

PREVISÃO DO TEMPO DE COCÇÃO DE ALIMENTOS EM FORNO DA PRÁTICA FORNOS

Beatriz Izepe Meireles - beatrizizeppe@unifei.edu.br

Palavras-chave: Modelagem preditiva, Tempo de cocção, Design of Experiments (DOE).

1. INTRODUÇÃO

A cocção de alimentos é um processo que vai muito além do simples ato de aquecer ou preparar um produto. Em ambientes industriais, ela envolve uma complexa interação de variáveis — como temperatura, umidade, composição e formato dos alimentos — que determinam a textura, o sabor e a segurança do produto final. Nas últimas décadas, o avanço tecnológico dos fornos industriais tem permitido maior controle desses fatores, e a previsão precisa do tempo de cocção ainda permanece como um desafio relevante.

A empresa PRÁTICA Produtos SA, reconhecida nacionalmente pelo desenvolvimento de fornos de alto desempenho voltados ao setor de food service e panificação, tem investido continuamente em inovação e aprimoramento de seus equipamentos. Entre suas linhas de produtos, destacam-se os fornos que integram múltiplas tecnologias de aquecimento, como micro-ondas, convecção e resistência infravermelha, possibilitando resultados rápidos e consistentes. Apesar desses avanços, ainda não há uma ferramenta capaz de prever de forma sistematizada o tempo ideal de cocção, o que faz com que muitos ajustes ocorram de maneira empírica. Essa lacuna técnica abre espaço para o desenvolvimento de soluções baseadas em métodos científicos e estatísticos que ampliem a confiabilidade e a padronização dos processos.

Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo de previsão do tempo de cocção de alimentos em fornos industriais da PRÁTICA, utilizando metodologias estatísticas, com destaque para o Design of Experiments (DOE). A pesquisa busca compreender como diferentes fatores interagem e influenciam o tempo necessário para que o alimento atinja as condições ideais de cocção, promovendo eficiência operacional e resultados mais consistentes.

O estudo insere-se na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gestão da Qualidade e na linha de Modelagem, Otimização e Controle de Processos. Além de responder a uma demanda prática da indústria, a pesquisa pretende contribuir academicamente para o avanço do conhecimento sobre modelagem preditiva em processos térmicos, unindo o rigor das ferramentas estatísticas à aplicabilidade industrial.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Design of Experiments

O Design of Experiments (DOE) é uma abordagem sistemática para investigar a relação causal entre variáveis de entrada (fatores preditores) e variáveis de saída (respostas) em um processo experimental. Essa metodologia visa planejar, conduzir e avaliar experimentos de maneira organizada, com o objetivo de otimizar o uso de recursos e garantir resultados confiáveis.

A essência do DOE foi desenvolvido na década de 1920 pelo Sir R. A. Fisher, na Rothamsted Agricultural Field Research Station, em Londres, Reino Unido (ROWLANDS, 2003) está abarcada em compreender, de forma quantitativa, como as alterações nos fatores de entrada afetam as respostas de interesse. Isso possibilita, por exemplo, a previsão do comportamento de um processo industrial, proporcionando aos pesquisadores a obtenção de um número máximo de informações do sistema em estudo, a partir de um número mínimo de experimentos (NETO; BRUNS; SCARMINIO, 2007).

Assim, a partir da observação e medição, o DOE busca gerar conhecimento sobre o sistema, transformando a experimentação em um instrumento científico e estratégico.

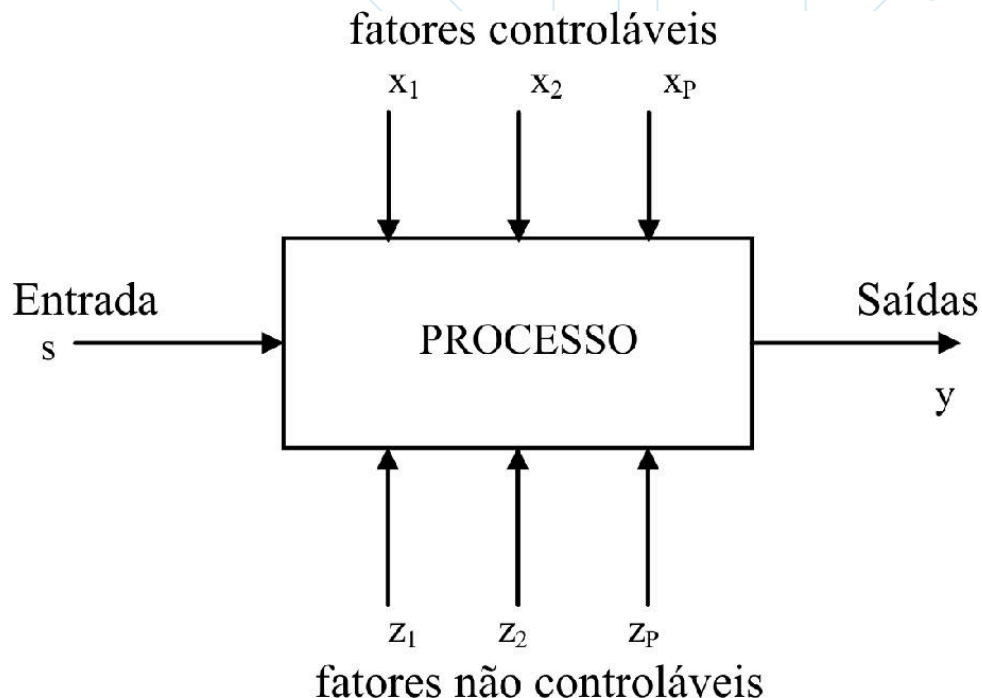
De acordo com as diretrizes propostas por Montgomery (2005) para o planejamento de um experimento, o procedimento consiste em sete etapas essenciais, sendo que as três primeiras são frequentemente chamadas de planejamento pré-experimental.

São elas:

1. Definição do problema: identificação clara da necessidade de experimentação e dos objetivos do estudo.
2. Escolha dos fatores e níveis: seleção das variáveis de entrada e de seus intervalos de variação.
3. Seleção da variável-resposta: definição das medidas que representam o desempenho do processo.
4. Planejamento experimental: escolha do tipo de planejamento, número de replicações e ordem dos testes.
5. Execução do experimento: realização dos testes conforme o plano estabelecido, assegurando a reprodutibilidade.
6. Análise dos dados: aplicação de métodos estatísticos e gráficos para identificar fatores significativos.
7. Conclusões e recomendações: interpretação dos resultados e definição de parâmetros ótimos para melhoria do processo.

Assim, o propósito de um experimento é sempre empírico e orientado ao aprimoramento do conhecimento técnico, em que alterações propositas são feitas nas variáveis de entrada, de modo que se possam avaliar as possíveis alterações sofridas pela variável resposta, como também as razões dessas alterações (WERKEMA, 1996).

Figura 1. Modelo geral de um processo ou sistema.



Fonte: MONTGOMERY, 2005.

Ainda, para Montgomery, o DOE distingue dois grandes tipos de experimentos: sob condições controladas e não controladas. Nos primeiros, típicos à laboratórios, os fatores de entrada podem ser ajustados conforme um plano definido. Já os experimentos sob condições não controladas — os chamados testes de campo — ocorrem em ambientes onde o controle das variáveis é limitado por fatores físicos, econômicos ou éticos.

Além disso, quando os fatores sob investigação apresentam variabilidade, é necessário realizar replicações que permitam quantificar a variabilidade e aumentar a confiabilidade dos resultados e modelos gerados, como expressa Taguchi et al. (2005) ao relatar que o conteúdo do tradicional projeto de experimento consiste primariamente de caminhos para expressar a variação individual e caminhos para separar tais variações.

Portanto, o DOE é uma metodologia de engenharia aplicada, que alia rigor científico, estruturação e eficiência, integrando princípios de planejamento e análise

quantitativa para o controle e otimização de processos complexos. Sua aplicação é especialmente relevante em contextos industriais, como na previsão do tempo de cocção de alimentos, em que o controle de variáveis críticas — como temperatura, umidade e peso — contribui para a padronização do produto, a redução de desperdícios e o aumento da eficiência operacional.

2.1.2 Transferência de Calor

A transferência de calor é um dos fenômenos fundamentais no estudo da termodinâmica e está presente em grande parte dos processos industriais e culinários. Segundo Catunda (2022), “transferência de calor (ou calor) é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura”. Em outras palavras, o calor não é uma substância que um corpo “possui”, mas uma forma de energia que se move de um ponto a outro sempre que há diferença de temperatura entre dois sistemas.

A temperatura, por sua vez, é a grandeza física que expressa o estado térmico de um corpo, sendo diretamente relacionada ao grau de agitação de suas partículas. Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, eles apresentam a mesma temperatura, e não ocorre mais troca de energia entre eles.

Enquanto houver diferença de temperatura, ocorre o fluxo de energia térmica — o calor — que se transfere espontaneamente do corpo mais quente para o mais frio. Essa transferência nunca ocorre no sentido inverso de forma espontânea, como afirma Catunda (2022): “é impossível para qualquer sistema operar de maneira que o único efeito seja uma transferência de energia sob a forma de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente”.

Do ponto de vista conceitual, o calor é uma forma de energia em trânsito, isto é, ele depende de um processo. Essa ideia é reforçada por Ribera (2020), ao explicar que “a transferência de calor ocorre sempre que há uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios”. O autor ainda define o gradiente de temperatura como a “variação de temperatura no espaço”, um vetor que aponta na direção de maior crescimento do campo escalar, determinando, portanto, o sentido e a intensidade da transferência de calor.

No contexto da cocção de alimentos, essa dinâmica é essencial para prever tempos e condições ideais de preparo, assegurando que o calor se distribua de forma eficiente, resultando em produtos uniformemente cozidos e com qualidade sensorial e nutricional preservada.

2.2 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada de modo a garantir a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos, possibilitando que outros pesquisadores possam replicar o estudo sob as mesmas condições.

2.2.1 Materiais e Equipamentos

Os experimentos serão conduzidos utilizando um forno industrial da marca Prática, equipados com o sistema Ventless e filtro conversor catalítico, que dispensam a exaustão e facilitam a higienização do equipamento.

Figura 2. Speed Ovens



Fonte: Site Prática Fornos, 2025.

Os alimentos escolhidos para análise serão definidos com base em critérios de relevância tecnológica, frequência de uso em aplicações industriais e viabilidade de medição do tempo de cocção. Cada produto será submetido a testes repetidos, conforme o planejamento experimental estabelecido, assegurando representatividade estatística.

Instrumentos de medição, como termopares e cronômetros digitais de alta precisão serão utilizados para monitorar o comportamento térmico durante o processo de cocção.

2.2.2 Procedimentos Experimentais

O delineamento dos experimentos seguirá os princípios do Design of Experiments (DOE), metodologia que possibilita compreender quantitativamente a relação entre variáveis de entrada e respostas observadas. Essa abordagem permite otimizar o número de ensaios experimentais, reduzindo recursos e tempo sem comprometer a precisão dos resultados.

Inicialmente, será realizada uma análise das variáveis de controle do forno, a partir dos manuais técnicos da Prática. Com base nessas informações, serão definidos os fatores experimentais, tais como temperatura de cocção, tempo programado e tipo de alimento, bem como seus níveis de variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se que os resultados demonstrem a viabilidade da aplicação do Design of Experiments (DOE) como ferramenta eficaz para a previsão do tempo de cocção de alimentos em fornos industriais da empresa PRÁTICA. Buscando a redução de variabilidade nos processos industriais, oferecendo uma base metodológica sólida para tomadas de decisão. Com isso, o estudo poderá indicar caminhos para o aprimoramento do desempenho operacional dos fornos e para a ampliação da confiabilidade das informações fornecidas aos clientes da empresa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma mais ampla, os resultados esperados visam demonstrar como a integração entre engenharia de produção, estatística aplicada e tecnologia de alimentos pode gerar conhecimento prático e aplicável, fortalecendo a cultura de inovação e qualidade na indústria.

AGRADECIMENTOS



IEPG SUMMIT'25

*Pensando o futuro com inteligência
artificial e consciência social*

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio institucional e financeiro, que torna possível a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CATUNDA, C. Fenômenos de Transporte GMEC 7007: Transferência de Calor. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2022.

MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 6th ed. Arizona: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

NETO, B. B. SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos. Campinas, SP: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 2007.

RIBERA, R. L. Fundamentos de Fenômenos de Transporte: Transferência de Calor. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2020.

ROWLANDS, H.; ANTONY, F. Application of design of experiments to a spot welding process. Assembly Automation, v. 23, n. 3, p. 273–279, 2003.

TAGUCHI, G.; CHOWDHURY, S.; WU, Y. Taguchi's quality engineering handbook. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

WERKEMA, M. C. C. Planejamento e análise de experimentos: como identificar, avaliar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.