

## **2.**

# **Monda de frutos: Técnicas e tecnologias destinadas à automatização do processo**

**Pedro Dinis Gaspar e Marco Lopes**

Universidade da Beira Interior

## **2.**

# **Monda de frutos: Técnicas e tecnologias destinadas à automatização do processo**

**Pedro Dinis Gaspar e Marco Lopes**

Universidade da Beira Interior

### **2.1 Introdução**

Os equipamentos de monda mecanizada presentes na literatura encontram-se geralmente adaptados a pomares de grandes dimensões. Contudo, na região da Beira Interior predominam pomares de média dimensão nos quais se individualizam parcelas de pequena dimensão, ou seja, pequenas áreas correspondentes à mesma cultivar. Assim, seria desejável o aparecimento de um equipamento mais versátil que permitisse uma adaptação rápida à diferença entre cultivares e mesmo

entre plantas da mesma cultivar, especialmente para a monda de frutos já vingados, evitando os riscos inerentes à monda de flores (Simões *et al.*, 2016). Além disso, mesmo em pomares de grandes dimensões a aplicação destes equipamentos mantém-se como uma prática pouco comum. Apesar da utilização destes equipamentos resultar num impacto económico positivo em grande parte dos ensaios decorrentes dos estudos realizados, a consistência com que sucede não se demonstrou ainda suficiente para levar à sua adoção por parte dos produtores (Berlage & Langmo, 1982; Rosa *et al.*, 2008; Miller *et al.*, 2011; Martin-Gorriz *et al.*, 2012). Uma das ações do projeto +Pêssego consistiu no desenvolvimento do protótipo de um dispositivo de monda mecanizada. A metodologia de projeto na qual assentou a orientação técnica e tecnológica assumida, focou-se em colmatar a inconsistência de resultados. Esta estratégia conduziu ao desenvolvimento de um conceito para um dispositivo semi-automatizado, portátil, destinado à monda de frutos, em particular do pêssego, que incorporasse técnicas de sensorização e configurações de atuação inovadoras. Neste capítulo são descritas todas as considerações envolvidas na formulação deste conceito.

## **2.2 Sensorização de frutos e vegetais**

A baixa repetibilidade de resultados que se verifica nos equipamentos de monda mecanizada presentes na literatura (Martin-Gorriz *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2011; Rosa *et al.*, 2008 Berlage & Langmo, 1982), devem-se em grande parte ao facto de estes operarem sem qualquer tipo de informação espacial, isto é, das dimensões dos frutos e da sua localização relativamente à ferramenta. Adicionalmente, os elementos de impacto que provocam o desprendimento dos frutos são dotados de uma flexibilidade significativa, o que torna a sua linha de atuação pouco previsível, sendo que a disposição das árvores e dos frutos apresenta também uma elevada variabilidade. Estes factos conferem a estes dispositivos uma aleatoriedade inerente, e a operação é ainda afetada pelas condicionantes ambientais. Dada a perícia que é necessária para que a execução da monda de frutos resulte num impacto económico positivo, tal como evidenciado por Simões *et al.* (2016), é fácil compreender o porquê de este tipo de sistemas não produzir resultados consistentes.

Para que seja possível conceber dispositivos capazes de exercer uma monda seletiva, com resultados consistentes, é necessário desenvolver sistemas de sensorização que permitam detetar os

frutos, distinguindo-os das folhas e ramos, e utilizar a informação desses sensores para guiar os elementos responsáveis pela remoção dos frutos. Existem vários estudos de revisão que abordam a sensorização de frutos e vegetais, quer para a extração de propriedades externas como de propriedades internas, no campo e em meio industrial (Du & Sun, 2006). O foco atual da investigação para aplicações no campo e árvores de frutos, reside na aplicação de visão computacional (ver fig. 2.1) para operações de colheita. Estas técnicas consistem em capturar imagens com diferentes tipos de câmaras e, com algoritmos computacionais, identificar os objetos de interesse (Jimenez *et al.*, 2000). Contudo, a oclusão dos frutos por parte das folhas e ramos faz com que o grau de deteção seja muitas vezes insuficiente. Adicionalmente, na época de monda, esta dificuldade é ainda acentuada pelo fato da pigmentação dos frutos ser semelhante à das folhas, pelas pequenas dimensões dos frutos, e pela alta densidade de folhagem que se verifica presente em diversas espécies e cultivares. As tecnologias de espectroscopia eletromagnética e ultrassónica, que consistem no uso da informação contida no espectro de ondas refletidas e emitidas por um determinado objeto, são as que mais se aproximam de satisfazer essa necessidade, uma vez que nesta

aplicação em particular permitem avaliar propriedades internas e externas, mecânicas e químicas, dos frutos e folhas (Merzlyak *et al.*, 2002; Lu & Peng, 2006; Awad *et al.*, 2012; Alfatni *et al.*, 2013). Contudo, não são por norma aplicadas em contextos que requeiram uma rápida operação em tempo real e em ambiente não controlado. Não existem até ao momento resultados de investigações aplicadas que demonstrem a resolução do problema da oclusão com este tipo de técnicas e tecnologias. Não obstante, as ondas ultrassónicas têm alguma facilidade em contornar objetos, e algumas frequências do espectro eletromagnético são fortemente transmitidas pelas folhas, quase como se estas não existissem. Apesar disso, estas ondas perdem energia eletromagnética muito rapidamente ao propagarem-se, sendo difícil conceber e implementar sensores para este fim com este tipo de tecnologia, por constrangimentos de energia e espaço disponíveis.



**Figura 2.1** – Ilustração do processo de identificação de frutos por visão computacional: Imagem capturada e frutos isolados (Zhan *et al.*, 2014).

### **2.3 Especificações**

Para que um dispositivo de monda automatizada ou semi-automatizada apresente uma vantagem económica incontestável, para os produtores de diferentes patamares de produção, devem-se satisfazer os seguintes aspetos:

1. Agilizar significativamente o processo face ao método manual, que apresenta uma duração média de 17 a 30 minutos por árvore por trabalhador (Martin *et al.*, 2010; Ferreira, 2016). Além da óbvia redução de mão-de-obra necessária, a redução do período de tempo de execução dos diferentes processos frutícolas é por si só um fator extremamente valioso para os produtores, de um ponto de vista de gestão de recursos e da

capacidade de resposta aos inúmeros fatores de grande imprevisibilidade característicos do setor.

2. Deve garantir um número ótimo de frutos por ramo e uma distribuição uniforme dos mesmos ao longo dos ramos, dando preferência a que permaneçam aqueles de maior calibre. Isto deve ser conseguido com uma alta repetibilidade e parâmetros reguláveis. A seletividade regula diretamente a relação entre o volume de produção e o calibre final dos frutos, pelo que, em conjunto com os custos das operações e os fatores ambientais não controlados, determina se a aplicação da monda de frutos resulta num impacto económico positivo, neutro ou negativo.

3. Reduzido período de retorno. O custo razoável é condição imprescindível à aquisição de dispositivos por parte de produtores pertencentes a diferentes escalões económicos.

4. Conforto, segurança e simplicidade de utilização. O dispositivo deve permitir que um trabalhador, se necessário, o opere ao longo de um dia de trabalho, isto é, cerca de 8 horas. A interface deve ser tão simples quanto possível, sem, no entanto, excluir a possibilidade de conter parâmetros reguláveis. Não deve apresentar potencial para infligir danos significativos às árvores ou pôr em risco a segurança e saúde do utilizador.

## **2.4 Caracterização, variabilidade e condicionamento do meio de operação**

Os ambientes agrícolas são, de forma geral, cenários altamente complexos e destruturados (Kapach *et al.*, 2012). Uma árvore de fruto como meio de operação de um dispositivo automatizado possui três principais fontes de variabilidade: objetos, ambiente e espécies (Bac *et al.*, 2014). Os objetos presentes e constituintes de uma dada árvore tais como frutos, ramos e folhas variam significativamente no seu número e posição, dimensões, geometria, propriedades óticas e mecânicas. Esta variabilidade é minimizada na época da monda de frutos, tanto mais quanto mais próximo da plena floração se realizar a intervenção. Por outro lado, nesta época os frutos apresentam pigmentação predominantemente verde e pequenas dimensões, e a densidade de folhagem em várias cultivares é elevada, o que dificulta a sua diferenciação em termos óticos. Os restantes objetos, ramos e folhas, não devem sofrer qualquer tipo de dano, pelo que, os sistemas automatizados têm de ser capazes de os identificar para que os possam evitar durante as fases de posicionamento e atuação, podendo também estes variar significativamente no que diz respeito à sua geometria, localização e propriedades óticas.

A segunda fonte de variabilidade diz respeito aos diferentes ambientes e sistemas de produção: pomares, estufa, *indoor* e campo aberto. É de destacar que em estufa e em *indoor* os frutos apresentam significativamente menos variabilidade de posição, forma, dimensões e cor. Contudo, o foco do trabalho apresentado neste capítulo é a monda em árvores de fruto, cultivadas em pomar. A condução e poda das árvores apresentam especial relevo para o condicionamento da visibilidade e acessibilidade dos frutos, já que permitem simplificar e normalizar a geometria das árvores.

A terceira fonte de variabilidade relaciona-se com a existência de diferentes cultivares e espécies num mesmo meio de operação. Neste sentido, Bac *et al.* (2014) sugerem o enfoque apenas numa espécie, realizando a sua análise detalhada para que consigam atingir soluções funcionais, antes de se partir para uma generalização do sistema.

## **2.5 Manipulador móvel autónomo**

Um sistema de monda seletiva totalmente automatizado necessita de estruturas articuladas que lhe confirmam a capacidade de remover os frutos necessários, sem danificar a árvore ou os frutos que deverão permanecer na árvore.

Necessita ainda que essa estrutura se possa movimentar, em torno de cada árvore para maximizar o seu alcance, e transitar entre as diferentes árvores. A solução mais óbvia para satisfazer estas necessidades, atendendo ao modelo humano, seria implementar um sistema com base num manipulador robótico equipado com uma garra, montado numa plataforma móvel (Figura 2.2), ou em tratores com condução autónoma, em conjunto com tecnologia de visão computacional.



**Figura 2.2** – Ensaios de campo de um sistema autónomo de colheita de frutos baseado num manipulador robótico (De-An *et al.*, 2011).

Esta solução tem sido a base da maior parte da investigação relativa a sistemas de colheita de frutos automatizada, sendo explorado o uso de diferentes tipos de câmaras (Bac *et al.*, 2014). Uma solução alternativa para o movimento de translação seria a implementação de carris ou calhas guia, no solo ou suspensos. A conjugação de um manipulador robótico deslocado em carris foi já aplicado à colheita de pepinos em estufa Van Henten *et al.* (2003). O tempo requerido para remover um fruto com este tipo de sistemas pode atingir várias dezenas de segundos. Além disso, a implementação com sucesso de algoritmos de navegação de robôs móveis em ambientes como o dos pomares apresenta ainda inúmeras dificuldades por ultrapassar. Devido às dimensões típicas dos manipuladores e ao espaço disponível na zona interior das árvores, os sistemas autónomos de colheita demonstram uma grande tendência para danificar as árvores e frutos. Uma apropriada condução das árvores pode facilitar a implementação e melhorar o desempenho deste tipo de sistemas. De acordo com as mais recentes revisões de literatura relacionadas com robôs de colheita seletiva de frutos, o desempenho destes não tem demonstrado melhorias significativas nas últimas três décadas e nenhum dos sistemas

presentes na literatura atingiu o mercado (Kapach *et al.*, 2012; Bac *et al.*, 2014).

## **2.6. Topologias e mecanismos de atuação**

### **2.6.1 Atuação por contacto direto**

Os manipuladores robóticos industriais usam classicamente algum tipo de garra para a manipulação de objetos. São essas as ferramentas de eleição nos sistemas autónomos de colheita de frutos, sendo inspirados no modelo humano. Com a utilização deste tipo de ferramenta, esta tem de ser cuidadosamente posicionada para que dada a geometria e orientação dos frutos e dos elementos articulados da garra, sejam estes dedos, armações ou cúpulas, articuladas ou de sucção, não se permita o rolamento e queda do fruto após o fecho. No entanto, ao contrário do que acontece na colheita de frutos, o fruto sobre o qual se pretende atuar na monda, não tem de ser manipulado cuidadosamente, já que vai ser descartado. Este facto dispensa a necessidade de se envolver ou fornecer algum tipo de apoio ao fruto, já que o único propósito de um atuador para um dispositivo de monda é separar o fruto alvo do pedúnculo (ou o pedúnculo do ramo), evitando danos à árvore e a outros frutos.

Assim, além de uma energia de tração, torção, corte ou cauterização, pode-se considerar a possibilidade de se recorrer a uma energia (força) de impacto. A tração e a torção são evidentemente desvantajosas face às restantes hipóteses, uma vez que requerem que o fruto seja envolvido pela ferramenta. Esta condição implicaria a abertura e fecho de elementos articulados, que por sua vez, na presença de frutos em posição colateral dificilmente seria implementado sem existir contacto com os restantes frutos. O uso de uma força de impacto apresenta a vantagem de poder ser exercida diretamente sobre os frutos a remover, sem necessidade de os envolver, resultando na separação entre o fruto e o pedúnculo ou mesmo entre o pedúnculo e o ramo, com um número mínimo de movimentos. Além disso, uma força de impacto, se exercida ao longo de uma trajetória retilínea no plano transversal ao segmento do ramo sobre o qual se pretende operar, apresenta a maior capacidade e precisão para agir individualmente sobre cada fruto alvo, evitando danos aos restantes. O recurso a lâminas comuns em que a aresta cortante se localiza no sentido longitudinal, reflete-se na árdua tarefa de conceção de uma trajetória ótima que evite o contacto com outros frutos e ramos. Qualquer linha de ação

curvilínea apresenta geralmente uma probabilidade superior de ocorrência de contactos não desejados.

### **2.6.2. Jato de fluido pressurizado**

A remoção de frutos através da projeção de um jato de fluido pressurizado (ar ou água), ao invés da utilização de qualquer tipo de atuador que requeira um posicionamento próximo dos frutos a remover, apresenta-se como uma potencial abordagem para reduzir os danos associados ao posicionamento dos manipuladores nas regiões interiores das árvores. Esta técnica permite uma extensão do alcance para além dos limites da estrutura sólida da ferramenta. Contudo, para que possa operar é sempre necessário existir uma trajetória sem obstáculos entre o bocal emissor do jato e o fruto a remover. Esta condição seria conseguida através de um manipulador robótico comum, mas provavelmente resultaria num tempo de ciclo de trabalho alargado. Além disso, este tipo de sistema tenderia a apresentar um elevado consumo energético, devido a requerer o uso de uma bomba ou compressor. Este conceito foi já testado para a colheita de citrinos (Whitney & Patterson, 1972), mas de forma não seletiva, sendo implementado com ventiladores axiais de grandes dimensões, acabando por resultar num efeito

semelhante ao obtido através agitadores de ramos e troncos. Byers (1990) descreve a utilização de jatos de água pressurizada para a monda de pêsegos, com as vantagens e desvantagens já enunciadas.

### **2.6.3. Vibração**

Diezma & Rosa (2005) demonstraram que para alguns ramos de pessegueiro, de geometria simples, é possível estimar a massa de frutos num ramo quando agitado, fazendo uso de sensores para analisar as vibrações resultantes. Caso seja encontrado um método válido para todo o tipo de geometria de ramos, a remoção de frutos por agitação de ramos pode-se tornar de facto num método de monda seletiva. Apesar de não permitir controlar a distribuição espacial dos frutos, permitiria controlar a carga final. Uma vez desenvolvidos e validados os modelos numéricos de previsão da carga, seria então necessário desenvolver um mecanismo para a colocação destes sensores (ver fig. 2.3) de forma rápida e autónoma, podendo ser este o principal entrave à sua aplicabilidade.



**Figura 2.3** – Acelerómetro posicionado num ramo de pessegueiro para análise de vibrações (Diezma & Rosa, 2005).

## **2.7. Estrutura radial com múltiplos sensores e atuadores**

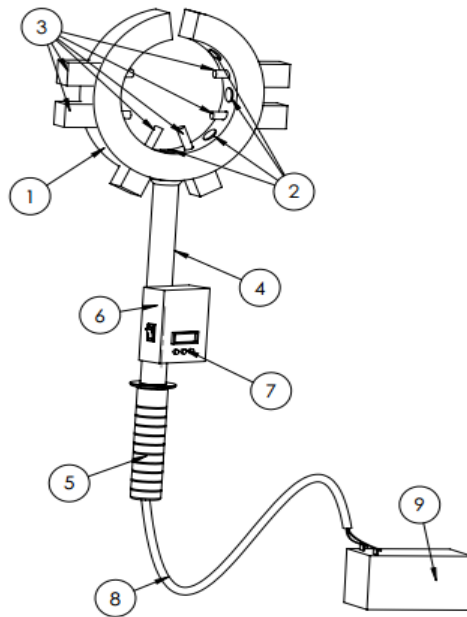
As soluções autónomas de monda de frutos, baseadas em manipulador robótico, requereriam que este se posicionaria junto a cada ramo procedendo a uma remoção de frutos conforme necessário. Dada a posição dos frutos a remover, seria necessário proceder constantemente a ajustes da posição do manipulador para que a ferramenta possuísse um suficiente espaço sem obstáculos e uma orientação propícia à execução da operação pretendida. Uma possível solução para minimizar ou

eliminar a necessidade de ajustes do manipulador ao longo de um ramo, residiria em dotar uma ferramenta com mais do que um atuador com controlo independente. Esta topologia abre também a possibilidade de realização de um sistema semi-automatizado. Bac *et al.* (2014) sugeriu que para o desenvolvimento futuro de dispositivos autónomos de colheita de frutos, dado o baixo grau de sucesso até à data, a colaboração humano-robô (robótica colaborativa) pode levar à melhoria significativa do desempenho destes sistemas.

## **2.8 Modelo conceptual**

Tendo em consideração as observações e análises anteriores, sugere-se que um dispositivo semi-automático de monda remova os frutos através de um simples e rápido movimento de varrimento, executado pelo operador, ao longo de cada ramo, não requerendo que este se preocupe com um posicionamento preciso para cada fruto, ou aglomerados de frutos. O dispositivo é fundamentalmente composto por uma estrutura toroidal, que envolve os ramos, com uma pequena abertura para permitir o seu posicionamento. Nesta estrutura encontram-se posicionado um conjunto de atuadores lineares com uma reduzida área de impacto e um conjunto de sensores, ambos dispostos

radialmente. Durante cada varrimento, os sensores realizam continuamente a detecção e avaliação dos frutos. Um algoritmo de decisão implementado numa unidade de processamento, com parâmetros reguláveis, processa os dados provenientes dos sensores e dita se cada fruto deve ser removido ou não, dando ordem de acionamento ao atuador mais apropriado. O conceito descrito encontra-se ilustrado na fig. 2.4.



**Figura 2.4** – Ilustração descritiva de um protótipo de um dispositivo de monda de frutos semi-automatizada.

Recorrendo à fig. 2.4, o elemento estrutural principal consiste numa estrutura radial (1), que contém uma abertura capaz de permitir o seu posicionamento em torno dos ramos nos quais se pretende atuar, apresentando suficiente robustez para suportar eventuais impactos de ramos da árvore e quedas. A estrutura é constituída por duas partes simétricas, para que permita o posicionamento dos elementos descritos de seguida no seu interior. As duas partes são juntas por parafusos passantes com porcas. Na estrutura radial encontra-se alojado o conjunto de transdutores (2), neste caso a título de exemplo ilustram-se sete transdutores ultrassónicos, dispostos radialmente. O número de transdutores pode ser superior, de modo a conceder ao dispositivo uma maior capacidade de deteção e avaliação dos frutos. Os transdutores poderão ser eletromagnéticos em vez de mecânicos, podendo operar por exemplo, no espectro do infravermelho próximo (Near Infrared - NIR). Na estrutura radial encontra-se também o conjunto de atuadores lineares (3). A título de exemplo ilustram-se seis atuadores eletromecânicos. Dependendo do tipo de fruto, o número, a geometria da disposição e a fonte energética dos atuadores podem ser alterados. Em relação à fonte energética, pode ser elétrica ou pneumática. No entanto, neste último caso crescem elementos

não representados: um compressor com ou sem depósito, filtros de ar, um bloco de electroválvulas direcionais e válvulas de regulação, o que reduz a ergonomia e a eficiência energética do dispositivo, possibilitando no entanto atingir velocidades superiores de atuação. Além disso, os atuadores podem apresentar uma linha de ação retilínea ou curvilínea. É fundamental que a linha de ação para cada atuador seja conhecida, não apresentando uma variabilidade significativa ao longo de sucessivas atuações e que a área abrangida por cada um dos mesmos seja baixa, face à secção dos frutos. Estas condições irão permitir uma atuação sobre frutos individuais sem danificar outros frutos nas imediações, assim como exercer um controlo em malha fechada, com os dados recebidos pelo conjunto de atuadores, resultando numa repetibilidade e consequentemente numa seletividade na remoção dos frutos aceitáveis. A base da estrutura radial está conexas a um cabo de manuseamento (4), para permitir o manuseamento do dispositivo a partir do solo, contendo um punho (5). Outros elementos, como um segundo punho ou pega, poderão ser adicionados de forma a melhorar a ergonomia do dispositivo. Os casos em que a condução das árvores não leve a que a copa fique acessível, podem motivar uma construção que faça uso de um

cabo extensível, aumentando o alcance do dispositivo e a sua manobrabilidade. No cabo de manuseamento está posicionada uma caixa (6) que contém as placas eletrônicas do dispositivo, necessárias para a condução, condicionamento e aquisição do sinal dos transdutores, assim como para o controlo dos atuadores. A caixa aloja também um interface (7) que a título de exemplo se ilustra como sendo constituído por um LCD, três botões de pressão e um interruptor on/off. A localização da caixa e do interface podem ser alterados, dependendo das dimensões das placas de circuito impresso que contém. Na caixa está também ligado o cabo de alimentação (8). A alimentação do dispositivo é realizada através de uma pequena bateria (9) que poderá, para conforto do operador, ser colocada num qualquer tipo de mochila ou bolsa, ou posicionada numa qualquer plataforma no solo (não representados) tendo, neste caso, de ser transportada sempre que o comprimento do cabo de alimentação não permita o seu manuseamento e funcionamento.

## 2.9 Conclusões

A monda manual permanece ainda como sendo a técnica predominante na monda de frutos. As soluções alternativas encontradas na literatura baseiam-se num de dois conceitos: veio rotativo com elementos de impacto flexíveis e dispositivo vibratório, apresentando ambos um carácter não seletivo. Neste capítulo pretendeu-se salientar as dificuldades e restrições inerentes à automatização do processo de monda de frutos face a variabilidade de diversos fatores. Assim, para além de ser apresentada uma breve descrição dessas soluções, são também indicadas as técnicas de sensorização de produtos hortofrutícolas investigadas e aplicadas até à data no campo e em ambiente industrial. Com base nos problemas, possibilidades observadas e o suporte de literatura adicional, sugerem-se possíveis linhas de desenvolvimento de sistemas e configurações de atuação e sensorização, evidenciando as vantagens e os desafios das respetivas implementações. Por fim, é apresentado um modelo conceptual de um dispositivo semi-automatizado portátil destinado à monda de frutos seletiva que congrega as maiores potencialidades identificadas ao nível de sensorização e atuação.

## Referências bibliográficas

- Alfatni, M.S.M., Shariff, A.R.M., Abdullah, M.Z., Marhaban, M.H.B., Saeed, O.M.B. (2013). The application of internal grading system technologies for agricultural products Review. *Journal of Food Engineering*, Vol. 116 nº 3: 703–725.
- Awad, T., Moharram, H., Shaltout, O., Asker, D., Youssef, M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, Vol. 48 nº 2: 410–427.
- Bac, C.W., Henten, E.J., Hemming, J., Edan, Y. (2014). Harvesting Robots for Highvalue Crops: State-of-the-art Review and Challenges Ahead. *Journal of Field Robotics*, Vol. 31 nº 6: 888–911.
- Berlage, A. & Langmo, R. (1982). Machine-vs hand-thinning of peaches. *Transactions of the ASAE*, Vol. 25 nº 3: 538-543.
- Byers, R. (1990). Thin peaches with water. *Amer. Fruit Grower*, Vol. 110 nº 1: 20–21.
- De-An, Z., Jidong, L., Wei, J., Ying, Z., Yu, C. (2011). Design and control of an apple harvesting robot. *Biosystems Engineering*, Vol 110 nº 2: 112–122.
- Diezma, B. & Rosa, U. (2005). Monitoring of fruit removal for mechanical thinning of peaches. *Frutic*, Vol 5: 12–16.
- Du, C.-J. & Sun, D.-W. (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, Vol 72 nº 1: 39–55.
- Ferreira, D. I. R. (2016). Monda mecânica de Flores em Pessegueiro. *Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Castelo Branco.*

- Jimenez, A., Ceres, R., Pons, J. (2000). A survey of computer vision methods for locating fruit on trees. *Transactions of the ASAE*, Vol 43 n° 6: 1911–1920.
- Kapach, K., Barnea, E., Mairon, R., Edan, Y., Ben-Shahar, O. (2012). Computer vision for fruit harvesting robots-state of the art and challenges ahead. *International Journal of Computational Vision and Robotics*, Vol 3 n° 1-2: 4–34.
- Lu, R. & Peng, Y. (2006). Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Engineering*, Vol 93 n° 2: 161–171.
- Martin, B., Torregrosa, A., Brunton, J. G. (2010). Post-bloom thinning of peaches for canning with hand-held mechanical devices. *Scientia horticulturae*, Vol 125 n° 4: 658-665.
- Martin-Gorriz, B., Torregrosa, A., Brunton, J.G. (2012). Post-bloom mechanical thinning for can peaches using a hand-held electrical device. *Scientia Horticulturae*, Vol 144: 179–186.
- Merzlyak, M.N., Chivkunova, O.B., Melø, T., Naqvi, K.R. (2002). Does a leaf absorb radiation in the near infrared (780-900 nm) region? A new approach to quantifying optical reflection, absorption and transmission of leaves. *Photosynthesis Research*, Vol 72 n° 3: 263–270.
- Miller, S.S., Schupp, J.R., Baugher, T.A., Wolford, S.D. (2011). Performance of mechanical thinners for bloom or green fruit thinning in peaches. *HortScience*, Vol 46 n°1: 43–51.
- Nielsen, M., Slaughter, D.C. Gliever, C. (2012). Vision-based 3D peach tree reconstruction for automated blossom thinning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol 8 n° 1: 188–196.

- Schupp, J., Baugher, T.A., Miller, S., Harsh, R. Lesser, K. (2008). Mechanical thinning of peach and apple trees reduces labor input and increases fruit size. *HortTechnology*, Vol 18 nº 4: 660–670.
- Simões, M.P. (2016). Frutificação e monda de frutos. *In* Simões, M.P. (coord). +pêssego – Guia prático da produção. Empresa Diário do Porto, Lda, 214 pp.
- Van Henten, E., Van Tuijl, B. van, Hemming, J., Kornet, J., Bontsema, J., Van Os, E. (2003). Field test of an autonomous cucumber picking robot. *Biosystems Engineering*, Vol 86 nº 3: 305–313.
- Whitney, J. & Patterson, J. (1972). Development of a citrus removal device using oscillating forced air. *Transactions of the ASAE*, Vol 15 nº 5: 849–855.
- Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., Liu, C. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, Vol 62: 326-343.