

## **Otimização do sabor do café produzido na máquina de café expresso Electrolux Crema utilizando projeto de experimentos**

Aline Marian Callegaro, M.Sc. (PPGEP/UFRGS) [alinemc@producao.ufrgs.br](mailto:alinemc@producao.ufrgs.br)  
Thiago Spomberg, Eng. (PPGEP/UFRGS) [thiago.spomberg@gmail.com](mailto:thiago.spomberg@gmail.com)  
Carla Schwengber ten Caten, Dra. (PPGEP/UFRGS) [tencaten@producao.ufrgs.br](mailto:tencaten@producao.ufrgs.br)

### **Resumo:**

A tendência mundial de consumir cafés de qualidade superior pode ser beneficiada com a otimização do sabor da bebida de café expresso consumida pelos seus apreciadores. Este artigo apresenta a otimização experimental do sabor do café expresso produzido na máquina da marca Electrolux, modelo Crema, utilizando projeto de experimentos. Para a realização do experimento foi planejado um projeto fatorial  $2^7$  fracionado em quatro com blocagem do degustador. As variáveis de respostas referem-se às notas de 1 a 9 atribuídas pelos degustadores ao sabor de cada café ensaiado. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de regressão linear múltipla que possibilitou a otimização propriamente dita. A configuração ótima encontrada para o sabor do café expresso produzido pela máquina objeto do estudo é composta pela marca B de café, com quantidade rasa de pó de café e normal de água, adoçada com açúcar de mesa, produzida com água mineral e com o pó prensado.

**Palavras chave:** Projeto de Experimentos, Otimização Experimental, Café Expresso.

## **Taste coffee optimization produced in the espresso machine Crema Electrolux using design of experiments**

### **Abstract**

The worldwide trend to consume higher quality coffee may be benefit from the optimization of the espresso flavor consumed by their consumers. This paper presents experimental optimization of the flavor of the espresso produced in the Electrolux machine, model Crema, using design of experiments. To conduct the experiment was planned a  $2^7$  fractional factorial design with blocking of the appraiser. The response variables refer to notes 1 to 9 appraisers assigned by the taste of each coffee tested. The data were subjected to a multiple linear regression analysis which allowed the optimization itself. The optimal configuration found for the flavor of the espresso produced by the machine object of study is composed of mark B, coffee with shallow amount of coffee powder and normal water, sweetened with sugar, produced with mineral water and powder pressed.

**Key-words:** Design of Experiments, Experimental Optimization, Espresso.

### **1. Introdução**

O descobrimento do café expresso pelos brasileiros segue a tendência mundial do consumo de cafés com padrões de bebidas superiores. Para acompanhar esta tendência o setor produtivo se ajusta às exigências do consumidor, disponibilizando no mercado cafés de qualidade superior. Esta iniciativa auxilia a agregar valor tanto ao café expresso quanto ao café tradicional,

---

imprimindo características de segurança e uniformidade de qualidade ao produto (PINTO *et al.*, 2002).

No pensar de Pinto *et al.* (2001), o Brasil como grande produtor necessita aprofundar seus conhecimentos sobre procedimentos que possam melhorar a qualidade do produto. Existe a necessidade de incentivar o consumidor a reconhecer e valorizar diferentes padrões de bebidas.

A qualidade do sabor do café, particularmente do café expresso pode ser otimizada por meio de métodos estatísticos (WANG *et al.*, 2009). O projeto de experimentos (*Design of Experiments – DOE*), por exemplo, é uma poderosa ferramenta para a otimização de produtos e processos, pois identifica como os parâmetros do projeto influenciam as características de qualidade, orientando para testes mais objetivos, com conseqüente ganho de tempo e menores custos de projeto (RUFFONI, 2000).

O projeto de experimentos refere-se ao planejamento, elaboração, análise e otimização, de modo que as conclusões válidas e objetivas possam ser desenhadas de forma eficaz e eficiente. Para auxiliar neste processo, é necessário integrar métodos estatísticos à metodologia de planejamento experimental (ANTONY, 2003).

Após executados os ensaios, os dados coletados são submetidos à análise por meio da utilização de ferramentas estatísticas para identificar quais os fatores controláveis possuem efeito significativo sobre cada uma das variáveis de resposta. Uma vez realizada a análise individual de cada variável de resposta, tem início a otimização, ou seja, a definição dos ajustes dos níveis dos fatores controláveis que maximiza o desempenho do conjunto de variáveis de resposta simultaneamente (ARANDA *et al.*, 2008).

Pensando na qualidade do café expresso e nas características do projeto de experimentos expostas, pode-se formular o seguinte questionamento: qual o melhor sabor da bebida de café expresso elaborado em máquina específica? Baseado neste problema de pesquisa o presente artigo tem por objetivo realizar a otimização experimental do sabor do café expresso produzido na máquina da marca Electrolux, modelo Crema, utilizando projeto de experimentos.

A estrutura do artigo contempla a seção 2, em que é abordada a contextualização do problema; a seção 3, referente ao planejamento e execução de experimentos; a seção 4, no qual é realizada a modelagem através de regressão múltipla; e a seção 5, referente à otimização; e seção 6, em que são apresentadas as conclusões do estudo.

## **2. Contextualização do problema**

Segundo Nassif *et al.* (2005), o café é um produto de forte apelo nacional, presente nos hábitos do consumidor que denotam uma busca por cafés diferenciados e de qualidade. As avaliações do produto se baseiam nas posições descritivas, dedutivas e de informações. As características percebidas podem ser intrínsecas como o sabor, o aroma, a cor, a aparência e a consistência, assim como extrínsecas, que se referem à parte externa e envolvem o produto, tais como o ambiente, a embalagem, a marca e o país de origem.

Pinto *et al.* (2001) afirmam que existe uma possível relação entre a qualidade da bebida e sua composição química, relacionada ao teor de fenólicos totais, açúcares totais e açúcares não redutores. Sendo que, valores mais elevados de açúcares podem indicar a presença de maior doçura na bebida, característica responsável pela formação do sabor caramelo. Pinto *et al.* (2002) ressaltam que a acidez titulável total, o pH, o índice de escurecimento e os sólidos solúveis totais diferem entre si quanto aos padrões de bebidas, o que pode levar o café a apresentar diferentes níveis de acidez e teores de sólidos solúveis.

---

A pressão da água é um fator importante que influencia a qualidade final do café expresso. Através de uma análise multivariada, Andueza *et al.* (2002) encontraram que cafés preparados em pressão de nove atmosferas mostraram consistência de espuma e alta porcentagem de aromas relacionadas à frescura, frutado, maltado e sabores amanteigados.

Cabe ressaltar que, conforme Nassif *et al.* (2005), o sabor é o maior responsável pelo consumo da bebida e a característica que mais estimula a ida dos consumidores a cafeterias. De acordo com a preferência dos consumidores, o sabor é considerado um atributo de relevância da bebida de café que, segundo Flament (2001), é a principal razão de aceitação da bebida.

Os fatores que influenciam o sabor do café expresso podem ser otimizados por meio da utilização de projeto de experimentos (UNTERLEIDER, 2006). Pois, de acordo com Montgomery (1999), a ferramenta de projeto de experimentos pode ser utilizada em estudos de sistemas – processo de produção ou produto. O sistema é a combinação de componentes, materiais, pessoas, equipamentos, processos e outros processos que funcionam em conjunto transformando dados de entrada em dados de saída através de uma ou mais variáveis de resposta.

O correto planejamento dos experimentos permite que os dados coletados possam ser analisados por métodos estatísticos, resultando em conclusões válidas e objetivas (MONTGOMERY, 1997). Além disso, o planejamento de experimentos tem por finalidade satisfazer essencialmente dois grandes objetivos: a precisão estatística possível na resposta e o menor custo. As principais vantagens são a diminuição do número de ensaios; o estudo de um número considerável de fatores; a detecção das interações entre fatores; a detecção dos níveis ótimos; a melhoria de precisão dos resultados e a otimização do experimento considerando as variáveis de resposta definidas inicialmente (ARANDA *et al.*, 2007; ARANDA *et al.*, 2008).

De acordo com o número de fatores controláveis, seus níveis e tipo, podem ser planejados diferentes tipos de projetos. Os experimentos fatoriais, por exemplo, fornecem informações sobre os fatores principais e as interações entre eles. As interações são efeitos adicionais positivos (sinergismo) ou negativos (antagonismo) que aparecem quando são combinados níveis de dois ou mais fatores (PERECIN e CARGNELUTTI FILHO, 2008).

Um tipo de projeto fatorial é o  $2^K$  que contempla K fatores controláveis, cada um deles com apenas dois níveis: alto ou baixo. Os níveis podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos. Chama-se  $2^K$  porque para rodar uma repetição completa são necessárias  $2^K$  observações. Este tipo de experimento permite blocagem e, inclusive fracionamento em casos específicos (CATEN e RIBEIRO, 1996).

Após a execução de um experimento, no caso exemplificado de projeto fatorial  $2^K$ , a análise estatística dos efeitos dos ensaios pode ser realizada pela análise de regressão (REGAZZI, 1999). Ela é uma ferramenta estatística para avaliação da relação de uma ou mais variáveis independentes – fatores controláveis com uma variável dependente – variável de saída. A análise de regressão linear simples pode ser aplicada quando se investiga a relação entre uma variável dependente e uma independente e, a análise de regressão múltipla, quando existe mais de uma variável independente e apenas uma única variável dependente (KLEINBAUM, 2008).

### **3. Planejamento e execução do experimento**

O cenário do presente estudo envolve o processo de confecção da bebida de café na máquina de café expresso da marca Electrolux, modelo Crema de 15 BAR de pressão e 1.350 W de potência. A pesquisa é um estudo experimental de abordagem quantitativa.

---

De acordo com Ribeiro e Caten (2010) o planejamento envolve as seguintes etapas: *i*) definição da característica de qualidade (cliente), variável de resposta (sistema de medição) e tipo; *ii*) definição dos parâmetros de processo; *iii*) definição dos fatores controláveis; *iv*) definição dos fatores não controlados; *v*) definição das restrições experimentais; e *vi*) descrição da matriz experimental.

A característica de qualidade definida foi o sabor, sendo do tipo maior-é-melhor. Os parâmetros do processo foram: X1 – marca de café; X2 – operador; X3 – quantidade de café; X4 – quantidade de água; X5 – tipo de água; X6 – açúcar; X7 – tipo de filtro e X8 – prensa, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Parâmetros do processo	Intervalo de pesquisa	
	Baixo	Alto
X1 – Marca de café	Marca A	Marca B
X2 – Operador	Operador A	Operador B
X3 – Quantidade de café	Colher de medida rasa	Colher de medida cheia
X4 – Quantidade de água	Curto	Normal
X5 – Tipo de água	Mineral	Natural
X6 – Tipo de glicídio	Açúcar	Adoçante
X7 – Tipo de filtro	Filtro A	Filtro B
X8 – Prensa	Prensado	Não-prensado

Tabela 1 – Parâmetros do processo e seus respectivos intervalos de pesquisa

Por se tratar de parâmetros do processo com fatores qualitativos a dois níveis, procurou-se propor a utilização de elementos que supostamente apresentavam uma grande diferença qualitativa. A marca de café, no nível baixo correspondeu ao produto com o menor valor comercial encontrado e, no nível alto, a um café moído na hora de uma renomada marca da região de Porto Alegre, de qualidade superior. O operador ao nível baixo (A) foi um sujeito que não trabalhava com a máquina frequentemente, em contrapartida ao operador do nível alto (B), o qual operava a máquina diariamente. O tipo de filtro proposto do nível foi de pior qualidade e o de nível alto foi o de melhor qualidade. Para a quantidade de pó de café foi utilizada a colher de medida que acompanha a máquina, em nível baixo (rasa) e alto (cheia). A quantidade de água do nível baixo corresponde a um café curto, ou seja, com pouca água, já o nível alto, um café normal, com quantidade superior de água. A prensa, outra possibilidade disponível nesta marca e modelo de máquina, no nível baixo em estudo teve-se o pó de café prensado e no nível alto, o pó de café não-prensado.

O tipo de água correspondente ao nível baixo foi a mineral e ao nível alto foi a natural, escolhidos pela suposta diferença de sabor. Raciocínio similar empregou-se para o parâmetro tipo de glicídio: açúcar de mesa para o nível baixo e adoçante artificial para o nível alto.

Para a priorização dos parâmetros e definição dos fatores controláveis foi utilizada uma matriz de priorização onde foi avaliado o possível efeito dos parâmetros do processo sobre a variável de resposta (Y). Todos os parâmetros do processo, exceto o tipo de filtro, um dos fatores que obteve o menor índice de priorização (PR = 1), foram definidos como controláveis no experimento (Tabela 2). O tipo de filtro foi definido como fator a ser mantido constante.

Os fatores definidos como não controlados no processo foram a temperatura ambiente e a umidade. Como restrições experimentais consideraram-se: número de ensaios e quantidade de cafés que cada degustador deveria provar. O sabor do café foi aferido através de uma nota de

0 a 9, atribuída espontaneamente pelo avaliador. A nota 0 correspondeu ao pior sabor experimentado pelo degustador e 9, ao melhor sabor avaliado.

Fatores controláveis	PR	Níveis reais
A - Marca de café	9	Marca A e Marca B
B - Quantidade de café	9	Colher de medida rasa e cheia
C - Quantidade de água	9	Curta e Normal
D - Tipo de glicídio	9	Açúcar de mesa e Adoçante artificial
E - Tipo de água	6	Mineral e Natural
F - Prensa	6	Prensado e Não prensado
G - Operador	1	Operador A e Operador B
H - Tipo de filtro	1	Filtro A

Tabela 2 – Priorização dos fatores controláveis no processo

Em função do número elevado de fatores, optou-se por um projeto fatorial  $2^7$  fracionado em quatro. O fracionamento em quatro permite a redução de 128 para 32 ensaios, através da vinculação de efeitos: cada efeito ou interação estudada é vinculado a outros três efeitos. Segundo Ribeiro e Caten (2010), interações de segunda ordem e superiores são geralmente não-significativas e são confundidas com efeitos e interações de primeira ordem. Três interações de primeira ordem são vinculadas a outras interações de primeira ordem. No entanto, julgou-se neste planejamento que o operador não apresenta interação com os demais fatores, o que permitiu que o projeto fatorial  $2^7$  fosse fracionado em quatro.

Para o fracionamento da matriz experimental foram escolhidos os contrastes de definição ABCDE e ABEFG. Realizando-se a multiplicação ABCDE x ABEFG, tem-se ainda a interação CDFG confundida. Esses três contrastes foram multiplicados por cada efeito para determinar os efeitos vinculados entre si.

Após fracionamento, foi escolhida aleatoriamente a matriz experimental para realização dos ensaios: *1, ab, cd, abcd, ae, be, acde, bcde, acf, bcf, adf, bdf, cef, abcef, def, abdef, acg, bcg, adg, bdg, ceg, abceg, deg, abdeg, fg, abfg, cdfg, abcdfg, aefg, befg, acdefg, bcdefg*.

Para atender a restrição da quantidade de cafés experimentados, os tratamentos selecionados para ensaio foram blocados para cada um dos dois degustadores avaliar 16 cafés expressos produzidos. Para a blocagem foi confundida a interação de sexta ordem ABCDEFG.

Os tratamentos avaliados pelos degustador 1 foram: *1, ab, cd, abcd, ae, be, acde, bcde, fg, abfg, cdfg, abcdfg, aefg, befg, acdefg, bcdefg* e pelo degustador 2 foram: *acf, bcf, adf, bdf, cef, abcef, def, abdef, acg, bcg, adg, bdg, ceg, abceg, deg, abdeg*. Todos os ensaios foram executados no mesmo dia.

A Tabela 3 apresenta a matriz experimental com os fatores principais e o resultado da avaliação do sabor do café expresso para cada ensaio realizado. Os tratamentos avaliados estão apresentados nas linhas, enquanto os fatores principais estão nas colunas. As duas últimas colunas representam, respectivamente, o contraste utilizado para blocagem do degustador e as notas atribuídas para cada tratamento avaliado.

Tratamentos	A	B	C	D	E	F	G	ABCDEFG	Respostas (Y)
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
ab	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	6
cd	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	2
abcd	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	8
ae	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	8
be	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	4
acde	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	7
bcde	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	4
acf	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	8
bcf	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	7
adf	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	6
bdf	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	5
cef	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	2
abcef	1	1	1	-1	1	1	-1	1	5
def	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	4
abdef	1	1	-1	1	1	1	-1	1	6
acg	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	6
bcg	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	5
adg	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	7
bdg	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	3
ceg	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	2
abceg	1	1	1	-1	1	-1	1	1	9
deg	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	3
abdeg	1	1	-1	1	1	-1	1	1	7
fg	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	5
abfg	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	4
cdfg	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	3
abcdfg	1	1	1	1	-1	1	1	-1	6
aefg	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	4
befg	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1
acdefg	1	-1	1	1	1	1	1	-1	9
bcdefg	-1	1	1	1	1	1	1	-1	5

Tabela 3 – Tratamentos e suas respectivas respostas (Y)

#### 4. Modelagem através de regressão múltipla

Projetos com muitos fatores e interações significativas podem tornar a otimização do processo uma tarefa complexa. A utilização da ANOVA e, posteriormente, da comparação múltipla de médias (CMM) pode se tornar inviável. Entretanto, em situações que exigem a maximização de característica de qualidade através do ajuste de duas ou mais variáveis independentes, recomenda-se o uso de uma regressão múltipla (RIBEIRO e CATEN, 2010).

A partir dos ensaios, que permitiram avaliar as características de qualidade da composição do café expresso, foi possível realizar uma análise de regressão múltipla, modelando a variável estudada em função dos fatores controláveis codificados. Assim, torna-se possível quantificar a influência dos fatores controláveis na variável de resposta e comparar seus coeficientes. Adotando-se um nível de significância  $\alpha = 10\%$ , foi rodado um processo iterativo de busca por uma equação com o maior valor de  $R^2$ , em que os termos não significativos são eliminados. Comparando-se  $R^2$  e  $R^2$  ajustado é possível estimar a quantidade de termos na equação: se esses valores forem muito diferentes, pode-se afirmar que há um excesso de variáveis no modelo.

A ANOVA para testar a significância do modelo de regressão é apresentada a seguir (Tabela 4).

	GDL	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	10	137,625	13,7625	15,8363	1,23621E-07
Resíduo	21	18,25	0,869048		
Total	31	155,875			

Tabela 4 – ANOVA para testar a significância geral do modelo

Como  $F > F$  de significação, descarta-se a hipótese de inexistência de relação entre entradas e saída. Os coeficientes dos fatores significativos são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6.

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
Interseção	5,063	0,165	30,720	0,000
A	1,563	0,165	9,481	0,000
C	0,438	0,165	2,655	0,015
AB	-0,500	0,165	-3,034	0,006
BC	0,375	0,165	2,276	0,033
DE	-0,375	0,165	-2,276	0,033
AE	-0,313	0,165	-1,896	0,072
AF	-0,563	0,165	-3,413	0,003
BF	-0,375	0,165	-2,276	0,033
DEF	-0,625	0,165	-3,793	0,001
EF	0,438	0,165	2,655	0,015

Tabela 5 – Identificação de coeficientes e fatores significativos

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,939638
R-Quadrado	0,882919
R-quadrado ajustado	0,827166
Erro padrão	0,932227
Observações	32

Tabela 6 – Estatísticas do modelo de regressão de Y

Através dos coeficientes obtidos na Tabela 5, encontra-se um modelo de equação de regressão linear múltipla que expressa uma relação entre a variável dependente e as variáveis independentes (Equação 1).

$$Y = 5,06 + 1,56.A + 0,44.C - 0,5.A.B + 0,37.B.C - 0,37.D.E - 0,31.A.E - 0,56.A.F - 0,37.B.F - 0,62.D.E.F + 0,44.E.F \quad (1)$$

Pode-se perceber que a variável G (operador) não apareceu na equação, evidenciando, com 90% de confiança, que este fator não interfere na qualidade. Apenas os fatores principais A (marca do café) e C (quantidade de água) apresentaram efeitos significativos.

Por se tratar de um projeto fatorial  $2^K$ , onde apenas dois níveis de cada variável independente foram estudados e, neste caso, codificados em -1 e 1, é possível perceber a relação entre o

fator e seu efeito sobre a variável resposta. Por exemplo, o fator A (marca do café), quando analisado isoladamente, ao nível -1 (marca A) gera um efeito negativo na percepção de qualidade, enquanto o nível 1 (marca B) influencia positivamente a resposta. Generalizando, coeficientes positivos denotam uma elevação de qualidade quando os fatores ou produto de fatores estiverem no nível alto (Tabela 7).

A partir do  $R^2$  obtido na Tabela 6, pode-se afirmar que 88,29% da variabilidade do fenômeno (sabor do café) pode ser explicada pelo modelo de regressão. A diferença de 0,0558 entre  $R^2$  e  $R^2$  ajustado foi o melhor resultado obtido nas diversas interações realizadas com o objetivo de eliminar coeficientes não-significativos.

<b>Coefficiente</b>	<b>Fator controlável</b>	<b>Qualidade</b>
Positivo	Nível alto (+1)	Aumentada
Positivo	Nível baixo (-1)	Reduzida
Negativo	Nível alto (+1)	Reduzida
Negativo	Nível baixo (-1)	Aumentada

Tabela 7 – Relação entre coeficientes e fatores controláveis

## 5. Otimização

A partir da equação de regressão obtida equação (1), foi realizado um estudo de otimização a fim de identificar a combinação dos níveis dos fatores significativos do processo que maximizam o sabor do café.

Devido ao elevado número de fatores e, principalmente, interações, foi necessário a utilização de um recurso computacional através de rotinas de programação linear para a obtenção da configuração ótima. A função objetivo utilizada foi maximizar a equação (1).

Pode-se observar na equação (1) que apenas os fatores principais A (marca do café) e C (quantidade de água) apresentam efeitos significativos. Entretanto, todos os outros fatores, exceto o G (operador), têm efeitos de interações considerados significativos a um nível de significância de 90%. O que determina a necessidade de ajuste ótimo de seis variáveis simultaneamente: A, B, C, D, E e F. Logo os ajustes ótimos, priorizando um melhor sabor, são apresentados na Tabela 8.

<b>Fatores</b>	<b>Níveis codificados</b>	<b>Níveis reais</b>
Marca do café (A)	1	Marca B
Quantidade de café (B)	1	Colher rasa
Quantidade de água (C)	1	Normal
Tipo de glicídio (D)	-1	Açúcar
Tipo de água (E)	-1	Água mineral
Prensa (F)	-1	Prensado
<b>QUALIDADE</b>	<b>8,8</b>	

Tabela 8 – Ajustes ótimos para o processo de elaboração do café

Conforme a Tabela 8, o ajuste ótimo para maximizar o sabor do café expresso em estudo compreende a marca B de café, a quantidade de pó de café rasa e quantidade de água normal. O café otimizado deve ainda ser adoçado com açúcar, produzido com água mineral e com pó prensado.

Os resultados demonstram que a marca A possui influência direta no sabor da bebida de café produzida. O valor do coeficiente atribuído a esta variável decorre da qualidade superior da marca B em relação à marca A.

A quantidade de água (C), quando analisada isoladamente, também possui uma relação direta com o sabor, o que pode ser explicado pela concentração de café presente na mistura com menor ou maior quantidade de água. Sendo que, a menor concentração produz a bebida com melhor sabor.

Inesperadamente o tipo de glicídio (D) apresenta efeito significativo apenas através de interações com o tipo de água e o ato de prensar o café. Ocorreram também outras interações entre a marca de café e a quantidade de pó, marca de café e quantidade de água, quantidade de pó de café com a quantidade de água, marca de café com o tipo de água, marca de café com o ato de prensar o pó, quantidade de café com o ato de prensar, assim como o tipo de água com o ato de prensar.

Logo o efeito que mais interagiu foi a marca de café (fator A) e o ato de prensar o pó de café (fator F), seguidos pela quantidade de café (fator B), quantidade de água (C) e tipo de água (E), por último, pelo tipo de glicídio (D).

## 6. Conclusão

O sabor do café é um importante atributo para os apreciadores desta bebida. O café expresso, produzido em máquinas específicas, como a da marca Electrolux modelo Crema, pode ter seu sabor otimizado por meio do ajuste das variáveis de entrada (fatores controláveis). Ou seja, os ingredientes da bebida podem ser combinados de forma a fornecer o café com sabor mais agradável. Este artigo apresentou a otimização experimental do sabor do café expresso produzido neste modelo e marca de máquina, utilizando a ferramenta de projeto de experimentos. A característica de qualidade definida foi o sabor, sendo do tipo maior-é-melhor. Os parâmetros do processo foram: X1 – marca de café; X2 – operador; X3 – quantidade de café; X4 – quantidade de água; X5 – tipo de água; X6 – açúcar; X7 – tipo de filtro e X8 – prensa. A matriz experimental foi um projeto fatorial  $2^{7-2}$ , ou seja,  $2^7$  fracionado em quatro, com bloqueio do degustador.

Os dados coletados foram analisados por regressão múltipla com otimização dos fatores controláveis por meio de uma função objetivo definida para maximizar a variável de resposta sabor, que é do tipo maior-é-melhor. A equação estruturada envolve os fatores principais A e C que apresentaram efeitos significativos no estudo e, as interações significativas AB, AC, BC, DE, AE, AF, BF, EF e DEF.

A configuração ótima encontrada para o café expresso produzido na máquina da marca Electrolux, modelo Crema é constituído pela marca B de café; quantidade rasa de café – definida na colher de medida particular deste modelo de máquina; quantidade normal de água; adoçado com açúcar; produzido com água mineral e com o pó de café prensado. Esta configuração ótima independe do operador.

Como foram identificados elementos que influenciam diretamente no sabor do café, poderiam ser conduzidos estudos específicos visando otimizar o aroma e outros tipos de bebidas elaboradas com café e outros ingredientes.

## Referências

**ANDUEZA, S. et al.** *Chemical and Sensorial Characteristics of Espresso Coffee As Affected by Grinding and Torrefacto Roast.* Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 50, n. 25, p. 7426–7431, 2002.

**ANTONY, J.** *Design of experiments for Engineers and Scientists.* Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.

**ARANDA, M.H.; JUNG, C.F.; CATEN, C.S.** *Apliação do projeto de experimentos para otimização de uma inovação tecnológica.* Revista Gestão Industrial. Vol. 04, n. 02, p. 116-132, 2008.

---

- ARANDA, M.H.; JUNG, C.F.; CATEN, C.S.** *Determinação dos parâmetros operacionais de uma inovação tecnológica através da utilização do Design of Experiments – DOE*. Revista liberato: educação, ciência e tecnologia. Vol. 8, n. 10, p. 09-16, 2007.
- CATEN, C.S.; RIBEIRO, J.L.D.** *Etapas na otimização experimental de produtos e processos: discussão e estudo de caso*. Produção. Vol. 6, n. 1, p.45-64, 1996.
- FLAMENT, I.** *Coffe flavor chemistry*. England: John Wiley & Sons, 2002.
- KLEINBAUM, D.G.** *Applied regression analysis and other multivariable methods*. 4. ed. Belmont: Brooks/Cole Cengage Learning, 2008.
- MONTGOMERY, D.C.** *Design and Analysis of Experiments*. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- MONTGOMERY, D.C.** *Experimental Design for Product and Process Design and Development*. The Statistician. Vol. 48, part 2, p. 159-177, 1999.
- NASSIF, W. et al.** *Cafeteira e sua influência no consumo do café na cidade de São Paulo*. Revista Brasileira de Gestão de Negócios. Vol. 7, n. 19, p. 21-35, 2005.
- PERECIN, D. & CARGNELUTTI FILHO, A.** *Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais*. Ciência e Agrotecnologia. Vol.32, n.1, p. 68-72, 2008.
- PINTO, N.A.V.D. et al.** *Avaliação de componentes químicos de padrões de bebida para preparo do café expresso*. Ciência e Agrotecnologia. Vol.26, n.4, p.826-829, 2002.
- PINTO, N.A.V.D. et al.** *Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso*. Revista Brasileira de Agrociência. Vol. 7, n. 3, p.193-195, 2001.
- REGAZZI, A.J.** *Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais*. Revista Ceres. Vol. 46, n. 266, p. 283-409, 1999.
- RIBEIRO, J. L. D. & CATEN, C. S.** *Projeto de Experimentos: Série Monográfica Qualidade*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- RUFFONI, V.H.** *Aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de produto em uma empresa de médio porte*. 2000. 156 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- TUCKER, A.A. & DAGLI, C.H.** *Design of experiments as a means of lean value delivery to the flight test enterprise*. Systems Engineering, Fairfax. Vol. 12, n. 3, p. 201-217, 2009.
- UNTERLEIDER, C.E.A.** *Otimização multivariada de um processo químico através do uso de projetos de experimentos*. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- WANG, J-K.; CHIU, H-H.; HSIEH, C-S.** *Optimization of the Medium Components by Statistical Experimental Methods to Enhance Nattokinase Activity*. Fooyin Journal of Health Sciences. Vol. 1, n. 1, p. 21-27, 2009.
-