

Proposta de testes para detecção da fadiga sensorial a partir de intervalos de confiança para proporção

Iasmine Queiroga de Paula ¹, Eric Batista Ferreira ²

1 Introdução

A sensometria é o campo da estatística com aplicação, desenvolvimento e análise dos dados da ciência sensorial. Esta ciência lida com a percepção humana dos estímulos e a maneira como eles atuam, podendo ser utilizada em pesquisas de alimentos para o controle de qualidade e desenvolvimento de novos produtos (BROCKHOFF, 2011).

Através da análise sensorial, é possível medir, analisar e interpretar sensações percebidas pelos sentidos de visão, olfato, paladar, audição e tato (LAWLESS; HEYMANN, 2010). No entanto, essa análise pode ser afetada pela fadiga sensorial, que ocorre quando o provador perde a sensibilidade ao estímulo em que foi submetido durante um grande número de ensaios (ZWIMPFER, 2013).

A habilidade de diferenciar dois ou mais estímulos é fundamental nas respostas de análise sensorial. Inclusive, testes discriminativos são muitas vezes utilizados para coletar evidências de que um produto sofreu alteração (LAWLESS; HEYMANN, 2010). Dentre os testes discriminativos, tem-se o teste triangular, em que três amostras são apresentadas simultaneamente, sendo duas iguais e uma diferente. O provador deve, então, selecionar a amostra diferente (CHAMBERS IV; WOLF, 2005). O teste triangular é comumente empregado para seleção de provadores (TEIXEIRA, 2009).

Quando o número de produtos é muito grande, os juízes podem apresentar menor taxa de acertos. Dessa forma, é importante investigar qual é o maior número de ensaios tal que as notas continuem confiáveis, para cada alimento (CHAMBERS IV; WOLF, 2005).

Na literatura, não foi encontrado um teste estatístico que determine o momento que ocorre a fadiga sensorial e, portanto, recomenda o número de ensaios que um provador pode realizar antes que os dados percam credibilidade. Assim, este trabalho visa utilizar intervalos de confiança para proporção baseados na distribuição F, qui-quadrado e sua versão sequencial, para adaptá-los a detecção da fadiga sensorial por meio da proporção de acertos acumulada em testes triangulares.

2 Metodologia

Em um teste triangular, o número de acertos em n ensaios pode ser entendido como uma variável aleatória binomial em que a probabilidade de sucesso (p) é igual a $1/3$ e a probabilidade de fracasso (q) é $2/3$. Como se trata de uma distribuição Binomial em que são contabilizados o número de sucessos x para n ensaios, com parâmetro p que fornece a proporção de respostas corretas, partiu-se de intervalos de confiança para o parâmetro p . A proporção de acerto para o teste triangular é de $1/3$ se a pessoa acertar ao acaso ou maior que $1/3$ se a pessoa identificar a diferença. Assim, as hipóteses de não efeito e de efeito são, respectivamente (NÆS; BROCKHOFF; TOMIC, 2010; FERREIRA, 2005):

¹Mestranda, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). e-mail: iasmine@outlook.com.br

²Docente, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). e-mail: eric.ferreira@unifal-mg.edu.br

$$\begin{cases} H_0 : p = 1/3 \\ H_1 : p > 1/3 \end{cases}$$

Ou seja, quando a proporção é estatisticamente equivalente a $1/3$, significa que os juízes estão acertando ao acaso e, portanto não detectam diferença nas amostras. No entanto, quando a proporção de acerto é maior do que $1/3$, então os juízes estão detectando diferença nas amostras. Nota-se que não faz sentido considerar uma proporção menor que $1/3$, pois significaria que os juízes sabem identificar a diferença nas amostras e escolhem errado de propósito, o que não é considerado já que, no teste triangular, pede-se que eles indiquem a amostra diferente.

Baseado na distribuição F, temos o seguinte intervalo de confiança para proporção (FERREIRA, 2005):

$$IC(p)_{1-\alpha} : \left(\frac{1}{1 + \frac{(n-y+1)F_0}{y}}; \frac{1}{1 + \frac{(n-y)}{(y+1)F_1}} \right)$$

$$F_0 = F_{\alpha; 2(n-y+1), 2y}$$

$$F_1 = F_{\alpha; 2(y+1), 2(n-y)}$$

Em que F_0 e F_1 são valores tabelados para a significância α que foi fixada em 5% ($\alpha = 0,05$) e os respectivos graus de liberdade do tratamento e resíduos, $2(n-y+1)$ e $2y$ para F_0 ; $2(y+1)$ e $2(n-y)$ para F_1 . E y representa o número de sucessos na amostra de tamanho n .

Já o teste sequencial para binomial é um teste utilizado na inspeção individual de cada ensaio. Com base nos resultados, toma-se a decisão de aceitar, rejeitar ou inspecionar uma nova unidade. O processo ocorre com a plotagem de duas linhas de decisão, sendo uma reta superior de aceitação (L_1) e outra reta inferior de rejeição (L_0), em que n é o número de observações. Com os valores previamente determinados das proporções p_0 , p_1 , e de α , β , que correspondem, respectivamente, à probabilidade de se cometer os erros tipo I e II obtém-se (WALD, 2013):

$$IC(X) : [L_0; L_1]$$

em que X é o número de acertos acumulados e as retas L_0 e L_1 equivalem a:

$$L_0 = -h_0 + sn$$

$$L_1 = h_1 + sn$$

Em que h_0 , h_1 e s são dados:

$$h_0 = \frac{\log\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{k}; \quad h_1 = \frac{\log\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{k}$$

$$k = \log\frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}; \quad s = \frac{\log\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}{k}$$

Observe que h é o intercepto da reta (coeficiente linear) e s é a inclinação. Para esse teste, as hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) são dadas por:

$$\begin{cases} H_0 : p = p_0 \\ H_1 : p = p_1 \end{cases}$$

Geralmente, para a pré-seleção de jogadores, selecionam-se candidatos com percentual de acerto de 75% (MINIM et al., 2010). Assim, foram utilizados valores de $p_0 = 1/3$ e $p_1 = 3/4$, que referem-se respectivamente, as proporções de acerto ao acaso e a proporção utilizada para seleção de candidatos, em testes triangulares. Logo, quando o provador acerta em 75% (3/4), ele está realmente detectando diferença. Nesse caso, considerou-se $\alpha = \beta = 0,05$.

Dessa forma, ao contabilizar o número de respostas corretas acumuladas, à medida que cada resposta é avaliada, gera-se uma curva d_n , entre as retas, de respostas corretas em n ensaios avaliados, até que se alcance uma delas: L_0 , em que conclui-se que a proporção de respostas corretas é p_0 , ou seja acerto ao acaso; ou L_1 , cuja conclusão é que a proporção de respostas corretas é de p_1 , acerto real do provador.

Por último, temos o intervalo de confiança para proporção baseado na qui-quadrado (FERREIRA, 2005):

$$IC(p)_{1-\alpha} : \left(\frac{\chi^2_{1-\alpha;2y}}{2n}, \frac{\chi^2_{\alpha;2(y+1)}}{2n} \right)$$

sendo $\chi^2_{1-\alpha;2y}$ e $\chi^2_{\alpha;2(y+1)}$, respectivamente, os valores críticos das caudas inferior e superior da distribuição e, também, se referem aos limites inferior e superior. Para esse intervalo, também foi utilizado $\alpha = 0,05$ e o y representa o número de sucessos em uma amostra de tamanho n .

3 Resultados e discussão

No teste triangular a probabilidade de escolher a amostra certa e errada são, respectivamente, $1/3$ e $2/3$. Logo, espera-se que os provadores selecionem respostas corretas em, no mínimo, $1/3$ dos n ensaios (o que seria o "chute"), ou seja, $y = n/3$.

Para adaptarmos os intervalos de confiança, devemos realizar as substituições dos quantis e de y . Para o intervalo da distribuição F temos:

$$f(n) = \left(\frac{\frac{n}{3}}{\frac{n}{3} + \left(\frac{2n}{3} + 1\right) F_{5\%;4n/3+2,2n/3}}; \frac{\left(\frac{n}{3} + 1\right) F_{5\%;2n/3+2,4n/3}}{\left(\frac{n}{3} + 1\right) F_{5\%;2n/3+2,4n/3} + \frac{2n}{3}} \right)$$

Para o teste sequencial, as funções L_1 e L_0 devem ser divididas por n para que se possa trabalhar também com proporção. Assim, temos:

$$\begin{aligned} f(n) &= \frac{h_1}{n} + s \\ f(n) &= \frac{-h_0}{n} + s \end{aligned}$$

E para o intervalo da qui-quadrados, fazendo as substituições para $y = n/3$ e $\alpha = 0,05$, encontra-se:

$$f(n) = \left(\frac{\chi_{95\%; \frac{2n}{3}}^2}{2n}; \frac{\chi_{5\%; (\frac{2n}{3}+2)}^2}{2n} \right)$$

Os gráficos correspondentes a cada função obtida dos limites superiores e inferiores dos três intervalos de confiança são apresentados na Figura 1. A linha tracejada corresponde à proporção de acerto de 1/3.

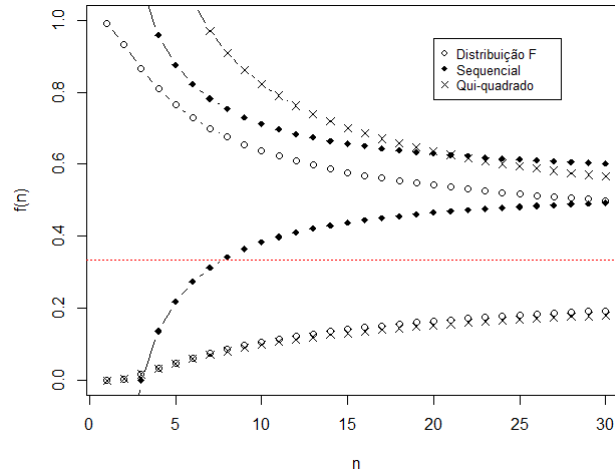


Figura 1: Gráfico das funções obtidas para os diferentes intervalos de confiança

Observa-se que quando a proporção acumulada estiver entre as curvas de limite superior e inferior, então a proporção é estatisticamente equivalente a 1/3 que é a proporção de acerto ao acaso. Quando a proporção acumulada estiver acima da curva superior, significa que os provadores estão detectando diferença e estão acertando no teste triangular. No entanto, quando a proporção acumulada estiver abaixo da curva inferior, significa que os provadores estão detectando a diferença, porém estão marcando a resposta errada propositalmente.

Como esse último caso não faz muito sentido para o nosso fenômeno de estudo, apenas os limites superiores são avaliados para todos os intervalos de confiança. A Figura 2 mostra as funções obtidas para os limites superiores dos intervalos dados.

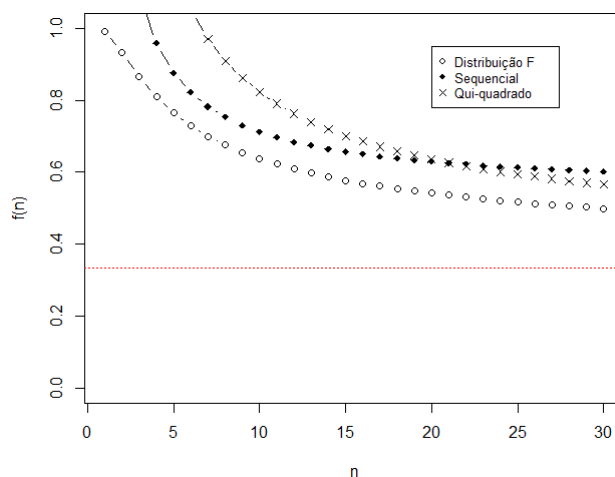


Figura 2: Gráfico das funções obtidas para os limites superiores dos intervalos de confiança

Visualmente, o teste baseado na distribuição F aparenta ser o menos rigoroso, seguido pelo sequencial, que perde essa posição para o qui-quadrado em $n = 22$ ou 23 . A fadiga sensorial pode ser detectada a partir do momento em que a proporção acumulada ultrapassar essas funções do limite superior e depois retornar a região de acerto ao acaso.

4 Conclusão

Os testes obtidos a partir de intervalos de confiança para a proporção de uma binomial baseados na distribuição F e qui-quadrado, bem como a função gerada pela sequencial para proporção, podem ser utilizados no estudo de detecção da fadiga sensorial.

Nota-se que os testes baseados na qui-quadrado e na versão sequencial são mais exigentes do que na distribuição F. Então, o provador deveria ter uma alta proporção acumulada para que, estatisticamente, eles estejam detectando a diferença nas amostras, quando se utiliza esses dois testes na análise. O teste qui-quadrado é o mais exigente dentre os três. Devido ao alto nível de exigência dos testes sequencial e qui-quadrado, que requer uma proporção de acertos muito elevada e dificulta a detecção de diferença das amostras, o teste que mais se adéqua à proposta é o baseado na distribuição F.

5 Referências bibliográficas

- BROCKHOFF, P. B. *Sensometrics for Food Quality Control*. Scandinavian Workshop on Imaging Food Quality. 2011.
- CHAMBERS IV, E.; WOLF, M. B. *Sensory testing methods*. ASTM International, 2nd edition. 2005.
- FERREIRA, D. F. *Estatística Básica*. UFLA. 2005.
- LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. *Sensory Evaluation of Food*. Springer. Second edition. 2010.

MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N.; MILAGRES, M. P.; MARTINS, E. M. F.; SAMPAIO, S. C. S.; VASCONCELOS, C. M. *Análise descritiva: Comparação entre metodologias*. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes, v. 65, n. 374, p. 41-48. 2010.

NÆS, T.; BROCKHOFF, P. B.; TOMIC, O. *Statistics for Sensory and Consumer Science*. Wiley. 2010.

TEIXEIRA, L.V. *Análise sensorial na indústria de alimentos*. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

WALD, A. *Sequential Analysis*. Dover Publications. New York. 2013.

ZWIMPFER, T. *Sensory Evaluation Lab Report*. Nutrition 205, Section 3. 2013.