

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM PARA TOMATES NO TRANSPORTE: INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, TRIZ E QFD PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Aphonso Cavenaghi Esperança - aphonsoesperanca@gmail.com
Beatriz Paiva Ribeiro - d2022005099@unifei.edu.br
Felipe Carezia Castelhana - d2023006386@unifei.edu.br
João Victor da Silva Nosé - d2023005262@unifei.edu.br
Laryssa Souto Goulart - goulartlaryssa6@gmail.com
Luis Gustavo Drumond Bittar - d2023008569@unifei.edu.br
Manuela Carvalho Leonel - manuelaclleonel@gmail.com

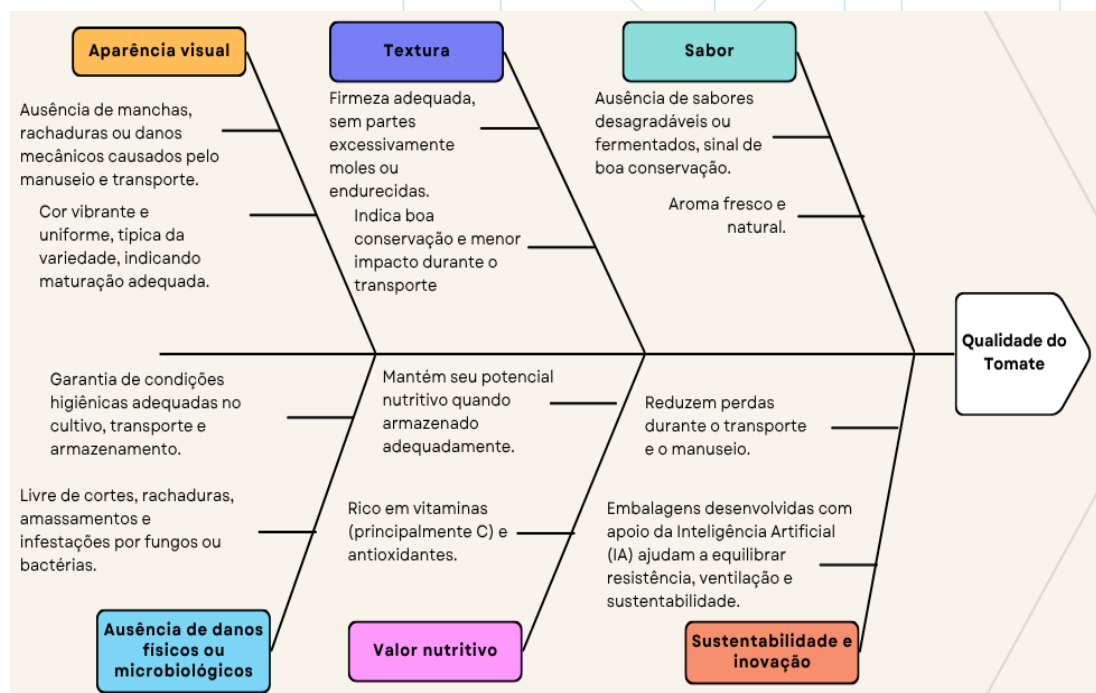
Palavras-chave: tomate; embalagem, QFD, qualidade, capacidade processo.

1. INTRODUÇÃO

O tomate é um dos hortifrutis mais consumidos no Brasil, tanto in natura quanto em conservas. Apesar da aceitação no mercado, é um alimento altamente perecível, sujeito a perdas significativas na cadeia produtiva. A produção nacional está concentrada no Sudeste e Centro-Oeste, especialmente em Goiás, São Paulo e Minas Gerais, com safra entre setembro e dezembro, quando há maior oferta e redução de preços.

As principais causas de perda estão relacionadas a transporte e manuseio inadequados, resultando em amassamentos e podridão. Além disso, as embalagens tradicionais, como bandejas plásticas, não oferecem proteção suficiente, comprometendo a durabilidade do produto e aumentando o desperdício. A qualidade do tomate é crucial para a satisfação do consumidor, pois a aparência e a firmeza impactam seu valor comercial e o volume de descarte (Figura 1).

Figura 1 – Qualidade do tomate.



Fonte: Adaptado de Kader, Ben-Arie e Philosoph-Hadas (2001).

2. DESENVOLVIMENTO

A qualidade do tomate depende da preservação de atributos como cor, firmeza e sabor, além da ausência de danos (KADER; BEN-ARIE; PHILOSOPH-HADAS, 2001). Por ser altamente perecível, o tomate pode sofrer perdas de até 30% durante o transporte e manuseio (EMBRAPA, 2022). O acondicionamento inadequado, como o uso de embalagens convencionais, contribui para esse desperdício, favorecendo amassamentos e deterioração (SOARES et al., 2010).

O desenvolvimento de novas embalagens com apoio da Inteligência Artificial (IA) surge como alternativa para reduzir perdas e melhorar o desempenho logístico. A IA gera soluções que equilibram resistência, ventilação e sustentabilidade (WITKOWSKI; WODECKI, 2025). O método QFD (Quality Function Deployment) foi utilizado para conectar as expectativas do cliente aos requisitos técnicos da nova embalagem, promovendo um desenvolvimento orientado pela percepção de valor.

A Casa da Qualidade identificou relações entre os requisitos de projeto, servindo como base para a metodologia TRIZ, que potencializa soluções inovadoras ao eliminar conflitos de projeto (MERYEME; BRAHIM, 2023). Neste estudo, analisou-

Com recomendações de Witkowski e Wodecki (2025), a IA foi utilizada para aprimorar conceitos de design, equilibrando parâmetros estruturais e de sustentabilidade. O uso conjunto de QFD, TRIZ e IA permitiu priorizar requisitos críticos, resolver contradições e propor soluções inovadoras, alinhadas à redução de perdas e à conformidade com normas do MAPA/ANVISA (2018).

O modelo de linguagem Gemini® foi usado para estruturar ideias, aprimorar a redação do relatório e realizar pesquisas sobre temas como "normas MAPA para tomate de mesa" e "especificações técnicas PEAD para caixas agrícolas", utilizando a função “deep research” para fontes mais específicas.

[illegible]

O cálculo da importância absoluta de cada requisito de projeto (soma dos produtos das relações pela importância da necessidade) revela um ranking claro. Os três requisitos com maior pontuação, e que devem receber o foco principal da equipe de design, são:

- Resistência à compressão vertical (RP3): obteve a maior pontuação por estar fortemente relacionada a necessidades críticas como “Frutos sem amassados” e “Empilhamento seguro”. A falha neste parâmetro compromete a operação logística e a integridade do produto.
- Área de ventilação (RP2): altamente priorizada devido à relação com “Ventilação adequada” e “Proteção contra umidade”. É essencial para preservar a qualidade fisiológica do fruto e estender sua vida útil.
- Rigidez da parede lateral (RP4): crucial para evitar deformações que geram amassamentos, mantendo a integridade mecânica durante o manuseio e o empilhamento.

A leitura do “telhado” da matriz indica os principais trade-offs de engenharia a resolver. Em especial, observam-se:

- Ventilação (RP2) vs. Resistência (RP3): aumentar as aberturas tende a reduzir a capacidade estrutural; é preciso equilíbrio de geometria e posição das aberturas.
- Rigidez/Resistência (RP4/RP3) vs. Peso (RP5): elevar rigidez e resistência geralmente implica mais material; a meta é atingir desempenho com massa mínima.

Esses trade-offs mostram que não se trata de maximizar cada parâmetro isoladamente, e sim de buscar otimização de design. As principais implicações são:

- Geometria estrutural inteligente: uso de nervuras de reforço, transições suaves e seções otimizadas para atingir metas de resistência e rigidez com o mínimo de material, controlando peso e custo.
- Aberturas de ventilação otimizadas: distribuição, formato e dimensão das aberturas devem ser definidos com apoio de simulação (p.ex., análise de

elementos finitos e, quando pertinente, avaliação de escoamento de ar) para maximizar a circulação sem enfraquecer caminhos críticos de carga.

- Seleção de material e conteúdo reciclado: avaliar Material (RP7) e % de reciclado (RP9) de modo a cumprir metas de sustentabilidade sem degradar o desempenho abaixo dos limites/metras especificadas no projeto.
- Conformidade e identificação: garantir Área para etiqueta/gravação (RP10) suficiente para rastreabilidade e conformidade regulatória, incorporando esse requisito desde o início do design.

Tabela 1 - Concepções gerada pelo GPT-5.0 ® para a embalagem de tomates no transporte do produto.

Modelo icônico da concepção	Descrição
	Esta imagem gerada não destaca as divisórias individuais dentro da caixa separando os tomates.
	Esta imagem gerada não considera a compatibilidade dimensional da embalagem. Além de apresentar alguns defeitos visuais.

Fonte: Autores.

A embalagem proposta é uma caixa modular e reutilizável de PEAD reciclado, com nervuras estruturais, aberturas de ventilação e divisórias internas que protegem os frutos. As fendas laterais, de 3 a 6 mm, correspondem a 15% da área de ventilação, melhorando a troca de ar e reduzindo umidade e danos mecânicos. Em temperatura controlada entre 8 e 12 °C, essa solução mantém os tomates adequados por 7 a 10 dias na logística.

O PEAD reciclado é de baixo custo e oferece alta resistência. Com espessura de 4 mm, a caixa suporta até 300 kg e quedas de até 1 metro. Suas dimensões de 600 × 400 × 250 mm permitem empilhar 5 a 7 unidades sem deformação. O custo por unidade é de R\$ 15 a 18, com vida útil de pelo menos 100 ciclos.

O design facilita a higienização e reduz a contaminação cruzada. As divisórias internas evitam colisões dos frutos durante o transporte. O uso de PEAD reciclado e logística reversa minimiza resíduos e custos de descarte, aumentando a responsabilidade ambiental. Os materiais são compatíveis com alimentos e práticas de limpeza. A descrição da embalagem foi aprimorada a partir de conceitos do GPT-5.0 e validada por especialistas.

Figura 5 - Concepção final gerada pelo GPT-5.0 ® para a embalagem de tomates no transporte.



1. Dimensões principais da caixa (externas)
 - Comprimento: 600 mm
 - Largura: 400 mm
 - Altura total: 250 mm
 - Espessura média das paredes (PEAD reciclado): 4 mm
 - Dimensões internas úteis (aprox.): 570 × 370 × 235 mm
2. Compartimentos internos (divisórias removíveis)
 - Grade 2×2 para proteção dos frutos.
 - Dimensão de cada célula (útil): ~285 × 185 × 220 mm
 - Altura das divisórias: 220 mm, com topo chanfrado para facilitar colocação/retirada.
 - Fixação por encaixe inferior, permitindo uso com ou sem divisórias.
3. Aberturas de ventilação (laterais e inferiores)
 - Fendas oblongas: largura 3–6 mm, cantos arredondados.
 - Distribuição uniforme nas quatro faces e na base.
 - Área de ventilação efetiva: ≈ 15% da superfície lateral.
4. Pegadores e ergonomia
 - Alças ovais nas laterais longas: 120 × 35 mm, bordas arredondadas.
 - Rebaixo anti-eskorregamento na face externa das alças.
 - Bordas superiores com perfil arredondado para conforto no manuseio.
5. Reforços estruturais e travas para empilhamento
 - Nervuras verticais nos cantos e horizontais nas laterais para rigidez.
 - Empilhamento recomendado: 5–7 caixas sem deformação.
 - Carga de compressão vertical alvo: até 300 kg (pilha).

Fonte: Autores.

Analisando-se estatisticamente, o estudo de capacidade do processo (Cpk), foram coletadas e analisadas 125 medições de cada parâmetro, permitindo avaliar a estabilidade e a capacidade do processo em atender as especificações de projeto.

Os dados foram obtidos considerando medições de duas características críticas: cavidade interna da embalagem (diâmetro da célula em mm) e o diâmetro do tomate (hortifruti).

Com base nas orientações do trabalho, as medições foram analisadas através dos índices Cp e Cpk, utilizando as fórmulas:

1. Calculei média $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.
2. Desvio amostral $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$.
3. $Cp = \frac{USL - LSL}{6s}$.
4. $Cpu = \frac{USL - \bar{x}}{3s}$ e $Cpl = \frac{\bar{x} - LSL}{3s}$.
5. $Cpk = \min(Cpu, Cpl)$.

Essas expressões avaliam a dispersão e o centramento do processo em relação aos limites de especificação (USL e LSL).

Tabela 1 - Dados do histograma de qualidade

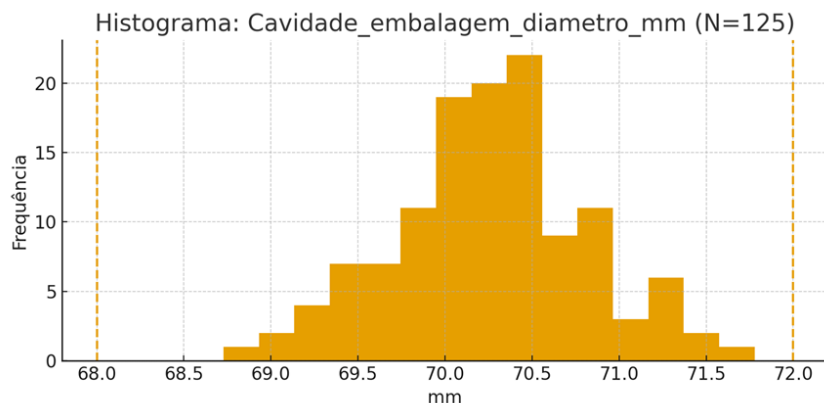
Parâmetro	N	Mean	Std.Dev	LSL	USL	Cp	Cpu	Cpl	Cpk
Diâmetro da cavidade embalagem (mm)	125,0	70,2567	0,5593	68,0	72,0	1,192	1,039	1,345	1,039
Diâmetro tomate(mm)	125,0	69,2157	3,1928	60,0	80,0	1,044	1,1259	0,9621	0,9621

Fonte: Autores.

A tabela 1 apresenta os valores calculados para cada parâmetro analisado. A cavidade da embalagem apresentou um índice de capacidade Cpk de aproximadamente 1,04, indicando que o processo é capaz de atender as especificações com pequena margem de segurança. Já o diâmetro dos tomates apresentou um Cpk de 0,96, demonstrando que o processo possui uma variação maior e está levemente deslocado do centro da especificação, podendo gerar produtos fora de tolerância.

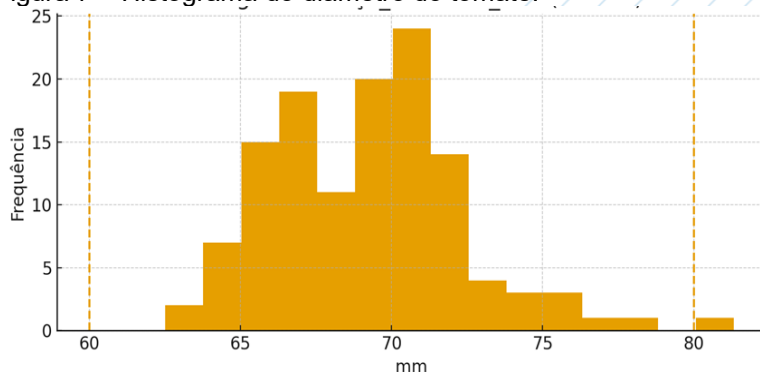
De modo geral, processos com $Cpk \geq 1,33$ são considerados estáveis e plenamente capazes (Figura 6 e 7).

Figura 6 – Histograma da cavidade da embalagem.



Fonte: Autores.

Figura 7 – Histograma do diâmetro do tomate.



Fonte: Autores.

A análise estatística demonstrou que o processo de fabricação da embalagem apresenta capacidade adequada, com Cpk acima de 1,0. Já o parâmetro referente ao diâmetro dos tomates mostra um processo mais variável, cujo Cpk abaixo de 1,0 indica necessidade de ações corretivas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desenvolveu-se uma solução inovadora para a embalagem de tomates durante o transporte e comercialização, focando em qualidade, sustentabilidade e redução de perdas. As principais conclusões incluem:

- **Redução de Perdas:** A embalagem sob medida demonstrou potencial para reduzir perdas na cadeia produtiva do tomate, atacando danos mecânicos que podem chegar a 30% da produção. Com melhor



IEPG SUMMIT'25

Pensando o futuro com inteligência
artificial e consciência social

proteção contra impactos e ventilação, espera-se menor desperdício pós-colheita e maior vida útil dos tomates.

- **Uso de IA e Métodos:** A integração de IA com metodologias de engenharia (QFD e TRIZ) mostrou-se eficaz. O modelo GPT-5.0®, aliado à resolução de problemas, priorizou requisitos críticos dos clientes e gerou soluções inovadoras adaptadas ao transporte e comercialização de tomates, agilizando a concepção de embalagens eficientes.
- **Embalagem Sustentável:** A solução proposta é uma caixa modular reutilizável de PEAD reciclado, com nervuras estruturais e divisórias removíveis. Essa configuração garante integridade e frescura dos tomates por até 7–10 dias, reduzindo danos e condensação. A caixa suporta ~300 kg e é empilhável, apresentando um custo diluído estimado inferior a R\$ 0,20 por uso.
- **Validação e Futuro:** O conceito foi avaliado por especialistas do setor, que consideraram a solução adequada. Testes em escala real e verificações de aceitação no mercado são necessários para validar o desempenho e garantir a viabilidade comercial da solução.

Portanto, este trabalho contribui para o avanço no design de embalagens de tomates, apresentando uma solução que equilibra a qualidade pós-colheita, a funcionalidade logística e a sustentabilidade. Essa inovação tem potencial para impactar positivamente a cadeia produtiva do tomate, reduzindo perdas e aprimorando a eficiência no setor.

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



EMBRAPA. Redução de perdas pós-colheita em tomate de mesa: comparação de embalagens para transporte. **Horticultura Brasileira**, 2022.

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.

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.