

Aplicação da ferramenta de Projeto de Experimentos na identificação dos fatores que influenciam na redução de grãos de milho de pipoca não estourados

Marcelo Miguel da Cruz
marcelom_cruz@yahoo.com.br
UNESP

Graziela de Paiva Cunha
grazi.paiva.cunha@gmail.com
UNESP

Resumo: A pipoca é um dos produtos que movimentam a economia informal, já que trata-se de um alimento que agrada a todos os gostos, com preço consideravelmente baixo e rápido modo de preparo. Tanto para o consumidor quanto para o fornecedor o número de grãos de pipocas não estouradas gera desagrado e prejuízos. Este artigo aplicou a ferramenta Planejamento de Experimentos para encontrar quais fatores influenciam no modo de preparo da pipoca e para evidenciar que esta ferramenta pode ser aplicada em uma problemática caseira, ou seja, pode ser aplicada em diversos ambientes. Foram analisados quatro fatores que impactam no modo de preparo e em seguida realizados oito experimentos com réplica, os dados foram analisados pelo modelo experimental fatorial fracionado. Os resultados mostraram quais os fatores possuem significância para obter um menor número de grãos não estourados, ou seja, um maior rendimento da pipoca.

Palavras Chave: Projeto experimentos - DOE - milho de pipoca - rendimento -

1. INTRODUÇÃO

Segundo Miranda et al. (2011), os Estados Unidos é o maior produtor mundial de milho de pipoca com uma produção de 500 mil toneladas/ano. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de milho de pipoca, com uma produção de 80 mil toneladas/ano, gerando uma movimentação de US\$ 130 milhões. No entanto, mesmo ocupando esta posição no ranking mundial e o valor comercial do milho-pipoca sendo três vezes superior ao do milho comum, o cultivo comercial brasileiro ainda é modesto.

Mesmo assim a pipoca é um produto que movimenta a economia informal, pois é um alimento de grande aceitação popular e frequentemente encontrado em diversos pontos comerciais das grandes e pequenas cidades, como teatros, cinemas e parques de diversões. Trata-se de um alimento que agrada a todos os gostos, sendo ofertado a um preço consideravelmente baixo e com um modo de preparo rápido.

Para o consumidor, as pipocas maiores tendem a ser mais macias e estão associados com maior qualidade. Para o fornecedor, a expansão está intimamente relacionada com o lucro, afinal os pipoqueiros compram o milho por peso e vendem a pipoca por volume e, portanto dão preferência a que expandem mais e que apresentam menos milhos não estourados, conhecidos como “piruás” (COSTA, L., 2015).

Uma explicação para os grãos não estourarem na temperatura adequada é que eles não tinham a umidade interna suficiente para criar o vapor para a explosão. O teor ideal de umidade para pipocamento varia em função do tamanho da semente, estando em média, em torno de 10 a 15% (EMBRAPA, 2015).

Entretanto, levando em consideração o critério de condição ideal de teor de umidade do milho de pipoca, elaborou-se a seguinte questão: o modo de preparo da pipoca também pode influenciar na quantidade de grãos não estourados? Com o intuito de responder este questionamento, o objetivo deste artigo é identificar as variáveis existentes no preparo da pipoca, e aplicar a ferramenta Planejamento de Experimentos para verificar a influência destas variáveis no número de piruás, variável resposta.

O Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE) é uma técnica utilizada para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletadas durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística na resposta e o menor custo com experimentos. O intuito deste artigo também é apresentar a aplicação desta ferramenta em um projeto caseiro.

O artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente apresenta os referências teóricas sobre o tema, fundamentando teoricamente o estudo, em seguida é apresentado o método do experimento, a análise dos principais resultados e discussão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CARACTERÍSTICAS DA PIPOCA

A principal característica do milho de pipoca é o Índice de Capacidade de Expansão (ICE), que é uma relação entre o volume de pipoca estourada e o volume de grãos utilizados. Quanto maior o ICE mais macia é a pipoca e menor é a quantidade de piruás. O grão do milho de pipoca é uma cariopse, composto de pericarpo, camada de aleurona, endosperma e embrião.

Quando o grão de pipoca é aquecido, a umidade em seu interior vai se transformando em vapor, que, contido pelo pericarpo, aumenta a pressão no interior do grão. Quando o pericarpo se rompe, a temperatura do grão é de 177°C e a estrutura do endosperma está gelatinizada. O vapor d'água, no endosperma cristalino, não dispendo de espaços vazios para atravessar, tem que passar por um hilo no centro dos grânulos de amido que se expandem, formando um fino filme nas paredes da matriz protéica, que praticamente não se altera com a expansão. (EMBRAPA, 2015).

2.2. PROJETO DE EXPERIMENTOS

Segundo Shannon (1975), a simulação consiste no processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro do limite imposto por um critério ou um conjunto de critérios).

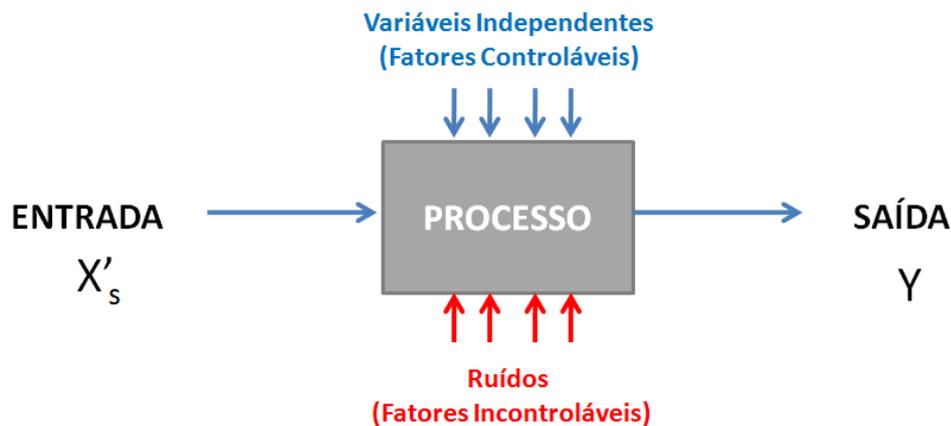


Figura 1: Modelo de Processo
Fonte: Elaborado pelos autores

Os experimentos podem ser baseados nos seguintes objetivos:

- Encontrar qual seria o fator que mais influencia a resposta (saída);
- Determinar os intervalos em que os fatores controláveis estejam variando para que seja possível a verificação da associação desses fatores com cada resultado;
- Determinar os intervalos de variação dos itens de verificação ligados aos fatores controláveis, minimizando a influência de fatores incontroláveis sobre o controle do processo.

A técnica utilizada é baseada nas considerações racionais e relacionada com regras estatísticas e algébricas, as quais consideram que um número (n) de fatores pode influenciar a variabilidade nos resultados (y) dos processos, e todos estes fatores não são inevitavelmente identificados. Deve-se escolher um número de fatores controlados no experimento, e a procura dos fatores influentes consiste originalmente em fixar somente dois valores para cada



fator e estes valores serão denominados níveis e, ainda, estudar o maior número possível de fatores, mesmo aqueles que não parecem ser muito importantes (MONTGOMERY, 2004).

Os fatores devem ser detectados e estudados, para obter a melhor solução e para extrair um máximo de informações úteis com um mínimo de ensaios. Assim, esta ferramenta apóia eficazmente a tomada de decisão com relação à melhoria da qualidade de processos. Portanto, originalmente, o Planejamento de Experimentos é uma ferramenta para otimização de experimentos e refinamento de processos, baseada em conceitos estatísticos (GEORGE, 2004 Apud FONTÃO, 2010).

3. MÉTODO / ESTUDO APLICADO

3.1. PARÂMETROS DO EXPERIMENTO

Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes fatores controláveis durante o processo de produção da pipoca: (A) Tipo de Panela; (B) Tipo de óleo; (C) Chama do Fogão; (D) Preço do Milho de Pipoca (500g). Como variável de resposta foi determinada a quantidade de grãos não estourados.

Neste estudo utilizou-se um projeto fatorial fracionado 2^{4-1} , com os fatores já mencionados. O projeto envolveu 8 experimentos com réplica, totalizando 16 ensaios subdivididos em dois blocos com 8 ensaios cada um para obter-se o projeto fatorial fracionado 2^{K-1} . Os níveis dos fatores são renomeados com sinais de (+) e (-) e distribuídos na matriz conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz experimental de fatorial fracionado 2^{4-1}

Fonte: Elaborado pelos autores

Experimentos	A	B	C	D (ABC)
1	-	-	-	-
2	+	-	-	+
3	-	+	-	+
4	+	+	-	-
5	-	-	+	+
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	+

O Quadro 1 abaixo é uma ilustração de como foram distribuídos os fatores controláveis em seus dois níveis (alto e baixo).



Quadro 1: Fatores Controláveis de Entrada e os Respectivos Níveis
Fonte: Elaborado pelos autores

Ainda, por convenção os experimentos foram realizados em ordem aleatória escolhida previamente e distribuída da seguinte forma:

Primeira Sequência: 8°; 1°; 5°; 3°; 4°; 7°; 6°; 2°.

Segunda Sequência (réplica): 4°; 7°; 2°; 3°; 5°; 8°; 6°; 1°.

Tabela 2: Níveis de Ajustagem utilizados no Experimento

Fonte: Elaborado pelos autores

Exp.	Tipo de Panela (A)	Tipo de Óleo (B)	Chama do Fogão (C)	Milho (Fabricante) (D)
1	Normal	Girassol	Médio	Chinezinho
2	Pipoqueira	Girassol	Médio	Yoki
3	Normal	Azeite	Médio	Yoki
4	Pipoqueira	Azeite	Médio	Chinezinho
5	Normal	Girassol	Alto	Yoki
6	Pipoqueira	Girassol	Alto	Chinezinho
7	Normal	Azeite	Alto	Chinezinho
8	Pipoqueira	Azeite	Alto	Yoki

Durante todos os experimentos, os fatores não-controláveis (ruídos) não foram considerados significativos.

- O experimento foi realizado seguindo as seguintes premissas:
- i) foi utilizada a mesma quantidade de milho de pipoca 100g (medido em uma balança de cozinha doméstica);
 - ii) o mesmo fogão de cozinha e o mesmo bocal de chama;
 - iii) o mesmo ambiente (mesma cozinha) durante os ensaios e réplicas;
 - iv) a mesma pessoa foi responsável por preparar a pipoca para que fosse evitada a influência de fatores ligados aos procedimentos de preparação dos ensaios;
 - v) o desligamento do fogão foi realizado a partir do intervalo de 2 segundos entre o estouro de uma pipoca e outra;
 - vi) para a panela, foi utilizada uma de mesmo volume e foi alterado apenas o tipo de tampa (tipo normal e tipo pipoqueira), sendo que não houve agitação da panela durante os experimentos em que determinavam a utilização da tampa Tipo Normal e na Tampa Pipoqueira a agitação se manteve contínua até os últimos estouros.



Figura 2: Nível de Chama do Fogão

Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 3: Balança de Cozinha Doméstica

Fonte: Elaborado pelos autores

Após a realização de cada um dos ensaios, os grãos não queimados foram separados e contados, sendo considerados apenas os grãos não abertos (piruás).

3.2. REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

As linhas horizontais da matriz experimental representam os oito experimentos realizados, os quais combinam os níveis: alto (+) e baixo (-) para cada uma das variáveis estudadas. As colunas verticais representam as variáveis controladas pelo pesquisador e identificadas pelas letras de A a D.

A Figura 4 abaixo apresenta as fotos das pipocas produzidas nos experimentos n° 2, n° 3 e n° 7 respectivamente.



Figura 4: Fotos dos experimentos realizados

Fonte: Elaborado pelos autores

Após a realização de cada uma das amostras de teste, foi possível mensurar a variável resposta (quantidade de grãos não estourados – piruás) e em seguida foram feitas as análises relativas ao experimento.

3.3. ANÁLISES RELATIVAS AO EXPERIMENTO

A mensuração da variável resposta foi realizada por meio da média aritmética simples do número de grãos não estourados, conforme verifica-se na Tabela 3 abaixo. Também pode

ser observada na tabela a variância e a variância global, o efeito de cada um dos fatores e os resultados dos níveis de significância dos efeitos.

Tabela 3: Cálculo dos efeitos dos fatores, variância global e nível de significância

Fonte: Elaborado pelos autores

Experimento	FATORES				Sobra de grãos		Média	S ² _i
	A	B	C	D (ABC)	Y1	Y2		
1	-1	-1	-1	-1	40	34	37	18
2	1	-1	-1	1	8	14	11	18
3	-1	1	-1	1	21	25	23	8
4	1	1	-1	-1	13	9	11	8
5	-1	-1	1	1	75	63	69	72
6	1	-1	1	-1	23	18	20,5	12,5
7	-1	1	1	-1	80	86	83	18
8	1	1	1	1	11	16	13,5	12,5

Efeito	-	9,7500	-	0,4375	6,5000	-	2,1875
--------	---	--------	---	--------	--------	---	--------

Méd global	33,5
------------	------

Variância global (Sp)	4,5689
-----------------------	--------

T calculado	2,1340	0,0958	1,4227	0,4788
-------------	---------------	--------	---------------	--------

T crítico 80% = 1,397	Sim	Não	Sim	Não
-----------------------	------------	-----	------------	-----

O valor do t crítico foi identificado na tabela “Critical Values of Student’s t”, considerando o somatório do grau de liberdade de cada experimento e da utilização de um nível de significância de 80%. No teste de significância, se o t calculado for maior ou igual ao t crítico, o fator em questão é significativo.

Com os valores levantados identifica-se que com um grau de confiança igual a 80% existe evidência estatística que os fatores A (tipo de panela) e C (chama do fogão) são significantes no processo estudado, ou seja, influenciam no número de grãos não estourados. Porém, levando-se em consideração um grau de confiança de 90% somente o fator A apresenta influência.

Tabela 4: Nível de significância com grau de confiança de 90%

Fonte: Elaborado pelos autores

Experimento	A	B	C	D (ABC)
T calculado	2,1340	0,0958	1,4227	0,4788
T crítico 90% = 1,86	Sim	Não	Não	Não

O Gráfico 1 abaixo, mostra melhor os resultados e facilita visualizar que os fatores B e D, em ordem de magnitude, apresentam baixa contribuição.

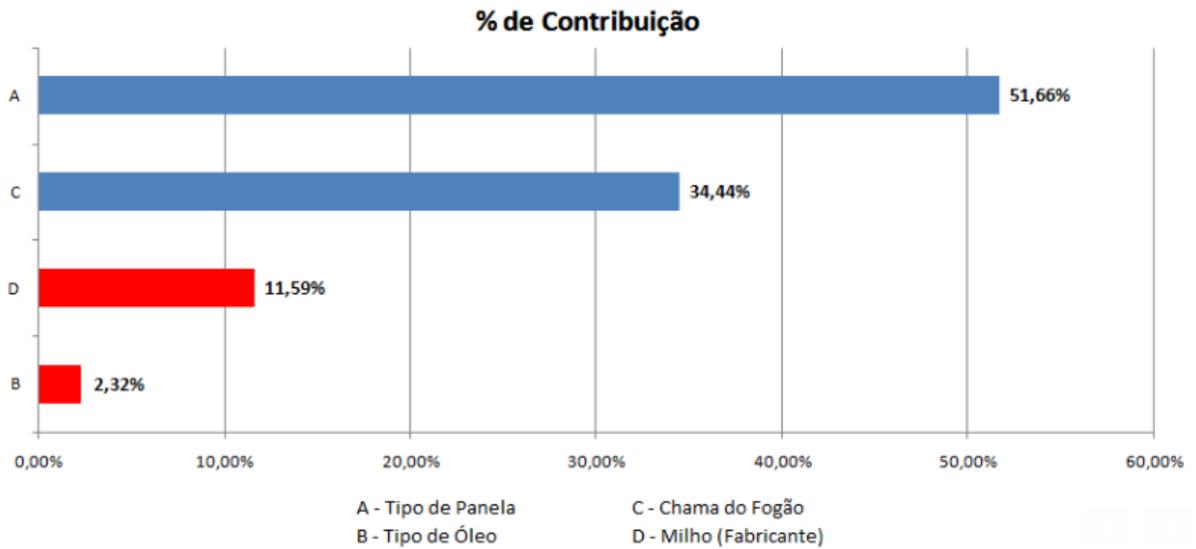


Gráfico 1: Margem de contribuição dos fatores

Fonte: Elaborado pelos autores

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta do presente artigo foi a de apresentar como uma aplicação das técnicas do DOE podem ser utilizadas em experimentos caseiros e simples de serem realizados. Como aplicação prática, foi apresentado o exemplo da produção de pipoca caseira, tendo como principal alvo a identificação das variáveis e parâmetros que mais seriam influenciáveis ao processo como um todo e tendo sempre como principal objetivo a otimização dos resultados do processo através da minimização da produção de “piruás”, ou grãos não estourados.

Através das análises dos resultados obtidos durante o experimento, foi possível identificar dentre os fatores (variáveis independentes ou variáveis de entrada) os itens que mais impactavam no rendimento da produção de pipoca.

Os resultados obtidos com o experimento justificam que o processo de produção de pipoca terá seu resultado otimizado no que diz respeito à minimização de grãos não estourados, quando os fatores em estudo forem manipulados entre os níveis alto e/ou baixo, e for encontrado o menor número de grãos não estourados.

Sendo assim, os fatores foram combinados e arranjados aleatoriamente durante os ensaios e identificou-se que os melhores resultados para a minimização da quantidade de grãos não estourados seriam influenciados quando: A – Tipo de Panela estiver em Nível Alto (Pipoqueira) e C - Chama do Fogão estiver em Nível Baixo (Fogo Médio).

Portanto, os resultados evidenciaram que a aplicação do DOE trata-se de uma ferramenta prática para a análise de experimentos caseiros e didáticos, além de ser uma ferramenta bastante útil que também pode ser aplicada na indústria de modo geral e em projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Este exemplo de aplicação do DOE, ilustra a aplicabilidade da técnica na realização de experimentos adversos que se aplicam ao nosso cotidiano e nos faz refletir sobre os outros fatores que poderiam ser considerados influentes no processo.

Outra verificação foi em relação ao modo de preparo indicado na embalagem da pipoca de maior preço que orienta a utilização do fogo alto, porém em contrapartida, neste estudo foi evidenciado que o fogo médio contribui para a redução do menor número de piruás.

Ainda, com o objetivo de se obter melhores níveis de regulagem para o processo de produção de pipoca caseira sob estas condições, sugere-se que novas pesquisas e novos experimentos sejam realizados analisando como variável resposta o volume da pipoca e utilizando as técnicas do DOE.

5. REFERÊNCIAS

COSTA, L. História da Pipoca. Disponível em: <<http://stravaganzastravaganza.blogspot.com.br/2012/03/tudo-sobre-pipoca.html>>. Acesso em: 11 jan. 2015 às 17:00h.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy9zxynl02wx5ok0pvo4k359f3bo9.html>>. Acesso em: 31 jan. 2015 às 21:00h.

GEORGE, M. L. (2004). Lean seis sigma para serviços: como utilizar a velocidade Lean e qualidade seis sigma para melhorar serviços e transações. Rio de Janeiro: Qualitymark. Apud FONTÃO H., LOPES, E. L. (2010) Aplicação Da Ferramenta Planejamento De Experimentos No Marketing De Relacionamento: Um Estudo No Varejo. Dissertação de doutorado Uninove.

MIRANDA, G. V. et al. Milho-pipoca (Zeamays L.). In: PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. (Org.). 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: Epamig, 2010. p. 553-558.

MONTGOMERY, D. C. (2004). Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC.

RANIERI K.; KIYAN C.; COSTA A. F. B.; SIMÕES A. Z. Analysis of semi-solid processing for metal matrix composite synthesis using factorial design. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~fbranco/EAP-2014/Trabalhos/Fatorial-fracionado-Kratus.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2015.

SHANNON, R.E. System Simulation – The art and Science, Prentice-hall, Englewood. Cliffs, 1975.

SIMON, G. A. SCAPIM, C. A. PACHECO, C. A. P. PINTO, R. J. B. BRACCINI, A. L. TONET, A. Depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. Bragantia, Campinas, vol.63, n.1, p. 55 – 62, 2004.

ZINSLY, J. R.; MACHADO, J. A. Milho-pipoca. In: Melhoramento e produção de milho no Brasil. Piracicaba, p. 339 – 348, 411 – 422, 1978. (14950).