

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM INTELIGENTE PARA MORANGOS: INTEGRAÇÃO DE IA, TRIZ E QFD PARA REDUÇÃO DE PERDAS DA PRODUÇÃO AO CONSUMIDOR

Dimitri Fernandes de Oliveira - dimitri.oliveira81@gmail.com

Felipe Palato – d2022013125@unifei.edu.br

Júlia Savi – d2023005253@unifei.edu.br

Letícia Braz Carneiro - d2021032420@unifei.edu.br

Marcus Soares Pereira – d2022011031@unifei.edu.br

Pedro Henrique Mouallem Gonçalves - d2023000542@unifei.edu.br

Rafaela Thatiana Silva - rafaelathatianasilva@gmail.com

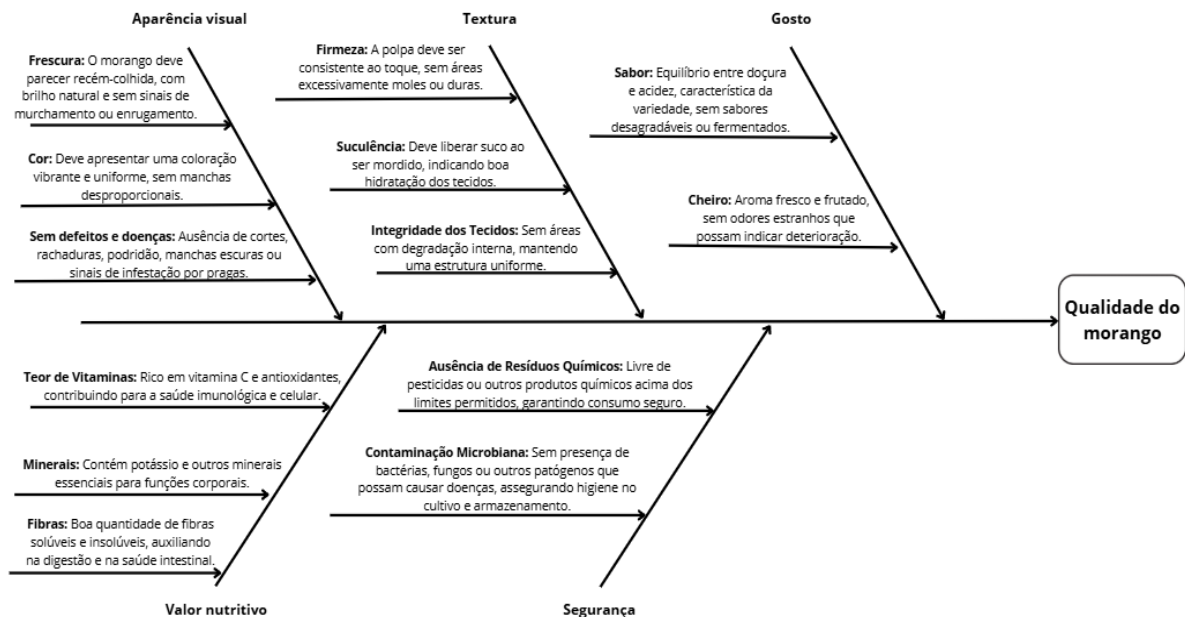
Palavras-chave: morango; embalagem, QFD, qualidade, capacidade de processo.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, nas décadas iniciais do cultivo comercial, importava grande parte dos morangos utilizados, especialmente congelados ou processados. A produção nacional começou a se fortalecer recentemente, com a expansão da área plantada e tecnologias adaptadas ao clima subtropical. Atualmente, quase toda a produção está em Minas Gerais, cuja safra 2024 alcançou cerca de 184,9 mil toneladas em 3,6 mil hectares (EMATER-MG, 2024; Revista da Fruta, 2025; ConectaAgroBrasil, 2025). Essa predominância se deve ao clima ameno e solos bem drenados, que favorecem a qualidade do fruto (Revista da Fruta, 2025). A cadeia produtiva do morango envolve milhares de agricultores familiares e continua em expansão, gerando renda e empregos, além de promover inovação nas práticas agrícolas e de pós-colheita.

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 GPT-5® para gerar estes atributos aplicados ao morango, sendo os resultados descritos na Figura 1.

Figura 1 – Qualidade do morango.



Fonte: Autores.

Os percentuais de perda do morango na pós-colheita concentram-se na armazenagem, com perdas cumulativas de 0,4% a 4,3% ao longo de 13 dias. Perdas acima de 6% são inaceitáveis comercialmente, pois causam deterioração e rejeição do consumidor, tornando necessária uma cadeia fria rigorosa (Castillejo et al., 2025).

Uma forma de reduzir esses desperdícios é o desenvolvimento de embalagens sob medida que evitem danos e considerem aspectos sustentáveis (Soares et al., 2010).

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 potencializam a redução de perdas ocasionadas por deficiências na embalagem de morangos, com foco no manuseio e armazenamento no ponto de venda. Atualmente, existem várias embalagens

utilizadas nos pontos de venda (Figura 2), que foram identificadas por meio de consulta na internet.

Figura 2 – Embalagens atuais utilizadas no morango no ponto de venda.



Fonte: Google Imagens

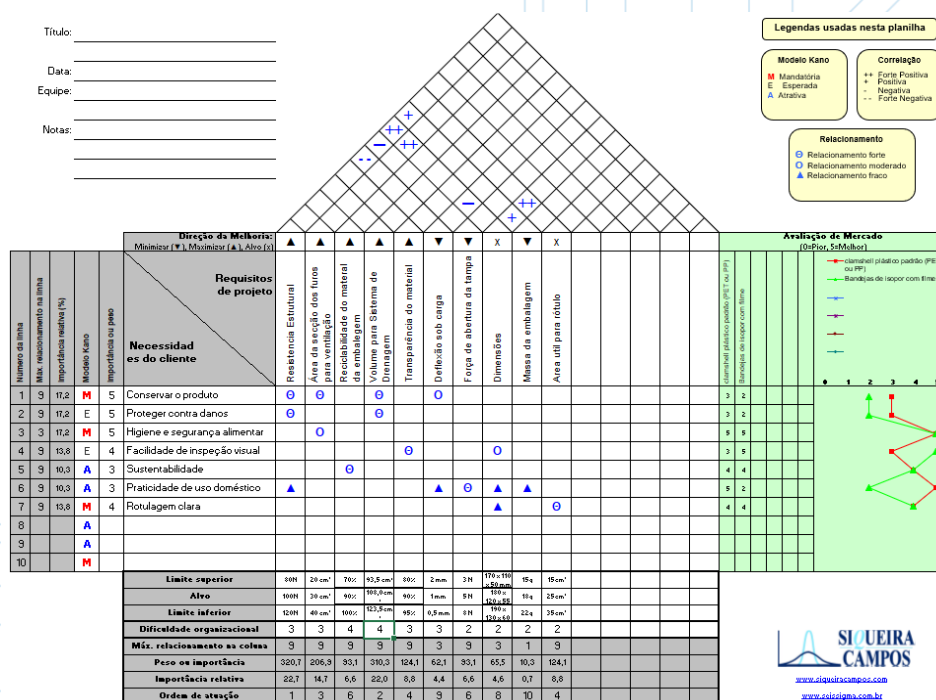
O método QFD (Quality Function Deployment), em especial a matriz da Casa da Qualidade, traduz as necessidades dos clientes em requisitos de projeto. A Casa da Qualidade também identifica as contradições entre os requisitos de projeto, potencializando uma análise sistemática baseada na ferramenta TRIZ (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 de morango desde a produção até a residência do consumidor, buscando atender aos atributos que caracterizam uma embalagem de morango de qualidade (Figura 1). Devido ao conhecimento técnico limitado da equipe em relação à embalagem do morango no ponto de venda, 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 GPT-5® para gerar e priorizar as necessidades dos clientes quanto às embalagens utilizadas nos morangos 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 morango (Matriz I).



Fonte: Autores.

A análise da Matriz I permite identificar a priorização dos requisitos de projetos e suas contradições. Esses resultados foram utilizados no GPT-5.0®, com o seguinte prompt:

“Desenhe uma embalagem primária inovadora para morangos frescos, com capacidade para 250 a 300 gramas. A embalagem deve ser de papelão rígido tratado contra umidade, com design sustentável e moderno. Deve ter canaletas estruturadas para drenagem de líquidos e uma lâmina absorvente removível. Inclua ventilação lateral e superior com microfuros para circulação de ar, sem comprometer a proteção dos frutos. A tampa deve ter uma janela transparente em bioplástico ou PLA, permitindo a inspeção visual, mantendo a estrutura em papelão biodegradável. O

fechamento deve ser seguro, mas com um sistema destacável que facilite a abertura pelo consumidor. A estética deve ser funcional e ecológica, com dimensões compatíveis com caixas secundárias usadas na logística hortifrúti. Utilize um estilo de ilustração realista em 3D, enfatizando a textura do papelão e os detalhes técnicos de ventilação, drenagem, janela e tampa.” (Figura 5).

Figura 5 – Concepção final gerada pelo GPT-5.0 ® para a embalagem de morango.



Fonte: Autores.

A embalagem proposta é uma bandeja modular de papelão rígido tratado contra umidade (400g/m^2 a 450g/m^2), projetada para morangos frescos com capacidade de 250g a 300g. Possui um fundo canaletado que direciona líquidos para drenagem e permite o uso de uma lâmina absorvente removível. A bandeja conta com micro furos laterais e superiores (diâmetro de 2mm a 3mm) em posições estratégicas, favorecendo a circulação de ar sem comprometer a proteção dos frutos.

Um revestimento interno à base de cera natural ou polímero biodegradável de amido reduz a migração de umidade do fruto para o papelão, preservando firmeza e brilho em temperaturas controladas (0°C a 4°C) durante a cadeia de frio. A tampa destacável/encaixável em papelão tratado possui uma janela transparente em PLA biodegradável, permitindo a inspeção visual e comunicação de qualidade no ponto de venda, mantendo a maior parte da estrutura reciclável e de baixo impacto ambiental.

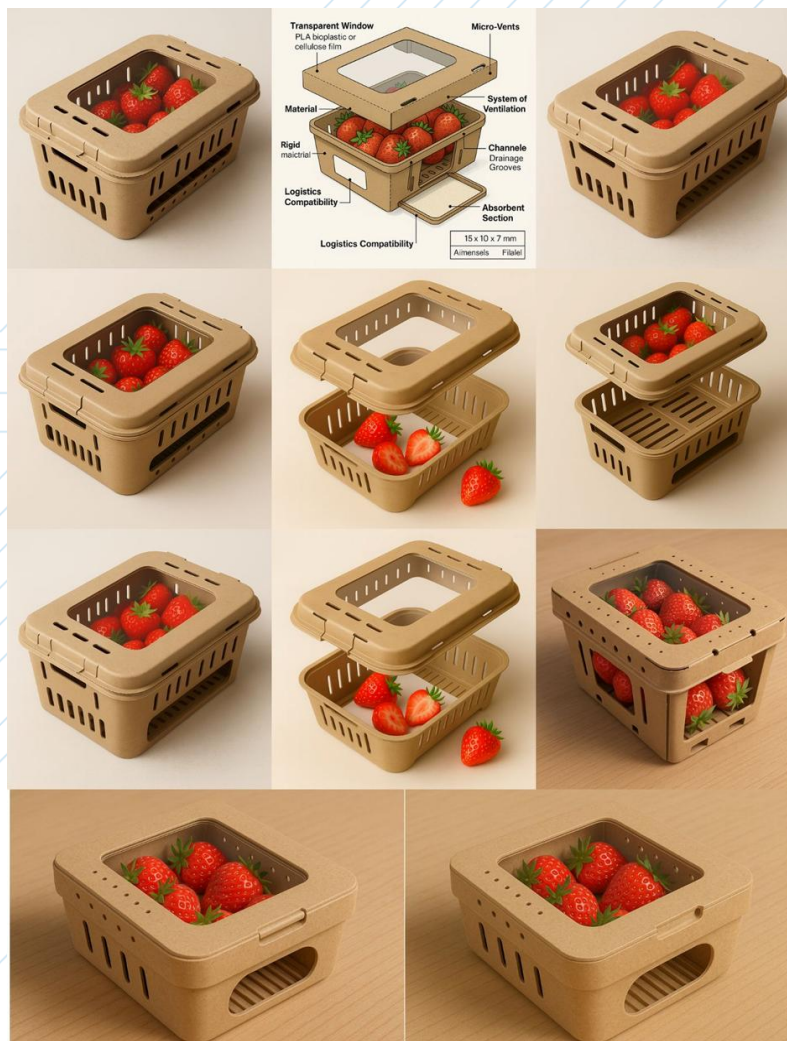
O desenho estrutural prioriza dobras funcionais e reforços perimetrais, dispensando colagens complexas e otimizando a produção. A base é projetada para empilhamento, com travas laterais que evitam deformações durante o manuseio e transporte; as dimensões são compatíveis com caixas secundárias empilháveis do

hortifrúti, assegurando integração logística. O custo final estimado é de R\$0,82 a R\$1,15.

O uso predominante de papelão reciclado e bioplásticos reforça o apelo sustentável e a estética limpa da solução, valorizando a textura do papelão tratado, a clareza da janela e os detalhes técnicos de ventilação, drenagem e tampa destacável.

A figura 6 apresenta imagens geradas durante o processo iterativo até a concepção final da embalagem, ilustrando como a inteligência artificial contribuiu para o refinamento do design, permitindo ajustes visuais progressivos e harmonização estética com aspectos sustentáveis.

Figura 6 – Concepções Intermediárias para Refinamento do *Prompt*



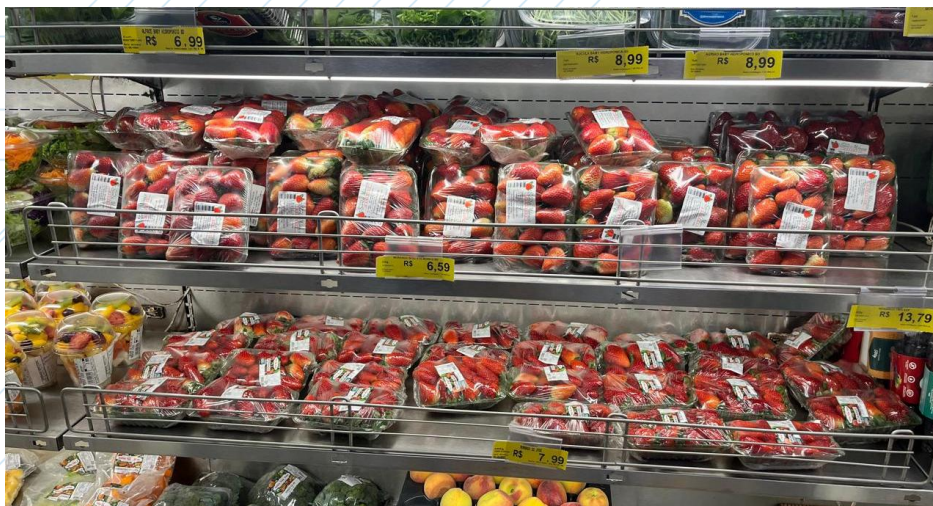
Fonte: Autores.

A análise de capacidade do processo (Cpk) foi realizada com base em 125 amostras de peso de caixas de morango. O Limite Inferior de Especificação (LIE) foi estabelecido em 250 g, um valor que corresponde ao padrão de venda no varejo e à expectativa do consumidor, garantindo assim a conformidade com obrigações comerciais e legais e evitando entregas abaixo do peso informado no rótulo. Por outro lado, o Limite Superior de Especificação (LSE) foi fixado em 300 g, considerando as limitações físicas da embalagem de papelão, que foi projetada para suportar cargas até esse limite sem comprometer sua integridade durante o empilhamento, manuseio ou transporte.

O valor-alvo (Target) foi definido em 275 g, representando o ponto médio entre o LIE e o LSE. Essa escolha visa centralizar a média do processo dentro da faixa especificada, reduzindo simultaneamente o risco de subpeso e sobrepeso, além de equilibrar as variações naturais do processo de enchimento. Para garantir que as medições fossem precisas, a massa da embalagem vazia foi medida em 10 g e subtraída das 125 medições registradas, considerando apenas a massa do conteúdo nas análises e no cálculo das métricas de conformidade.

Essa abordagem é fundamental para assegurar que o peso do conteúdo das caixas de morango esteja dentro dos limites especificados, garantindo a qualidade do produto e a satisfação do consumidor.

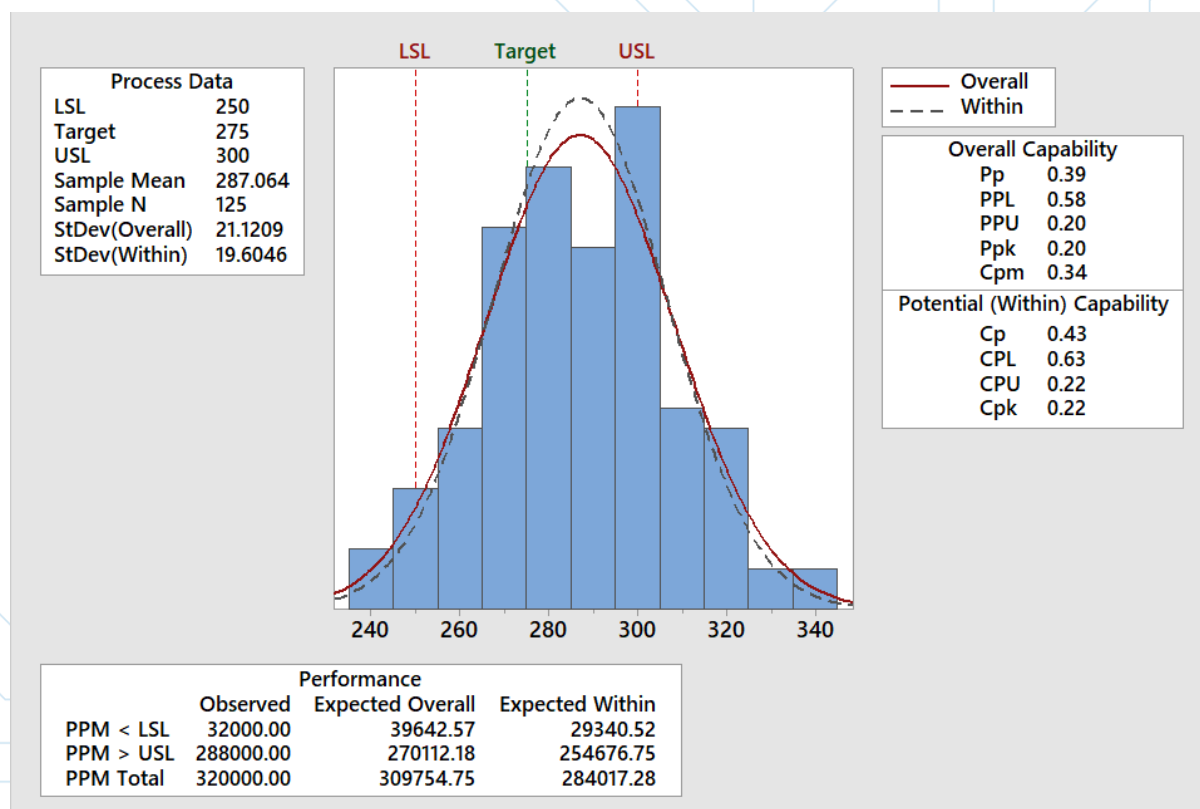
Figura 7 – Amostra utilizada para obtenção das 125 medidas de massa.



Fonte: Autores.

Em suma: LIE = 250 g assegura proteção ao consumidor; LSE = 300 g reflete a capacidade segura da embalagem e o Target = 275 g centraliza o processo e reduz o risco de não conformidade de ambos os lados.

Figura 6 – Capacidade do processo do peso considerando as medidas existentes do morango



Fonte: Autores.

Todos os parâmetros da análise indicam que o processo não é capaz: $C_p = 0,43$ e $C_{pk} = 0,22$ mostram desempenho muito abaixo do aceitável e as estimativas de PPM fora de especificação são extremamente elevadas, indicando alta não conformidade com a capacidade de peso da concepção de 250g a 300 g.

O $C_{pk} = 0,22$ é muito inferior aos valores ideais (regra prática: C_{pk} acima de 1,33 é considerado ótimo), o que significa que o processo não consegue garantir conformidade consistente com as especificações estabelecidas. Na prática, as massas de morango vendidas pela maior parte dos centros comerciais não são concordantes com as especificações de projeto estabelecidas.

Os parâmetros de $C_{pl} = 0,63$ e $C_{pu} = 0,22$ revelam assimetria. O LSL apenas protege o consumidor, amostras inferiores a ele são principalmente questão de

conformidade comercial e não indicam fragilidade da embalagem. O CPU merece uma análise própria, seu baixo valor e o consequente número elevado de valores acima do USL exigem revisão do projeto da embalagem. Uma vez que, na prática, todas as amostras que ultrapassaram o valor de 300g, em um contexto de empacotamento, não caberiam na embalagem proposta neste trabalho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho integrou Seleção do Produto com métodos de engenharia e gestão para desenvolver uma embalagem de morangos que atenda a requisitos de qualidade, sustentabilidade e redução de perdas no ponto de venda. A combinação de QFD e TRIZ, com a ajuda de um ciclo de ideação usando GPT-5®, permitiu priorizar necessidades dos clientes e resolver contradições de projeto.

O resultado é uma bandeja modular de papelão rígido com fundo canaletado para drenagem, micro furos para ventilação, revestimento biodegradável e tampa destacável com janela em PLA. Dimensionada para 250–300 g, a embalagem é compatível com caixas secundárias, priorizando uma fabricação sustentável e custo competitivo.

A análise de capacidade do processo, com 125 amostras, indicou desempenho insuficiente ($C_p=0,43$; $C_{pk}=0,22$). O enchimento não assegura conformidade consistente, o que pode afetar a acomodação dos frutos. Recomenda-se revisão das dimensões, ensaios de empilhamento e testes de prateleira para melhorar ventilação e drenagem. Em síntese, o projeto oferece uma solução viável e responsável, apontando um caminho para capturar o potencial de redução de perdas e melhorar a qualidade dos morangos no varejo.

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

EMATER-MG. **Morangos de qualidade: Emater-MG capacita técnicos em fertirrigação para melhorar produção da fruta.** Belo Horizonte, MG: Emater-MG, 2024. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/agricultura/noticias/morangos-de-qualidade-emater-mg-capacita-tecnicos-em-fertirrigacao-para-melhorar-producao>. Acesso em: 19 out. 2025.

CONECTAAGROBRASIL. **Conheça o maior produtor de morango do Brasil.** Disponível em: <https://conectaagrobrasil.com.br/agronegocio/conheca-o-maior-produtor-de-morango-do-brasil/>. Acesso em: 19 out. 2025.

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.

REVISTA DA FRUTA. **Morangos do Brasil: radiografia completa da produção do morango no país.** São Paulo, SP: Revista da Fruta, 2025. Disponível em: <https://revistadafruta.com.br/noticias-do-pomar/morangos-do-brasil-radiografia-completa-da-producao-do-morango-no-pais%2C454114.jhtml>.

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, 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.



IEPG SUMMIT'25

*Pensando o futuro com inteligência
artificial e consciência social*

CASTILLEJO, N.; MARTÍNEZ-ZAMORA, L.; CANO-LAMADRID, M.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. **Postharvest UV-B and Visible LED Lighting Preserve Quality and Modulate Bioactive Compounds in Strawberries.** Food and Bioprocess Technology, 2025.



Inatel

