mole) tomaram-se as amostras de cada ano ao acaso.

Tal como nos dois artigos anteriores (Romero *et al.*, 2003), foram atribuídas as seguintes notas: Rio = 0, Riado = 1, Duro = 2, Mole = 4.

A equação de regressão que permite calcular a avaliação numérica da bebida em função da condutividade elétrica tem de ser obtida pela

Teoria da regressão, com ou sem transformação de dados. Como a teoria pressupõe variável independente fixa (não aleatória, sem erro), o cálculo deve considerar como variável independente o valor numérico (x) da bebida, que é dado para cada observação, por um dos elementos do conjunto (0,1,2,4) referente às quatro bebidas registradas Rio, Riado, Dura e Mole, nesta ordem.

Logo, a equação, se de primeiro grau, a estimar é:

$$C \text{ (Condutividade)} = a + b x,$$

onde x é o valor numérico da bebida. O modelo matemático previsto é, pois,

$$C_i = a + b x_i + e_i$$

para a amostra i . Mas se exige que o erro e_i tenha distribuição normal de variância única σ^2 . Para evitar complicar inutilmente um problema já difícil, consideraremos apenas os oito anos (de 1993 a 1999 e 2002) com dados completos, isto é, 20 observações para cada uma das quatro bebidas. As médias e estimativas de variância para tais dados constam da Tabela 1.

Nos três casos em que temos relação máxima entre estimativas de variância (F máximo) menor do que 7 (sete) parece razoável estimar a equação linear pelo método dos quadrados mínimos tradicional, sem transformação dos dados de condutividade. Tais casos ocorrem nos anos de 1998, 1999 e 2002.

Para 1998 obteve-se o seguinte resultado para a análise da regressão:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	101004,94407	101004,94407	524,676	0,0001
Resíduo		15015,70252	192,50901		
Total	79	116020,64659			

A equação obtida, com C = Condutividade, foi:

$$C = 110,42 - 24,024 \text{ Nota,}$$

Tabela 1. Médias e variâncias estimadas, por bebida, para os oito anos de observação.

ANO	BEBIDA	NOTA	MÉDIA	VARIÂNCIA	F-Máximo
1993	Rio	0	197,69	5.306,56	165,49
	Riado	1	88,49	150,09	
	Duro	2	59,60	121,24	
	Mole	4	30,18	32,06	
1994	Rio	0	138,68	1.635,55	81,58
	Riado	1	80,59	104,21	
	Duro	2	68,24	107,83	
	Mole	4	41,25	20,05	
1995	Rio	0	209,76	3.602,48	47,91
	Riado	1	99,70	189,20	
	Duro	2	79,49	300,14	
	Mole	4	45,03	75,19	
1996	Rio	0	121,28	1.211,04	32,92
	Riado	1	82,13	214,40	
	Duro	2	59,56	133,49	
	Mole	4	30,27	36,79	
1997	Rio	0	134,26	605,13	11,78
	Riado	1	76,25	175,16	
	Duro	2	55,57	120,67	
	Mole	4	21,74	51,36	
1998	Rio	0	123,45	70,08	6,78
	Riado	1	66,19	27,38	
	Duro	2	66,60	46,08	
	Mole	4	17,25	10,34	
1999	Rio	0	137,67	122,03	4,4
	Riado	1	93,91	63,77	
	Duro	2	77,63	27,76	
	Mole	4	27,69	57,20	
2002	Rio	0	88,83	50,39	5,25
	Riado	1	78,07	37,40	
	Duro	2	46,68	18,61	
	Mole	4	28,22	9,61	

isto é:

$$\text{Nota} = 4,596 - 0,0416 C,$$

com $R^2 = 0,87$ e F significativo ao nível de 0,01%. Conclui-se, pois, que a regressão explica 87% da variação da condutividade entre bebidas observada.

Para 1999 tivemos:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	120525,04519	120525,04519	1119,016	0,0001
Resíduo	78	8401,08963	107,70628		
Total	79	128926,13482			

A equação obtida foi:

$$C = 130,1494 - 26,2434 \text{ Nota},$$

isto é:

$$\text{Nota} = 4,959 - 0,0381 C,$$

onde C = Condutividade >1, com $R^2 = 0,93$ e F significativo ao nível de 0,01%. Neste caso a regressão explica 93% da variação da condutividade observada entre bebidas.

Para o ano de 2002 tivemos:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	44062,73845	44062,73845	683,487	0,0001
Resíduo	78	5028,47115	64,46758		
Total	79	49091,20959			

A equação obtida foi:

$$C = 88,2159 - 15,8678 \text{ Nota},$$

isto é:

$$\text{Nota} = 5,559 - 0,0630 C,$$

onde C = Condutividade >1, com $R^2 = 0,89$ e F significativo ao nível de 0,01%. Neste caso a regressão explica 89% da variação da condutividade entre bebidas observada.

Em todas as equações calculadas para Nota em função de C (Condutividade) o coeficiente de C é negativo, logo, a nota é função decrescente da Condutividade (C), com R^2 em torno de 0,90.

OUTROS CASOS

Nos demais casos (anos de 1993 a 1997) fez-se trabalho semelhante, mas com transformação logarítmica decimal para as Condutividades. Com isto a relação entre a variância estimada máxima e a mínima foi sempre menor que 7, o que permitiu usar normalmente a Teoria da Regressão.

Tabela 2. Médias e variâncias estimadas para os dados transformados (Log_{10}), por bebida, para os anos 1993 a 1997.

ANO	BEBIDA	NOTA	MÉDIA	VARIÂNCIA	F-Máximo
1993	Rio	0	2,270	0,0230	6,70
	Riado	1	1,943	0,0034	
	Duro	2	1,768	0,0063	
	Mole	4	1,472	0,0067	
1994	Rio	0	2,127	0,0131	5,45
	Riado	1	1,903	0,0033	
	Duro	2	1,829	0,0045	
	Mole	4	1,613	0,0024	
1995	Rio	0	2,299	0,0235	6,80
	Riado	1	1,995	0,0035	
	Duro	2	1,889	0,0110	
	Mole	4	1,646	0,0066	
1996	Rio	0	2,070	0,0117	2,29
	Riado	1	1,909	0,0051	
	Duro	2	1,767	0,0075	
	Mole	4	1,474	0,0066	
1997	Rio	0	2,121	0,0060	4,48
	Riado	1	1,876	0,0052	
	Duro	2	1,737	0,0069	
	Mole	4	1,313	0,0235	

Para o ano de 1993 tivemos os resultados seguintes para a equação de regressão do log (condutividade) em função linear de Nota.

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	6,41372	6,41372	495,629	0,0001
Resíduo	78	1,00936	0,01294		
Total	79	7,42308			

A equação obtida, com $C = \text{Condutividade} > 1$, $\text{Log}_{10} C > 0$, foi:

$$\text{Log}_{10} C = 2,1985 - 0,1914 (\text{Nota})$$

isto é:

$$\text{Nota} = 11,4840 - 5,2236 \text{Log}_{10} C$$

Com $R^2 = 0,86$ e F significativo ao nível de 0,01%.

Para a ano de 1994, temos:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	2,58067	2,58067	362,570	0,0001
Resíduo	78	0,55518	0,00712		
Total	79	3,13586			

A equação obtida foi:

$$\text{Log}_{10} C = 2,0804 - 0,1214 (\text{Nota})$$

isto é:

$$\text{Nota} = 17,1325 - 8,2352 \text{Log}_{10} C$$

Com $R^2 = 0,82$, $C > 1$, $\text{Log}_{10} C > 0$ e com F significativo ao nível de 0,01%.

Para 1995, os resultados foram:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	4,12881	4,12881	288,443	0,0001
Resíduo	78	1,11650	0,01431		
Total	79	5,24531			

Obteve-se a equação

$$\text{Log}_{10} C = 2,2262 - 0,1536 (\text{Nota})$$

isto é:

$$\text{Nota} = 14,4935 - 6,5104 \text{Log}_{10} C$$

com $R^2 = 0,79$ e F significativo ao nível de 0,01%.

Para 1996 obteve-se o resultado a seguir:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	3,84099	3,84099	507,749	0,0001
Resíduo	78	0,59005	0,00756		
Total	79	4,43104			

A equação de regressão foi:

$$\text{Log}_{10} C = 2,0639 - 0,1482 (\text{Nota}),$$

isto é:

$$\text{Nota} = 13,9265 - 6,7476 \text{Log}_{10} C,$$

com $R^2 = 0,87$, teste F significativo ao nível de 0,01% e $\text{Log}_{10} C > 0$.

E, finalmente, para 1997, foram alcançados os seguintes resultados:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob>F
Modelo Linear	1	6,83438	6,85438	643,408	0,0001
Resíduo	78	0,83095	0,01065		
Total	79	7,68533			

$$\text{Log}_{10} C = 2,1082 - 0,1979 (\text{Nota}),$$

ou seja:

$$\text{Nota} = 10,6523 - 5,0528 \text{Log}_{10} C,$$

com $R^2 = 0,89$, também com F significativo ao nível de 0,01%.

Novamente se verifica que a Nota é função decrescente para o caso de $C > 1$, que é absolutamente geral.

CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados, conclui-se que, de maneira geral, a Nota é função decrescente da Condutividade Elétrica, e está estreitamente ligada à condutividade elétrica do exsudato dos grãos de café.

As equações obtidas para cada ano avaliado foram:

Ano	Equação	R ²
1993	Nota = 11,4840 - 5,2236 Log ₁₀ C	0,86
1994	Nota = 17,1325 - 8,2352 Log ₁₀ C	0,82
1995	Nota = 14,4935 - 6,5104 Log ₁₀ C	0,79
1996	Nota = 13,9265 - 6,7476 Log ₁₀ C	0,87
1997	Nota = 10,6523 - 5,0528 Log ₁₀ C	0,89
1998	Nota = 4,5960 - 0,0416 C	0,87
1999	Nota = 4,9590 - 0,0381 C	0,93
2002	Nota = 5,5590 - 0,0630 C	0,89

em que C = Condutividade Elétrica.

AGRADECIMENTO

Tal como nos artigos anteriores de Romero *et al*, (Rev. Agricultura, 2003 e 2004), os autores agradecem ao Engenheiro Florestal Carlos Henrique Garcia o auxílio prestado na computação eletrônica das análises estatísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LOEFFLER, T.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B., 1988. The Bulk Conductivity Test as an Indicator of Soybean Seed Quality. **J. Seed Tech.**, 12:37-53.
- PIMENTEL-GOMES, F.; ALDIR A. TEIXEIRA; VIVALDO F. DA CRUZ; LUIZ S.P. PEREIRA; ANTÔNIO DE CASTILHO, 1967. A Influência de Grãos Pretos em Ligas com Cafés de Bebida Mole. **Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz**, 24:71-81.
- PIMENTEL-GOMES, F., 2000. **Curso de Estatística Experimental**. 14.ed., Piracicaba.
- PRETTE, C.E.C., 1992. A Condutividade Elétrica do Exsudato de Grãos de Café (*Coffea arabica* L.) e sua Relação com a Qualidade da Bebida. Piracicaba, Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ROMERO, JOÃO C.P.; JOSÉ P. ROMERO; F. PIMENTEL-GOMES, 2003. Condutividade Elétrica do Exsudato de Grãos de *Coffea arabica* em 18 Cultivares no Período de 1993 a 2002.. **Rev. Agricultura**, 78:293-303.