

AUTORES
AUTHORS

✉ **Sílvia Cristina Sobottka Rolim de MOURA**

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Centro de Tecnologia de Hortifrútiçolas (FRUTHOTEC)
Av. Brasil, 2880
CEP: 13073-178
Campinas/SP-Brasil
e-mail: smoura@ital.sp.gov.br

Sílvia Pimentel Marconi GERMER

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Centro de Tecnologia de Hortifrútiçolas (FRUTHOTEC)
Campinas/SP-Brasil

Valéria Delgado de Almeida ANJOS

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Grupo de Engenharia e Pós-Colheita (GEPC)
Campinas/SP-Brasil

Emília Emico Miya MORI

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Unidade Laboratorial de Referência de Análises Físicas,
Sensoriais e Estatística (LAFISE)
Campinas/SP-Brasil

Luiz Henrique Capparelli MATTOSO

EMBRAPA Instrumentação Agropecuária
São Carlos/SP-Brasil

Alessandra FIRMINO

Universidade de São Paulo (USP)
Programa InterUnidades,
São Carlos/SP-Brasil.

Camila Joana Fernandes NASCIMENTO

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Centro de Tecnologia de Hortifrútiçolas (FRUTHOTEC)
Campinas/SP-Brasil
Bolsista de Iniciação Científica

PALAVRAS-CHAVE
KEY WORDS

Café Arábica; Características Físicas; Características Químicas; Análise Sensorial; Superfície de Resposta.

Arabica Coffee; Physical Characteristics; Chemical Characteristics; Sensory Analysis; Response Surface.

✉ Autor Correspondente

✉ Corresponding Author

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o processo de torração do café arábica puro foi realizado um planejamento fatorial de 2^2 com cinco níveis, resultando em 11 amostras, tendo como variáveis independentes a temperatura interna do tambor do torrador no início do processo, e o tempo de torração, cujos máximos e mínimos foram de 200 a 230 °C e 10 a 25 minutos, respectivamente. As amostras foram analisadas quanto às características químicas (umidade, acidez, sólidos solúveis, açúcares redutores, pH e cafeína), características físicas (densidade, grau de torra, reflectância e cor instrumental – $L^* a^* b^*$), análise sensorial e análise de componentes principais, utilizando a língua eletrônica. Utilizando a metodologia de superfície de resposta, foi possível obter modelos preditivos em função do tempo e temperatura de torração para atributos físicos e químicos e para os atributos sensoriais de doçura e amargor. Correlacionando os resultados físicos e químicos com a qualidade global (sensorial) foi determinado um ponto ótimo de torração (215 °C/17,5') para o café arábica puro.

SUMMARY

The main objective of this work was to evaluate the roasting process of pure arabica coffee using a 2^2 factorial design with five levels. This design resulted in 11 samples, the independent variables being the internal temperature of the drum at the beginning of the process and the roasting time, the maximum and minimum values being from 200 to 230 °C and from 10 to 15 minutes, respectively. The samples were analysed with respect to their chemical characteristics (moisture, acidity, soluble solids, reducing sugars, pH and caffeine), physical characteristics (density, roasting degree, reflectance and instrumentally measured colour – $L^* a^* b^*$), sensory analysis and principal component analysis using the electronic tongue. It was possible to obtain predictive models for the physical and chemical characteristics, as well as for the sensory characteristics of sweetness and bitterness, as a function of time and roasting degree temperature using response surface methodology. Correlating the physical and chemical results with the overall quality (sensory), an optimum roasting point (215 °C/17.5') for pure arabica coffee was determined.

1. INTRODUÇÃO

O café tem sido uma das bebidas mais aceitas em diversas partes do mundo pelo fato de possuir um aroma bem característico. A aceitação da bebida depende de muitos fatores que constituem a sua história. Alguns destes fatores dependem da agricultura, mas a maior parte deles depende da indústria, a qual determina a aceitabilidade do produto.

Durante o processo de torração, tempo e temperatura devem ser controlados de modo a serem suficientes para que as reações químicas ocorram sem que os grãos se queimem, comprometendo o sabor do café. Em média, para torração de café arábica, a temperatura é de 220 °C por 12 a 15 min (RELVAS et al., 1997). Já para o café robusta, a temperatura ótima de processo é de 225 a 300 °C por 22 a 28 min (MENDES, 1999). Porém, estes valores podem variar muito, dependendo do grau de torração desejado (suave a forte), do torrador utilizado, bem como da variedade do café, idade e umidade.

Os cafés brasileiros caracterizam-se por apresentar, em geral, torração excessiva, com baixa qualidade de bebida. Esta torração que definiu um padrão de sabor brasileiro "queimado" e bebida extremamente escura (negra), amarga e com reduzido aroma, surgiu da necessidade de mascarar defeitos da matéria-prima, assim como impurezas nela presente (deliberadamente ou acidentalmente).

O surgimento de cafés mais nobres no mercado, em função da abertura comercial e da experiência de consumidores nacionais, adquirida com produtos de altíssima qualidade no exterior, tem levado ao questionamento deste padrão nacional de torração.

O grau de torração é caracterizado pela cor do grão, pela perda de massa, pelo aroma e sabor desenvolvidos e pelas mudanças químicas de determinados componentes. Vários autores têm estudado o comportamento de algumas características químicas e físico-químicas (composição química, cor, umidade, perda de peso, pH, rendimento, densidade aparente, aumento do volume, sólidos solúveis, acidez e cor CIE $L^*a^*b^*$.) do café em diferentes graus de torração, bem como da bebida extraída deste café (FRANÇA et al. 2005; MWITHIGA; JINDAL, 2003; ORTOLÁ et al., 1998; PIZZIRANI et al., 1996; ESPINOSA-SOLARES et al., 1995; SEVERINE et al., 1992; PORTO et al., 1991; MASSINI et al., 1990; SPIRO; HUNTER, 1985; BALTES, 1979).

Uma análise da transferência de calor e massa, avaliando a temperatura do grão e a umidade do café arábica, durante a torração em diferentes graus (190 a 300 °C por 10 minutos) foi realizada por Hernández et al. (2007). Os autores obtiveram um modelo para controle em linha de um processo piloto de torração.

O processo de torração do café ainda é pouco conhecido cientificamente, principalmente no que diz respeito às transformações sensoriais que nele ocorrem. As principais características da bebida de café, definidas para degustação, são: acidez, amargor, doçura, adstringência e corpo (CLIFFORD, 1985; CLARK, 1986). Ko (2000) comparou medidas físico-químicas de cor, umidade e sólidos solúveis com leituras sensoriais de aroma e sensação na boca, por meio de análise

de componentes principais (PCA). Os cafés de melhor qualidade global foram os torrados em menores tempo e maiores temperaturas, pois mantiveram aroma, corpo, intensidade de sabor e qualidade do extrato. Já em Esteban-Diez et al. (2004), leituras obtidas por espectroscopia em infra-vermelho próximo (NIR) de café torrado foram comparadas por avaliação sensorial realizada por uma equipe treinada, das correspondentes amostras de cafés expresso. Os autores obtiveram um modelo que prediz a qualidade sensorial de amostras de café expresso pelo espectro NIR de cafés torrados.

Com base no exposto anteriormente, pode-se concluir que o processo de torrefação do café é altamente complexo, e ainda não é satisfatoriamente compreendido. Portanto, uma abordagem detalhada visando o entendimento da cinética da torração de cafés nacionais com respostas objetivas e sensoriais das variáveis envolvidas, seria de grande interesse. Este estudo, portanto, teve com objetivo a avaliação do processo de torração do café arábica puro, aplicando as técnicas de planejamento fatorial completo e análise de superfície de resposta no intuito de determinar a influência das variáveis tempo e temperatura de processo sobre características físico-químicas e sensoriais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O café arábica utilizado foi obtido de um *blend* dos melhores cafés do Concurso de Qualidade dos Cafés do Brasil, organizado pela Associação Brasileira de Cafés Especiais e realizado no ITAL (<http://www.ital.sp.gov.br>). O *blend* foi classificado como Tipo 2, seca boa, cor verde claro peneiras 18-17.

Foi realizado um planejamento fatorial completo de 2² com cinco níveis, resultando em 11 amostras (BARROS NETO et al., 1996; MENDES, 1999), tendo como variáveis independentes a temperatura interna do tambor do torrador no início do processo e o tempo de torração e como variáveis dependentes as respostas físicas, químicas e sensoriais. As vantagens de um planejamento experimental são: utilização de um número mínimo de experimentos, funcionar bem na presença de erros experimentais, utilizar operações matemáticas relativamente simples, necessitar de pouco conhecimento de estatística, contemplar efeitos de interações entre variáveis e possibilidade de otimização de mais de uma resposta.

Os testes foram realizados em torrador piloto marca PROBAT-WERKE tipo PRE 1 Z e as amostras moídas em moinho marca PROBAT-WERKE tipo 55 LM 500. As faixas de tempo e temperatura escolhidas (após alguns testes de torração) foram as seguintes: 10 a 25 minutos e 200 a 230 °C (temperatura do tambor). O planejamento fatorial desenvolvido encontra-se na Tabela 1.

As 11 amostras de 200 g de café arábica foram torradas nos tempos e nas temperaturas estabelecidos no delineamento experimental. Quando o tambor atingia a temperatura estabelecida (visualizada em um sensor digital) era colocado o café cru e a contagem do tempo era iniciada. O café torrado e moído foi peneirado em peneiras com furos de 0,42 mm de

diâmetro, o que garantiu um padrão mais confiável e uma maior uniformidade das amostras. Foram realizadas análises físicas e químicas (triplicata) das amostras.

TABELA 1. Variáveis codificadas e decodificadas do planejamento experimental.

Ensaio	Tempo		Temperatura	
	Codificados	Decodificados	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	12,15	204,3
2	1	-1	22,85	204,3
3	-1	1	12,15	225,7
4	1	1	22,85	225,7
5	0	0	17,50	215,0
6	0	0	17,50	215,0
7	0	0	17,50	215,0
8	-1,41	0	10,00	215,0
9	0	+1,41	17,50	230,0
10	+1,41	0	25,00	215,0
11	0	-1,41	17,50	200,0

As seguintes respostas físicas e químicas foram avaliadas: pH, umidade, sólidos solúveis, acidez total, açúcares totais e densidade aparente, empregando metodologia AOAC (1996); cafeína por HPLC (ASIC, 1987); cor (CIELAB), em colorímetro Minolta Chroma Meter CR-300; grau de torração por comparação visual a padrões Agtron; e reflectância em espectrofotômetro Agtron E10-CP, em comprimento de onda próximo à região do infravermelho.

A análise sensorial descritiva quantitativa do café foi realizada por equipe selecionada e treinada composta de oito julgadores, fazendo uso de escala não estruturada de 0 a 10 cm para avaliação da fragrância do pó, aroma, acidez, amargor, sabor, sabor residual, corpo da bebida e qualidade global do café (HOWELL, 1998). O café torrado e moído foi preparado em infusão com o uso de filtro de papel, usando-se a proporção de 100 g de pó de café para 1,0 L de água mineral a 92 °C, a partir das amostras recebidas e codificadas. A análise foi realizada

individualmente, e com repetição em cabines com iluminação vermelha, e equipadas com o sistema computadorizado Compusense Five versão 4.2 para coleta dos dados, tendo sido a amostra apresentada com código de três dígitos aleatórios e de forma monádica.

Foram analisadas cada uma das variáveis dependentes (respostas) quanto à significância ($p < 0,05$) em relação às variáveis independentes (fatores). Para avaliar se os modelos obtidos eram válidos (predictíveis) foram realizadas análises de variância (ANOVA) com verificação do coeficientes de correlação (r^2) e do Fcalculado em relação a Ftabelado (5%) (BARROS NETO et al., 1996; MENDES, 1999).

A análise em língua eletrônica foi realizada em um dispositivo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (FIRMINO, 2002). Este equipamento é composto por plásticos especiais que conduzem eletricidade e que são sensíveis às substâncias determinantes do paladar, abaixo do limite de detecção biológico. Permite a análise de componentes principais (PCA) de forma semi-quantitativa da composição do paladar e aroma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das características físicas

Os valores de densidade observados durante o experimento para as diferentes torrações do café arábica foram condizentes com a literatura (LERICI et al., 1985; MWITHIGA; JINDAL, 2003) ou seja, quanto mais torrado o café, menor sua densidade. Isso pode ser comprovado ao compararmos os dados da Tabela 2. As amostras 4 e 9, que foram bastante torradas, apresentam valores de densidade menores, ao passo que as amostras 1, 8 e 11, que tiveram torração leve, apresentaram valores maiores. Para as amostras mais torradas, a densidade encontrada foi em torno de 0,30 g/mL enquanto que as amostras 1, 8 e 11 apresentaram densidade em torno de 0,37 g/mL.

TABELA 2. Resultados das análises físicas de densidade e cor L* a* b* do café torrado, nos ensaios realizados.

Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Densidade (g/mL)	L*	a*	b*
1	12,15	204,3	0,3617 ± 0,0014	38,37 ± 0,37	10,00 ± 0,15	17,55 ± 0,32
2	22,85	204,3	0,3446 ± 0,0024	30,39 ± 0,30	8,24 ± 0,11	10,29 ± 0,66
3	12,15	225,7	0,3497 ± 0,0018	33,81 ± 0,06	9,39 ± 0,18	14,81 ± 0,30
4	22,85	225,7	0,3037 ± 0,0004	28,49 ± 0,93	6,59 ± 0,26	8,08 ± 0,60
5	17,5	215	0,3434 ± 0,0026	30,03 ± 0,10	7,75 ± 0,07	10,04 ± 0,26
6	17,5	215	0,3369 ± 0,0021	31,29 ± 0,24	8,39 ± 0,23	12,66 ± 0,71
7	17,5	215	0,3398 ± 0,0014	29,67 ± 0,34	7,22 ± 0,15	9,43 ± 0,36
8	10,0	215	0,3713 ± 0,0023	37,88 ± 0,70	9,98 ± 0,04	19,54 ± 0,12
9	17,5	230	0,2974 ± 0,0027	25,12 ± 2,64	4,42 ± 1,77	4,78 ± 2,73
10	25,0	215	0,3315 ± 0,0012	28,64 ± 0,14	6,98 ± 0,30	8,38 ± 0,56
11	17,5	200	0,3782 ± 0,0027	35,79 ± 0,43	9,72 ± 0,16	17,56 ± 1,23

No caso das coordenadas L*, a* e b*, a cor se manifestou de acordo com a literatura (ANESE et al., 2000) em relação à luminosidade. Os valores obtidos de L* encontram-se na faixa 25,1 a 38,4, o que segundo o autor, refere-se a grau de torração médio a escuro. Segundo os dados da Tabela 2, é possível observar que quanto mais torrado o grão, menor o seu valor L* (redução da luminosidade), menor o seu valor a* (redução do vermelho) e, finalmente, menor o seu valor b* (redução do amarelo). Em Mwithiga e Jindal (2003) os valores de L* variaram de 50 a 12 com o aumento do grau de torração. Pizzirani et al. (1996) e Pittia et al. (1996) apresentaram resultados com comportamento semelhante para a cor de grão de café arábica, variedade Santos, em diversos graus de torração. Com o aumento do grau de torração, ambos constataram a diminuição de L*, e da coordenada b*, mas com relação à coordenada a* os resultados mostraram que esta passa da zona verde para a vermelha e depois tende a voltar para a coloração verde. Essa diferença no comportamento de a* se deve principalmente à coloração do café cru, que por sua vez, depende não só da variedade estudada, como também da idade dos grãos, tipo de processamento, etc. A avaliação da cor do café torrado pode ser realizada utilizando os parâmetros L*, a* e b*, como controle de grau de torração. A utilização de espectrofotômetros para a leitura da reflectância também pode ser realizada, já que esta é obtida na região próxima ao infravermelho e é adequada a produtos escuros.

Os dados de reflectância e grau de torração por comparação visual da Tabela 3 são condizentes com a relação tempo-temperatura, ou seja, as amostras mais torradas, como a 4, 9 e 10, obtiveram valores de reflectância baixo; enquanto as amostras 1 e 8, de torração leve, apresentaram valores maiores. O valor de reflectância do Agtron é obtido na banda do infravermelho e está correlacionado à caramelização da sacarose, o que tem correspondência direta com a produção de aroma associada ao grau do processo de torração (MANUAL DO AGTRON). É importante lembrar que a escala do infravermelho está fora do espectro visível perceptível ao olho humano. Esta escala no Agtron varia de 0 (completa carbonização da sacarose) a 100 (caramelização da sacarose na ordem de 5-10%). Os

valores de reflectância do pó são maiores que os do grão, pois a parte interna do grão não torra na mesma intensidade que a externa, permanecendo mais clara e, portanto, com maior reflectância. Pela avaliação do grau de torração por comparação visual os cafés classificaram-se de 45 (moderadamente escuro) a 95 (muito claro), sendo que o ponto central (ensaios 5, 6 e 7) foram classificados com 65 (médio claro).

3.2 Avaliação das características químicas

Os valores de pH apresentados na Tabela 4 demonstraram que quanto mais torrado o café, maior é o seu pH, devido à degradação dos ácidos presentes no café verde e degradação daqueles formados no início do processo de torra. Já os valores de acidez total estão se relacionando coerentemente com os valores de pH, valores menores de pH resultam em maiores valores de acidez total. O mesmo comportamento foi encontrado por Sabbagh et al. (1977) em que os valores de pH e acidez de café torrado arábica apresentaram faixas de 5,23 a 5,46 para pH e 150,4 a 214,3 mL NaOH 0,1N/100 g para acidez. Os valores obtidos neste estudo situam-se na faixa de 5,04 a 6,39 para pH e 98,6 a 197,2 mL NaOH 0,1 N/100 g para acidez. Já Illy e Viani (1998) obtiveram valores de pH entre 4,9 (torração clara) e 5,4 (torração escura) para a bebida de café arábica.

Quanto aos dados de sólidos solúveis, é possível concluir que todas as amostras apresentaram praticamente a mesma quantidade, ocorrendo pequena variação com o grau de torração. Segundo Moraes et al. (1973/74) os valores de sólidos solúveis para o café arábica variam entre 24 a 27%. Os valores obtidos encontram-se nesta faixa.

Em relação à quantidade de açúcares, os valores apresentados na Tabela 4 estão coerentes com a literatura: quanto mais o café foi torrado, maior foi a perda de açúcares, principalmente, por caramelização e por Maillard. Pode-se observar que as amostras 1 e 8, menos torradas, obtiveram os maiores valores para açúcares totais. Esta tendência já havia sido observada por Sabbagh et al. (1977), onde os valores

TABELA 3. Resultados das análises físicas de reflectância e grau de torra de café arábica torrado, nos ensaios realizados.

Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Reflectância (Grão)	Reflectância (Pó)	Grau de Torração por Comparação Visual
1	12,15	204,3	86,5 ± 1,1	—*	>95
2	22,85	204,3	61,7 ± 1,0	83,1 ± 0,5	65
3	12,15	225,7	58,6 ± 0,2	80,6 ± 0,3	75
4	22,85	225,7	39,1 ± 0,3	50,9 ± 0,4	45
5	17,5	215	60,8 ± 0,4	83,7 ± 0,4	65
6	17,5	215	54,4 ± 0,4	70,4 ± 0,3	55
7	17,5	215	55,7 ± 0,3	76,1 ± 0,3	65
8	10	215	76,4 ± 2,2	—*	>95
9	17,5	230	36,8 ± 0,8	45,5 ± 0,2	45
10	25	215	49,2 ± 0,3	62,6 ± 0,3	55
11	17,5	200	63,1 ± 0,2	86,4 ± 0,2	75

* não se obteve leitura do aparelho

obtidos de açúcares totais eram de 2,05 a 3,26%. Os valores obtidos neste estudo situam-se entre 1,12 e 3,06% de açúcares totais. O valor de açúcares redutores encontrado por Illy e Viani (1998) foi de 0,3% para café arábica torrado e no presente estudo variou de 0,9 a 1,56%.

A cafeína, como já era esperado, apresentou-se praticamente inalterada em todas as amostras, independentemente do tempo e da temperatura da torração. O valor obtido (1,3%) está condizente com a Resolução nº 377 – ANVISA, de 26 de abril de 1999, que aprova o Regulamento Técnico para café torrado em grão e café torrado moído, o teor de cafeína de mínimo 0,7%. O valor obtido também está condizente com Fobé et al. (1967/68) em que o teor de cafeína variou de 1,25 a 1,39% e com Illy e Viani (1998) que obtiveram o valor médio de 1,3% de cafeína para o café arábica torrado.

Os resultados de umidade, observados na Tabela 4, também foram coerentes com o tempo e a temperatura de torração, pois as amostras menos torradas apresentaram-se mais úmidas que as demais. Os valores de umidade observados estão bastante baixos (0,28 a 0,93%). Sabbagh et al. (1977) obtiveram a faixa de 1,13 a 1,68% de umidade para café arábica. Illy e Viani (1998) obtiveram valores entre 0 e 5% de umidade para o café arábica torrado. O Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Café Torrado Moído (Resolução nº 377 – ANVISA, de 26 de abril de 1999) estabelece um teor de umidade de no máximo de 5,0%. As amostras obtidas apresentaram umidade dentro do exigido pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Café Torrado Moído.

Foram verificados os efeitos da temperatura e do tempo nas variáveis dependentes (respostas). Os efeitos negativos dos parâmetros significativos ($p < 0,05$) evidenciam o fato da variável estudada diminuir com o aumento do tempo ou da temperatura. Este resultado é observado para L^* , a^* , b^* , densidade, reflectância do grão, reflectância do pó, acidez e umidade. É interessante, portanto, verificar que o aumento linear do tempo e da temperatura apresentam efeitos significativos e negativos em praticamente todas as respostas,

com exceção do pH e açúcares totais, em que somente o efeito do tempo foi significativo.

Para verificar se os dados são significativos estatisticamente, além de averiguar se o delineamento experimental forneceu uma superfície de resposta representativa, calculou-se ANOVA para cada uma das respostas obtidas. Todas os delineamentos resultaram em modelos preditivos com $F_{calculado}$ maior que pelo menos 2 x $F_{tabelado}$.

Uma vez que os dados forneceram respostas significativas foi possível obter as superfícies de resposta. Para tanto foi empregado o programa STATISTICA 5.0. Os modelos ajustados para cada uma das respostas estudadas encontram-se na Tabela 5.

Os coeficientes de determinação obtidos (r^2) foram suficientemente elevados para serem consideradas válidas as regressões. A falta de ajuste não foi significativa para nenhum modelo ($p > 0,05$). Os resultados mostram que os modelos podem ser considerados preditivos, podendo ser usados como ferramentas para controle de processo nesta faixa de tempo/temperatura para o torrador em questão.

Ressalta-se que estes modelos representam o comportamento das variáveis para determinadas faixas de tempo e temperatura estudadas (200 a 230 °C e 10 a 25 minutos), no torrador em questão. Ajustes podem ser necessários no caso de outros torradores.

3.3 Avaliação das características sensoriais

Com relação à análise sensorial, na Tabela 6 encontram-se os resultados sensoriais quanto às características de fragrância do pó, aroma, sabor e corpo da bebida e qualidade global. Os resultados obtidos mostram que as amostras de café apresentaram características sensoriais que resultaram em qualidade global com médias que variaram entre 5,3 a 7,4, correspondentes à qualidade global entre regular e bom da escala utilizada. Pelo sistema de classificação da Norma Técnica

TABELA 4. Resultados das análises químicas do café arábica torrado.

Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Acidez Total*	Sólidos Solúveis (%)	Cafeína (g/100g)	Umidade (%)	Açúcares (%)		
								Redutores	Não-Redutores	Totais
1	12,15	204,3	5,13	197,2	26,36	1,3	0,87	1,48	0,65	2,13
2	22,85	204,3	5,63	133,1	25,28	1,3	0,57	0,91	0,43	1,34
3	12,15	225,7	5,54	143,0	27,82	1,3	0,58	1,25	0,63	1,88
4	22,85	225,7	6,39	96,0	26,00	1,3	0,46	1,10	0,19	1,29
5	17,5	215	5,85	133,1	26,71	1,3	0,99	1,11	0,26	1,37
6	17,5	215	5,71	152,8	26,21	1,3	0,89	1,30	0,20	1,48
7	17,5	215	5,72	143,0	25,09	1,3	0,93	0,90	0,42	1,31
8	10,0	215	5,04	194,7	27,04	1,3	0,80	1,15	1,91	3,06
9	17,5	230	5,96	123,3	26,09	1,3	0,28	1,56	0,20	1,76
10	25,0	215	6,01	115,9	24,95	1,4	0,37	1,08	0,04	1,12
11	17,5	200	5,47	172,6	26,95	1,3	0,64	1,39	0,71	2,10

*mL NaOH 0,1N/100g amostra

TABELA 5. Modelos ajustados para as respostas físicas e químicas estudadas.

Respostas	Modelo	r ²	p	
L*	30,5912 – 3,3104t + 1,63634t ² – 2,7007T	0,92	c	0,00014
			t	0,00822
			t ²	0,04216
			T	0,01228
a*	8,06182 – 1,1053t – 1,2219T	0,73	c	0,00048
			t	0,03365
			T	0,02779
b*	12,1345 – 3,7369t – 2,8833T	0,80	c	0,00169
			t	0,02392
			T	0,03923
Densidade	0,34165 – 0,015t – 0,021T – 0,0072t.T	0,88	c	8,26E-06
			t	0,005896
			T	0,003031
			t.T	0,047214
pH	5,67727 + 0,3417t + 0,23415T	0,91	c	1,72E-05
			t	0,006524
			T	0,013741
Acidez	14,6118 – 2,7611t – 1,9899T	0,94	c	0,000413
			t	0,015672
			T	0,029534
Umidade	0,93809 – 0,12834t – 0,15381t ² – 0,11465T – 0,21639T ²	0,93	c	0,001085
			t	0,021275
			t ²	0,021296
			T	0,026446
			T ²	0,010931
Açúcares Totais	1,390849 – 0,516946t + 0,263939t ² + 0,182524T ²	0,81	c	0,00128
			t	0,00349
			t ²	0,0188
			T ²	0,03815
Ref. Grão	58,3909 – 10,394t – 11,017T	0,87	c	0,000305
			t	0,013094
			T	0,011681
Ref. Pó	76,3 – 12,487t – 13,736T	0,86	c	0,000695
			t	0,03417
			T	0,028488

Onde: c = constante, t = tempo e T= temperatura

de Fixação de Identidade e Qualidade de Café em Grão e Café torrado e Moído (Resolução SAA – 37, de 09/11/2001), as amostras dos ensaios 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 e 11 classificaram-se como cafés “Superiores” e os cafés dos ensaios 4, 9 e 10 como cafés “Tradicionais”.

Foram verificados os efeitos da temperatura e do tempo nas diversas características sensoriais. Apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) as variáveis aroma, sabor característico, sabor chocolate, doçura, acidez e amargor. Verificou-se que o aumento linear do tempo e da temperatura apresentam efeitos significativos negativos para as variáveis: aroma, sabor

característico, sabor chocolate, doçura, assim como efeitos significativos positivos para a acidez e o amargor. Para as demais variáveis, incluindo a qualidade global, não foi possível ajustar um modelo, já que os efeitos não foram significativos ($p > 0,05$). Apenas as amostras com grau de torração bastante elevado obtiveram notas diferenciadas pelos provadores. Mesmo o ensaio 1, que possuía um grau de torração muito baixo, apresentou nota elevada segundo os provadores.

Os modelos ajustados para cada uma das respostas estudadas encontram-se na Tabela 7.

TABELA 6. Resultados das análises sensoriais do café arábica torrado, nos ensaios realizados.

Atributos sensoriais	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10	Ensaio 11
Fragrância do pó	7,6 ± 0,9	7,5 ± 0,9	7,4 ± 1,1	6,2 ± 1,6	7,1 ± 1,5	7,0 ± 0,8	7,6 ± 0,8	6,9 ± 1,8	6,7 ± 1,1	7,0 ± 1,3	7,0 ± 0,9
Aroma Característico	7,2 ± 1,2	6,9 ± 1,3	6,7 ± 1,9	5,8 ± 1,4	6,7 ± 1,4	6,6 ± 1,1	6,8 ± 1,0	6,4 ± 1,9	5,7 ± 1,3	6,2 ± 1,1	6,5 ± 1,5
Sabor Característico	7,0 ± 1,0	6,7 ± 1,2	6,9 ± 1,4	5,2 ± 1,8	6,6 ± 1,9	6,3 ± 1,2	6,6 ± 0,9	6,3 ± 1,9	5,2 ± 1,3	5,6 ± 1,4	6,5 ± 1,3
Sabor de Caramelo	2,8 ± 1,0	2,7 ± 1,6	2,7 ± 1,7	1,9 ± 1,9	2,7 ± 1,6	2,4 ± 2,2	3,1 ± 1,6	2,4 ± 1,9	1,6 ± 1,5	1,9 ± 1,2	3,1 ± 1,5
Sabor de Chocolate	2,6 ± 1,7	2,0 ± 1,6	2,6 ± 2,1	2,0 ± 2,2	2,3 ± 1,9	2,2 ± 2,2	2,3 ± 1,7	2,0 ± 1,5	1,2 ± 1,5	1,8 ± 1,6	2,3 ± 1,4
Sabor de Pão Torrado	3,4 ± 1,8	3,4 ± 2,3	3,8 ± 2,5	3,4 ± 2,3	3,9 ± 1,8	3,0 ± 1,7	4,0 ± 1,7	3,6 ± 2,4	3,0 ± 1,8	3,5 ± 1,8	4,0 ± 1,4
Sabor Frutas Cítricas	2,5 ± 1,7	1,9 ± 1,6	2,4 ± 1,7	1,4 ± 1,4	2,1 ± 1,3	2,1 ± 1,6	2,1 ± 1,2	3,4 ± 1,5	3,0 ± 2,1	1,5 ± 1,6	2,8 ± 1,3
Doçura	4,5 ± 1,4	4,1 ± 1,9	4,0 ± 1,7	2,2 ± 1,2	3,7 ± 1,5	3,6 ± 1,6	3,6 ± 1,4	3,5 ± 1,5	2,2 ± 1,6	3,0 ± 1,4	3,8 ± 1,1
Acidez	4,3 ± 1,1	3,2 ± 0,8	4,1 ± 1,2	2,9 ± 1,5	3,8 ± 1,0	3,1 ± 1,0	3,3 ± 0,9	5,4 ± 1,2	2,8 ± 1,6	4,8 ± 1,1	3,9 ± 1,2
Amargor	2,2 ± 0,7	2,8 ± 1,3	2,3 ± 1,3	5,0 ± 2,2	2,6 ± 1,4	2,7 ± 1,1	3,0 ± 1,3	2,0 ± 0,9	4,8 ± 1,9	3,3 ± 1,4	2,3 ± 1,1
Sabor residual	7,0 ± 0,9	6,5 ± 1,5	6,7 ± 1,4	6,6 ± 1,9	7,2 ± 1,4	6,0 ± 2,5	6,5 ± 1,5	6,0 ± 2,0	5,5 ± 1,8	6,3 ± 1,3	6,8 ± 1,3
Corpo	6,9 ± 1,5	6,9 ± 0,9	6,9 ± 1,0	6,2 ± 1,3	6,7 ± 1,1	6,6 ± 1,2	6,9 ± 1,1	6,8 ± 1,3	6,2 ± 1,1	6,1 ± 1,3	6,5 ± 1,4
Qualidade global	7,4 ± 0,8	7,0 ± 1,1	7,2 ± 1,2	5,5 ± 1,5	7,3 ± 0,8	6,7 ± 1,4	6,8 ± 1,0	6,6 ± 1,7	5,3 ± 1,2	6,0 ± 1,1	6,6 ± 1,6

* Escala de 10 cm sendo: 1 = fraco, 5 = moderado e 10 = forte

TABELA 7. Modelos ajustados para as respostas sensoriais estudadas.

Respostas	Modelo	r ²		p
Aroma	6,62973 - 0,037764t - 0,380764T	0,59	c	0,00022
			t	0,034334
			T	0,010538
Sabor	6,488335 - 0,0222591t - 0,333838T	0,63	c	0,00070
			t	0,025738
			T	0,019713
Sabor Chocolate	2,309221 - 0,196915t - 0,212470T - 0,036966T ²	0,43	c	0,000122
			t	0,011848
			T	0,010935
			T ²	0,036535
Doçura	3,691263 - 0,555168t - 0,9945t ² - 0,113244T ² - 0,35t.T	0,82	c	0,000046
			t	0,003127
			t ²	0,001224
			T ²	0,021520
			t.T	0,01245
Acidez	3,888741 + 2,782459t ²	0,51	c	0,002197
			t ²	0,035655
Amargor	3,081821 + 1,927938t + 2,099994T + 1,55055T ² + 0,525t.T	0,94	c	0,001050
			t	0,012845
			T	0,010046
			T ²	0,040368
			t.T	0,01357

Onde: c = constante, t = tempo e T = temperatura

Apenas os coeficientes de determinação obtidos (r^2) das respostas doçura e amargor foram suficientemente elevados para serem consideradas válidas as regressões. Os resultados mostram que os modelos para os outros atributos dificilmente poderiam ser considerados preditivos.

3.4 Correlação das respostas físicas e químicas com as respostas sensoriais

A fim de se correlacionar os resultados físico-químicos e sensoriais, e assim obter um ponto ótimo de torração, foram

observadas as notas de qualidade global dos cafés obtidas pela análise sensorial. A maior nota de qualidade (7,4) é dada ao ensaio 1, porém este café foi considerado muito claro pelo grau de comparação visual (>95), e o valor da reflectância do pó não teve leitura na escala do Agtron. Outra característica não muito aceitável é o pH muito baixo (5,13) o que foge da faixa determinada de pH ótimo para a bebida (5,6-5,9) (CLIFFORD, 1985; CLARK, 1986). Levando-se em conta a segunda maior nota (7,3), temos o ensaio 5, que faz parte do ponto central de nosso experimento (215 °C/17,5min). O ponto central apresentou as características físicas e químicas apresentadas na Tabela 8.

TABELA 8. Características físicas e químicas do café arábica torrado no ponto considerado ótimo pela análise sensorial.

Parâmetro	Faixa
L*	29,67 a 31,29
a*	7,22 a 8,39
b*	9,43 a 12,66
Densidade (g/ml)	0,337 a 0,343
pH	5,71 a 5,85
Acidez (ml NaOH 0,1N/100g)	133,1 a 152,8
Sólidos Solúveis (%)	25,09 a 26,71
Cafeína (%)	1,3
Umidade (%)	0,893 a 0,998
Açúcares redutores (%)	0,9 a 1,3
Reflectância do grão	54,4 a 60,8
Reflectância do pó	70,4 a 83,7
Grau de torração	55 a 65 – médio a médio claro

3.5 Avaliação das respostas da língua eletrônica

A Figura 1 apresenta os vetores representativos da análise de componentes principais dos dados obtidos pela língua eletrônica (PCA). Os componentes 1 e 2 explicam 90,02% das diferenças entre as amostras. Pode-se observar que os grupos foram bem distintos: ensaios 1, 8 e 11; ensaios 4, 9 e 10 e ensaios 2, 3, 5, 6, e 7. Os ensaios 1, 8 e 11 tem baixo grau de torração (nota média sensorial: 7,0), já os ensaios 4, 9 e 10 tem alto grau de torração (nota média sensorial: 5,6) e os ensaios 2, 3, 5, 6, e 7 tem grau de torração intermediário (nota média sensorial = 6,9). Os resultados mostram que a percepção da língua eletrônica aproximam-se da percepção sensorial.

Ko (2000) comparou a variação das características físicas e químicas e sensoriais com o tempo e a temperatura de torração, de cafés originários da Colômbia, Brasil e Madagascar, utilizando a análise de componentes principais (PCA). O autor concluiu que o menor tempo de torração em maiores temperaturas resultou em melhor aroma e melhor sensação na boca, pois houve manutenção de aroma, corpo, intensidade de sabor e qualidade do extrato, ou seja, melhor nota média sensorial. Estes resultados são concordantes com os resultados apresentados neste estudo.

A língua eletrônica utilizada neste trabalho é composta por sensores fabricados de polímeros condutores que são extremamente sensíveis a mudanças de pH do meio e a

presença de ácidos, isso porque esses polímeros têm seu processo de condução alterado pela presença de íons H+ (chamado processo de dopagem do polímero). Quando na presença de ácidos, o polímero constituinte da língua eletrônica passa de um estado de base para sal esmeraldina, resultando em alterações na resposta elétrica do sensor (FIRMINO, 2002). No caso das amostras 1, 8 e 11, que apresentam torras mais baixas, encontram-se na PCA em uma região distinta em relação às demais amostras, estando discriminadas na primeira componente principal (eixo x do gráfico). Isso mostra que o sensor reagiu de acordo com a liberação de ácidos durante o processo de torra, as amostras com graus de torra maiores apresentaram-se mais próximas. A análise de seletividade global do sensor respondeu em relação aos cafés mais ácidos, em decorrência do processo da torra.

Os resultados obtidos são preliminares, já que o dispositivo (língua eletrônica) faz parte de um projeto ainda em desenvolvimento na Embrapa Instrumentação Agropecuária. É necessário ainda o estabelecimento de correlações entre as características sensoriais e os componentes presentes na bebida, além do estudo de outras variedades de café, que permita uma calibração mais próxima da avaliação humana.

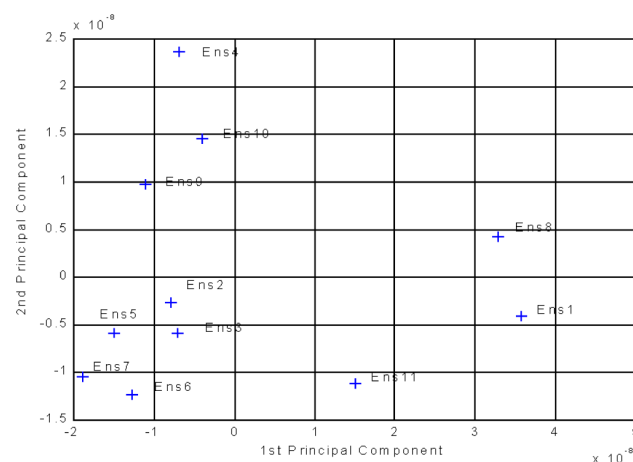


FIGURA 1. Resultados da análise em língua eletrônica dos cafés arábica com diferentes torrações. 1º Componente Principal: 65,49%. 2º Componente Principal: 24,53%.

4. CONCLUSÕES

Foi possível a avaliação do processo de torração do café arábica puro, aplicando as técnicas de planejamento fatorial completo e análise de superfície de resposta, obtendo modelos preditivos para atributos físicos e químicos do café arábica, em função das variáveis tempo e temperatura de torração. Para atributos sensoriais, somente as respostas de doçura e amargor forneceram modelos preditivos. Correlacionando os resultados físicos e químicos com os de qualidade sensorial, o grau de torração (215 °C/17,5') foi considerado ótimo para o café arábica puro. A percepção da língua eletrônica aproxima-se da percepção sensorial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – EMBRAPA/FUNCAFÉ, à FAPESP e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- ANESE, M.; DE PILLI, T.; MASSINI, R.; LERICI, C.R. Oxidative Stability of the lipid fraction in roasted coffee. **International Journal of Food Science**, v. 12, n. 4, p. 457-462, 2000.
- ASIC – 12^o Colloque Montreux, p. 169-178, 1987.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official analysis of the A.O.A.C.**, Washington D.C., USA, 13th ed., 1996.
- BALTES, W. Influence of roasting on the composition of coffee. **8th International Scientific Colloquium on Coffee**, p. 85-96, 1979.
- BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1996.
- CLARKE, R.J. The flavour of coffee. In: MORTON, I.D.; MACLEOD, A.J. **Food Flavours: Part B. The flavours of beverages**. Amsterdam: Ed. Elsevier Science Publ., 1986.
- CLIFFORD, M.D. The composition of green and roasted coffee beans. {Part I} **Process Biochemistry**, v. 10, n. 2, p. 20-29, March, 1975a.
- CLIFFORD, M.D. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M.D.; WILLSON, K. **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. London & Sidney: CROOM HELM, 1985. cap 13.
- ESPINOSA-SOLARES, T.; GUTIERREZ-LOPEZ, G.F.; ROBLES-DE-LA-TORRE, R.R. The convective drying of parchment coffee. **IFT Annual Meeting 1995**, p. 154, 1995.
- ESTEBAN-DIEZ, I.; GONZALEZ-SAZ, J.M.; PIZARRO, C. Prediction of sensory properties of espresso from roasted coffee samples by near-infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, v. 525, n. 2, nov 8, p. 171-182, 2004.
- FIRMINO, A. **Desenvolvimento de Sensores Poliméricos para Avaliação da Qualidade de Café**, São Carlos, SP, 2002. Dissertação (mestrado), Universidade de São Paulo, Programa InterUnidades, 2002.
- FOBÉ, L.A.; NERY, J.P.; TANGO, J.S. Influência do grau de torração sobre a composição química do café. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, 1967/1968.
- FRANÇA, A.S.; MENDONÇA, J.C.F.; OLIVEIRA, S.D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 7, nov., p. 709-715, 2005.
- HERNÁNDEZ, J.A.; HEYD, B.; IRLLES, C.; VALDOVINOS, B.; TRYSTRAM, G. Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1141-1148, 2007.
- HOWELL, G. SCAA Universal Cupping Form & How to use it. **10th Annual Conference & Exhibition "Peak of Perfection"** – Presentation Handouts. Denver-Colorado, p.17-21, 1998.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso Coffee: The Chemistry of Quality**. 3ed. San Diego: Academic Press, CA 92101, 1998. 253 p.
- KO, Y.S. Characterization of the roasting temperature and time-dependent physicochemical and sensory evaluation of various coffee beans. **ACS Symposium Series**, Oxford University Press, v. 754, p. 216-229, 2000.
- LERICI, C.R.; ROSA, M. D.; PIVA, M. Production of high-yield roasted coffee: I. Roasting tests. **Industrie Alimentari**, v. 24, n. 233, p. 991-994, 1000, 1985.
- MASSINI, R.; NICOLI, M.C.; CASSARA, A.; LERICI, C.R. Study on physical and physico-chemical changes of coffee beans during roasting. **Italian Journal of Food Science**, v. 2, n. 2, p. 123-130, 1990.
- MENDES, L.C. **Otimização do processo de torração do café robusta (Coffea canephora Canillon) para formulação de blends com café arábica (Coffea arábica)**. Campinas, SP, 1999. 101p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.
- MWITHIGA, G.; JUNDAL, V.K. Physical changes during coffee roasting in rotary conduction-type heating units. **Journal of Food Process Engineering**, v. 26, . 6, Dec., p. 543-558, 2003.
- MORAES, R. M.; ANGELUCCI, E.; SHIROSE, I.; MEDINA, J.C. Determinação de sólidos solúveis em cafés arábica e canephora. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 5, p. 199-221, 1973/74.
- ORTOLÁ, M.D.; LONDOÑO, L.; GUTIERREZ, C.L.; CHIRALT, A. Influence of roasting temperature on physicochemical properties of different coffees. **Food Science and Technology International**, v. 4, 59-66, Feb., 1998.
- PITTIA, P.; DALLA ROSA, M.; PINNAVAIA, G.; MASSINI, R. Evoluzione di alcune caratteristiche fisiche del caffè durante la torrefazione. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 35, n. 351, p. 945-950, 1996.
- PIZZIRANI, S.; ROMANI, S.; ANESE, M.; BARBANTI, D. Studio sulle caratteristiche chimiche e chimico-fisiche del caffè torrefatto e della bevanda di estrazione. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 34, p. 658-663, giu 1996.
- PORTO, C.; NICOLI, M.C.; SEVERINI, C.; SENSIDONI, A.; LERICI, C.R. Study on physical and physico-chemical changes in coffee beans during roasting. **Italian Journal of Food Science**, v. 3, n. 3, p. 197-207, 1991.
- RELVAS, E.; PINTO, M. C.; MONTEIRO, C. R. **Arte e segredos do bom café: café básico**. Brasília: Ed Sebrae. Rio de Janeiro: ABIC, 1997.
- SABBAGH, N.K.; YOKOMIZO, Y. FARIA, J.B. Influência da Torração nos conteúdos de monossacarídeos de cafés arábica, robusta e do híbrido icatu. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 8, p. 111-130, 1977.
- SEVERINI, C.; NICOLI, M.C.; MASTROCOLA, D.; LERICI, C.R. Influence of heating rate on some physical and physico-chemical properties of coffee beans during roasting process. **14th Symposium of Association Scientifique Internationale du Cafe**, p. 641-648, 1992.
- SPIRO, M.; HUNTER, J.E. The kinetics and mechanism of caffeine infusion from coffee: the effect of roasting. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.36, n.9, p. 871-876, 1985.
- STAUB, C. **MANUAL DO AGTRON** Agtron/SCAA Roast Classification. Color Disk System, 10 p.
- WILLIAMS, A.A.; FARIA-MORALES, A.; KARI, P. Sensory and Analytical Examination of Ground and Cup Coffee with Particular Reference to Bean Maturity. In: **ASIC**, 13th Colloque, Paipa, p. 83-106, 1989.