

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM PARA ABACATES PARA PROCESSOS DE TRANSPORTE E VENDA: INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, TRIZ E QFD PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Bruno Veloso de Carvalho Mendes – brunovcm99@unifei.edu.br
Gabriela Barros Gonçalves de Souza – d2020021683@unifei.edu.br
Gustavo Aquino Neves Baxhix – gutybax@gmail.com

Palavras-chave: Abacate; embalagem, QFD, qualidade, capacidade processo.

1. INTRODUÇÃO

O abacate consolidou-se como um dos alimentos funcionais mais relevantes no mercado brasileiro e internacional. O Brasil figura entre os maiores produtores globais, sendo o 7º no ranking mundial e responsável por cerca de 4% da colheita global em 2023. A produção nacional de abacate atingiu 301 mil toneladas em 2021, ocupando cerca de 18,1 mil hectares, com uma forte concentração nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Espírito Santo.

O mercado externo tem apresentado uma curva de crescimento notável: em uma década, as exportações brasileiras de abacate saltaram 432% em volume e 452% em valor, atingindo 26,2 mil toneladas e uma receita de US\$ 39 milhões em 2023. No entanto, o país ainda mantém uma participação modesta no comércio internacional (18º maior exportador), indicando um vasto potencial de expansão.

Para Kader, Ben-Arie e Philosoph-Hadas (2001), a qualidade de frutos e vegetais é uma combinação de atributos: aparência visual (frescura, cor, defeitos e doenças); textura (firmeza, suculência e integridade dos tecidos); gosto (sabor e cheiro); valor nutritivo (teor de vitaminas, minerais e fibras); segurança (ausência de resíduos químicos e contaminação microbiana). Utiliza-se o Gemini® para gerar estes atributos aplicados à maçã, sendo os resultados descritos na Figura 1.

Figura 1 – Qualidade do abacate.



Fonte: Autores.

Apesar dos dados promissores, a cadeia produtiva enfrenta desafios que comprometem a qualidade final, especialmente na colheita, manuseio e transporte. O abacate, sendo um fruto climatérico e sensível, é suscetível a danos mecânicos e à maturação acelerada. No varejo, as perdas no pós-colheita podem chegar a até 22,67% em pontos de comercialização.

2. DESENVOLVIMENTO

A integração da Inteligência Artificial (IA), incluindo a subutilização da IA em testes de conceito, o foco limitado em soluções integrativas de IA que abrangem múltiplas fases do DNP e a ausência de estruturas sistemáticas para a gestão de produtos orientada por IA (Witkowski e Wodecki, 2025). Neste sentido, este trabalho busca desenvolver conceitos via IA que potencializem a redução de perdas ocasionadas por deficiências na embalagem de maçãs, com foco no manuseio e armazenamento no ponto de venda.

Atualmente, o abacate não tem uma embalagem específica para transporte e venda. Nos mercados comumente vemos o produto em display sem nenhum tipo de embalagem.

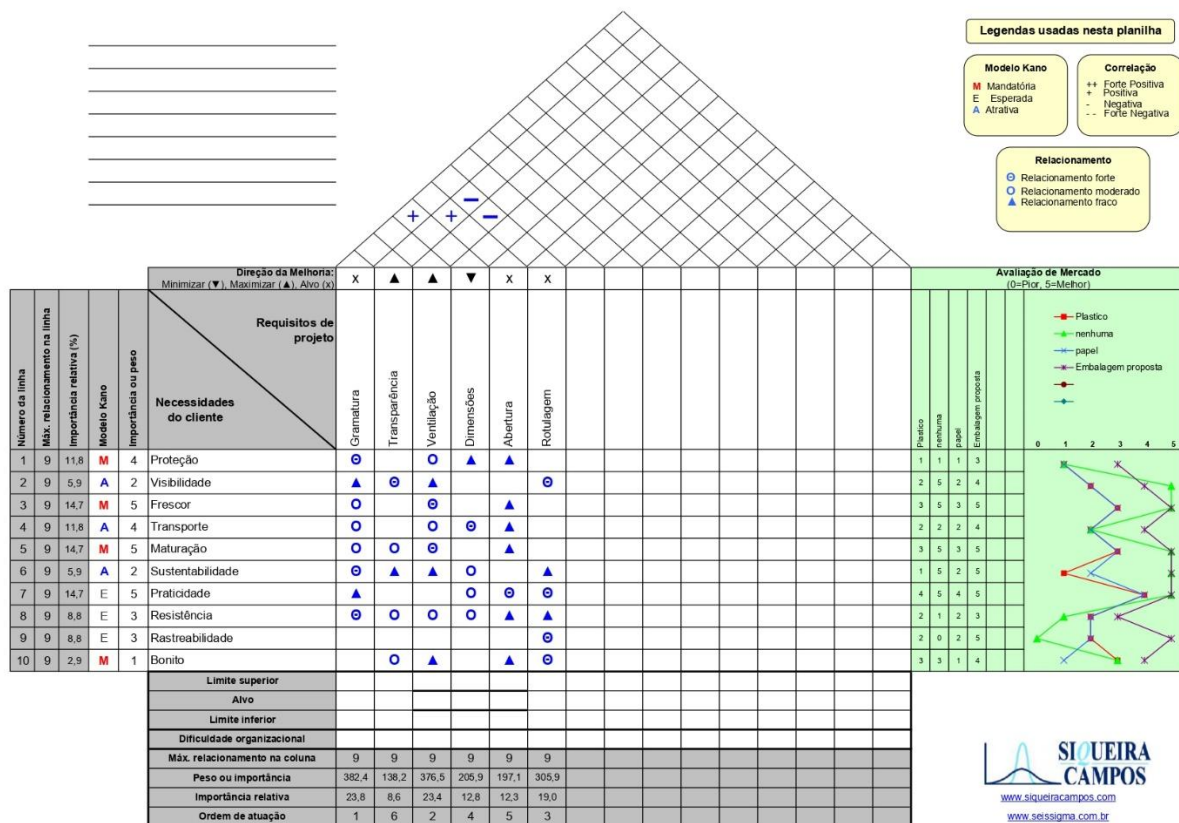
O método QFD (Quality Function Deployment), em especial a matriz da Casa da Qualidade, traduz as necessidades dos clientes em requisitos de projeto. A Casa da Qualidade também identifica as contradições entre os requisitos de projeto, potencializando uma análise sistemática baseada na ferramenta TRIZ (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch). O uso do QFD e da TRIZ potencializa soluções inovadoras que atendam aos requisitos de projeto priorizados, bem como às contradições (Meryeme e Brahim, 2023).

Tendo como objeto de estudo a embalagem do abacate para transporte e vendas, buscando atender aos atributos que caracterizam um abacate de qualidade (Figura 1). Devido ao conhecimento técnico limitado da equipe em relação à embalagens existentes de abacates, utilizou-se as recomendações de Witkowski e Wodecki (2025) para aplicação da IA na geração de conceitos de produto, integrado à proposta de Meryeme e Brahim (2023) para identificação de requisitos de projetos e contradições por meio da Casa da Qualidade (Matriz I) do QFD.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utiliza-se o Gemini® para gerar e priorizar as necessidades dos clientes quanto às embalagens utilizadas nas maçãs nos pontos de venda. Os resultados foram submetidos à análise de especialista, que validou as necessidades dos clientes. Posteriormente, foi elaborada pelos autores a Matriz I do QFD (Figura 3).

Figura 3 – Matriz QFD Casa da Qualidade para embalagem do abacate (Matriz I).



Fonte: Autores.

A análise da Matriz I permite identificar a priorização dos requisitos de projetos e suas contradições. Estes resultados foram utilizados no Gemini®, tendo como prompt: “desenvolva uma imagem de embalagem para maçã utilizada no ponto de venda, considerando a gramatura (382), transparência da embalagem(136), Ventilação (376), dimensões (206) e as contradições entre gramatura x transparência e transparência x rotulagem.”

Figura 4 – Concepções gerada pelo Gemini ® para a embalagem do abacate.



Fonte: Autores.

Esta concepção foca na proteção individual e na interação tátil do cliente, com uma abordagem leve e de baixo custo. A embalagem é um invólucro protetor que permite ao consumidor sentir o fruto, com destaque:

- **Materiais e Proteção:** A embalagem é feita de uma rede protetora de celulose moldada ou papel Kraft reciclado, que é leve e absorve impactos, envolvendo o abacate para amortecer choques.
- **Design e Funcionalidade:** O design minimalista envolve a maior parte do abacate, deixando partes expostas para que o cliente toque na casca e avalie a maturação. A embalagem é leve e ocupa pouco espaço.
- **Rede Protetora Adaptável:** A rede molda-se ao formato do abacate, criando uma "bolha de ar" protetora, semelhante ao isopor, mas biodegradável.
- **Rótulo Lateral Simplificado:** Um pequeno rótulo adesivo contém a marca e o código QR, focando na funcionalidade e no custo, sem grande apelo visual.

A concepção da embalagem proposta resultante é:

- Reduzir custos e otimizar logística com material leve e baixo custo de produção.
- Proteger o fruto absorvendo impactos.
- Melhorar a experiência do cliente com avaliação tátil.
- Reforçar a sustentabilidade com materiais reciclados.

As concepções foram aprimoradas até atingir a descrição ideal da embalagem, validadas por um gerente de supermercado.

Para a avaliação da capacidade dimensional da embalagem proposta, foi selecionado o parâmetro altura do abacate, medido em centímetros. Foram realizadas 125 medições de diferentes frutos no hortifruti selecionado, a fim de verificar a variação dimensional e o grau de atendimento aos limites de especificação definidos para o projeto.

A altura média obtida foi de 12,302 cm, com desvio padrão amostral de 2,85 cm. Como limites de especificação, consideraram-se o limite inferior (LSL) de 7,447 cm e o limite superior (USL) de 16,597 cm, baseados nas dimensões médias observadas para frutos de tamanho comercial. Com esses valores, foram calculados os índices de capacidade do processo:

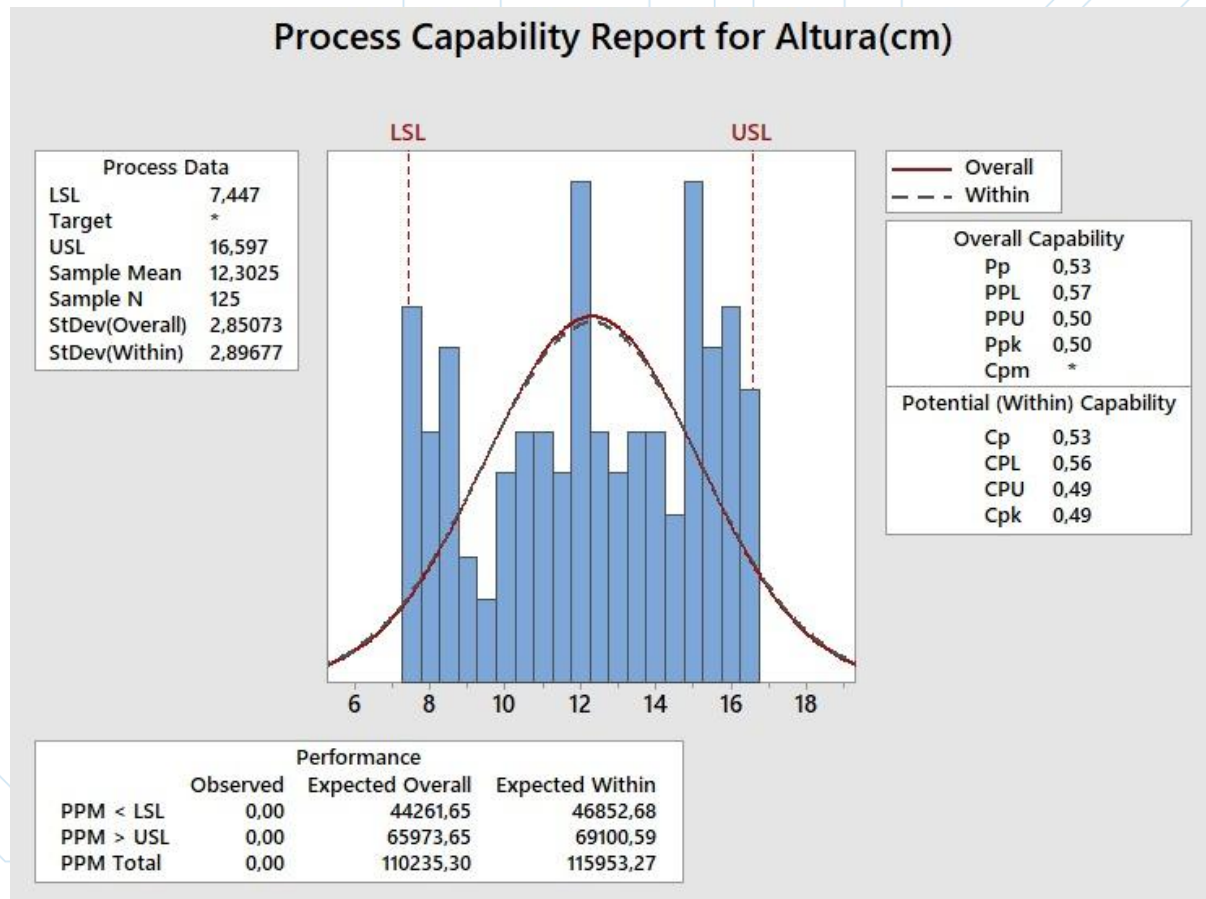
- $C_p = 0,5349$
- $C_{pk} = 0,5677$

O índice C_p indica que a variação do processo é superior à amplitude permitida pelas especificações, ou seja, o processo apresenta baixa capacidade de atender consistentemente aos limites dimensionais definidos. Já o C_{pk} , que avalia simultaneamente a dispersão e o centramento do processo, mostra que a distribuição das alturas está ligeiramente deslocada em relação à média teórica (11,337 cm).

A Figura 5 apresenta o gráfico de capacidade do processo (C_{pk}), no qual observa-se a distribuição das medições em torno da média amostral e dos limites de especificação. Nota-se que parte dos valores ultrapassa os limites, o que reforça o diagnóstico de processo não capaz (C_p e $C_{pk} < 1$).

Em termos práticos, isso evidencia que há alta variabilidade entre as dimensões dos abacates, o que reforça a importância de a embalagem proposta oferecer flexibilidade dimensional e capacidade de absorção de impactos, de forma a acomodar frutos de tamanhos variados sem comprometer a proteção e a eficiência logística.

Figura 5 – Capacidade do processo do parâmetro ‘altura’ considerando as medidas existentes do abacate



Fonte: Autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a aplicação integrada dos fundamentos teóricos das disciplinas de Engenharia do Produto e Qualidade. Por meio de uma metodologia estruturada, foi possível propor uma solução de embalagem verdadeiramente inovadora para o abacate, focada em proteção, eficiência logística e experiência do consumidor.

As principais conclusões e contribuições do trabalho são:

- Solução Tátil e Minimalista: A concepção final consiste em uma rede protetora individual de celulose moldada fina ou papel Kraft reciclado. Este *design* reduz a embalagem ao essencial, permitindo que o cliente avalie a maturação do

fruto pelo toque direto na casca, uma funcionalidade eliminada nas soluções tradicionais.

- **Redução de Perdas e Eficiência Logística:** A rede protetora é projetada para se moldar ao fruto, criando uma "bolha de ar" que absorve choques e previne danos por compressão ou atrito, as principais causas de perdas no pós-colheita. O material extremamente leve e o baixo volume da embalagem otimizam significativamente os custos de transporte e produção.
- **Sustentabilidade e Custo Competitivo:** O projeto cumpriu o requisito de sustentabilidade ao empregar celulose ou papel Kraft reciclado e biodegradável. Ao focar em um invólucro protetor de baixo custo, a embalagem mantém a acessibilidade do produto no ponto de venda.
- **Metodologia Híbrida:** A integração da Inteligência Artificial (o Gemini®) com as ferramentas de Engenharia da Qualidade (QFD e TRIZ) foi fundamental. O Gemini® gerou os modelos icônicos, que foram subsequentemente aprimorados e validados pelo QFD para priorizar a proteção individual e o baixo custo, culminando na solução ideal validada por um especialista (gerente de supermercado).

Portanto, este trabalho contribui de forma específica para o avanço no design de embalagens de hortifrúti. A solução de rede protetora para o abacate oferece um modelo que equilibra proteção física, sustentabilidade, interatividade tátil e um custo de produção otimizado, impactando positivamente toda a cadeia produtiva, desde a logística até a satisfação final do consumidor.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento aos professores do Núcleo de Otimização da Manufatura e Tecnologia da Inovação (NOMATI): Anderson Paulo de Paiva, Juliana Helena Daroz Gaudêncio, Carlos Henrique Pereira Mello e Carlos Eduardo Sanches da Silva.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS (ABRAFRUTAS). Cresce produção de abacate no Brasil. **ABRAFRUTAS**, 7 ago. 2023. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/08/cresce-producao-de-abacate-no-brasil/>. Acesso em: 17/10/2025. *Dados citados: Produção de 301 mil toneladas em 2021; 18,1 mil hectares; crescimento de 38,59% entre 2017 e 2021.*

KADER, A. A., BEN-ARIE, R. and PHILOSOPH-HADAS, S. (2001). Quality assurance of harvested horticultural perishables. **Proceedings** of the Fourth International Conference on Postharvest Science. Acta-Horticulturae, 553 (1) 51-55.

MERYEME, Bououchma; BRAHIM, Herrou. Big data and AI-driven product design: a survey. **Applied Sciences**, v. 13, n. 16, p. 9433, 2023.

SOARES, A. G.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTI, L. L. Y.; MOTA, L. C. do C.; FREIRE JUNIOR, M.; FONSECA, M. J. de O.; BRITO, G. F. da C.. Desenvolvimento de embalagens valorizáveis para o acondicionamento de frutas e hortaliças. **Anais II Simpósio sobre Inovação e Criatividade Científica na Embrapa**, Brasília, 28 a 30 de abril 2010.

SPRAY, Alan. Securing crop supply through whole crop purchasing. Product Sustainability **Forum**, UNEP, Montreal, Canadá, 2013.

WITKOWSKI, Aron; WODECKI, Andrzej. Where does AI play a major role in the new product development and product management process? **Management Review Quarterly**, p. 1-38, 2025.