



## TECNOLOGIA RÁPIDA E NÃO DESTRUTIVA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

O estado de maturação à colheita determina a qualidade e o potencial de conservação dos frutos, influenciando o seu comportamento ao longo do armazenamento e a qualidade com que chega ao mercado. A exigência dos consumidores por frutos de alta qualidade todo o ano torna crucial otimizar o momento da colheita, sendo fundamental o desenvolvimento de tecnologias de apoio à tomada de decisão.

---

Claudia Sánchez, Daniel Garcia e Anabela Eira  
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



---

Os métodos rápidos e não destrutivos para a determinação da qualidade dos frutos são cada vez mais importantes na agricultura e na indústria alimentar. Estas técnicas, que incluem tecnologias como a espectroscopia de visível e infravermelho próximo, a ressonância magnética ou a tomografia, permitem avaliar a qualidade interna e externa dos frutos sem os danificar. Através destas ferramentas, é possível medir parâmetros como o teor de açúcar, a cor da epiderme e a firmeza, o que facilita a seleção e classificação de frutos, mantendo-os intactos para venda ou consumo. Este avanço tecnológico tem

revolucionado a forma como se garante a qualidade dos produtos hortofrutícolas.

A capacidade de avaliar a qualidade de grandes volumes de frutos de forma rápida e precisa é essencial para a tomada de decisões no campo e na cadeia de distribuição. Com informações em tempo real, os produtores podem determinar o momento ideal para a colheita e ajustar as condições de armazenamento, de forma a prolongar a vida útil dos produtos e garantir a sua frescura. Para os distribuidores e retalhistas, a utilização de métodos não destrutivos permite otimizar a logística e a oferta, assegurando que os frutos cheguem ao consumidor no ponto ideal de maturação.

Um dos principais benefícios destes métodos é a sua contribuição para a redução do desperdício alimentar, um problema global significativo. Com a capacidade de identificar de forma precisa os frutos que não estão em condições ideais para o consumo, é possível tomar decisões mais informadas sobre o destino dos produtos. Frutos que não cumpram os padrões estéticos ou de qualidade para

venda podem ser aproveitados noutras indústrias, como a produção de sumos ou compotas, em vez de serem descartados. Assim, não só se evita a perda de alimentos, mas também se aumenta a eficiência económica da produção.

### Importância do estado de maturação à colheita

O estado de maturação dos frutos no momento da colheita está diretamente associado à qualidade e ao poder de conservação dos mesmos<sup>[1]</sup>. É um dos fatores mais importantes que irá determinar o comportamento do fruto durante o período de conservação e, conseqüentemente, a qualidade final do produto que chega ao consumidor. A crescente procura dos mercados por frutos de elevada qualidade, durante todo o ano, implica a otimização do momento de colheita, que deve ser cuidadosamente determinado para cada espécie, variedade e local de cultivo. Assim, o desenvolvimento de tecnologia de apoio à tomada de decisão torna-se essencial. Atualmente, essa decisão é, na maioria dos



**Figura 1** – Métodos convencionais para determinação de parâmetros de qualidade em frutos: firmeza (A), índice de regressão do amido (B) e teor de sólidos solúveis totais (C).



casos, baseada na análise de parâmetros qualitativos dos frutos relacionados com a sua maturação, utilizando métodos destrutivos.

Por exemplo, o teor de sólidos solúveis totais, o índice de regressão do amido e a firmeza são parâmetros amplamente utilizados para a determinação do grau de maturação dos frutos. São determinados em amostras com um número limitado de frutos de cada pomar, fruto a fruto, ou em conjuntos de frutos, mediante métodos-padrão de natureza destrutiva (Figura 1). Estes métodos são geralmente morosos, pouco eficientes, envolvem reagentes e pessoal treinado, e todos requerem destruição dos frutos, o que provoca um grande desperdício. Outro inconveniente é que, por tratar-se de uma amostra reduzida, pode não representar adequadamente a variabilidade presente nas árvores, no pomar ou num lote comercial. Isso pode dificultar a identificação correta do estágio de maturação dos frutos e, por vezes, fornecer resultados inconsistentes para a tomada de decisão<sup>[2]</sup>. Para contornar estes problemas, vários estudos sugerem a utilização de tecnologias não destrutivas para monitorizar em tempo real a maturação das frutas, tanto no campo como durante a conservação e até chegar ao consumidor.

### Tecnologia alternativa aos métodos destrutivos de análise

Nos últimos anos, têm sido estudadas diversas metodologias não destrutivas de análise, alternativas aos métodos convencionais. Entre estas tecnologias podem mencionar-se o uso de colorimetria, espectroscopia no visível e infravermelho próximo (Vis-NIR), fluorescência, imagens espectrais, técnica do nariz eletrónico, tomografia computadorizada, ressonância magnética, técnicas de impulso e vibração acústica, entre outras<sup>[3]</sup>.

Estudos realizados em pomóideas e prunóideas demonstraram que a quantificação da clorofila por meio de técnicas de espectroscopia Vis-NIR apresenta um grande potencial para monitorizar o estado de maturação dos frutos<sup>[1, 4]</sup>. Em maçã, por exemplo, verificou-se que o desenvolvimento e maturação dos frutos estão associados a uma dimi-

nução gradual da quantidade de clorofila presente na epiderme do fruto. Esta variação pode ser avaliada mediante a utilização do DA-Meter, um equipamento portátil (Figura 2) que apresenta uma solução não destrutiva para análise do estado de maturação. O princípio de funcionamento baseia-se na determinação da concentração de clorofila- $\alpha$  na epiderme do fruto pela medição da sua absorvância, apresentando o resultado em forma de índice ( $I_{AD}$  – *Index of Absorvance Difference*). Valores mais elevados de  $I_{AD}$  estão associados a frutos menos maduros e valores mais baixos de  $I_{AD}$  estão associados a frutos mais maduros. Desta forma, com este equipamento, é possível monitorizar o estado de maturação dos frutos ao longo de todo o ciclo, desde o campo até ao consumidor, de maneira prática e eficiente. Recentemente, têm-se multiplicado em



**Figura 2** – DA-Meter®, equipamento portátil que permite uma avaliação rápida e não destrutiva do estado de maturação dos frutos.

diversas espécies e cultivares os estudos que procuram avaliar a relação entre os parâmetros qualitativos associados à maturação e o  $I_{AD}$ .

### Utilização do índice $I_{AD}$ para determinação de atributos qualitativos em maçã

No seguimento desta temática, no Laboratório de Maturação e Pós-colheita do Polo de Inovação em Fruticultura do INIAV (Alcobaça), tem sido avaliado o desempenho do DA-Meter em diferentes cultivares de maçã, com o objetivo de aferir a adequabilidade do  $I_{AD}$  para monitorizar o estado de maturação, bem como avaliar a sua relação com alguns atributos qualitativos dos frutos.

Selecionaram-se cinco cultivares de maçã, 'Gala', 'Golden', 'Granny Smith', 'Fuji' e 'Story' (Figura 3), e efetuou-se um ensaio à colheita e após conservação em atmosfera normal a 1 °C. Em cada momento analisaram-se 75 frutos de cada cultivar. No caso particular da cv 'Story', efetuou-se também um ensaio pré-colheita, que foi iniciado 1 mês antes da colheita e prolongou-se até 30 dias após a mesma. Nesse período, analisou-se a qualidade e o estado de maturação dos frutos em quatro momentos.

A análise do estado de maturação e qualidade de cada fruto consistiu na medição do  $I_{AD}$ , com recurso ao DA-Meter FRM01F (Sinteleia SRL, Itália), e seguidamente na determinação de parâmetros qualitativos através de metodologias convencionais<sup>[5]</sup>. Foi analisada a tonalidade (°Hue) dos frutos, com recurso a um colorímetro, e a firmeza da polpa, através de um penetrómetro. O teor de sólidos solúveis totais (TSS) foi determinado com um refratómetro digital, e os valores expressos em °Brix. A acidez titulável

(AT; % ácido málico) foi determinada por titulação ácido-base e o índice de regressão de amido (IRA) foi determinado segundo a escala e metodologia proposta pelo *Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes* (CTIFL). Finalmente, foi realizado o tratamento estatístico dos dados e ajustou-se ainda um modelo de regressão linear, de forma a ser possível determinar a correlação entre  $I_{AD}$  e os restantes parâmetros qualitativos.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores obtidos para os diferentes parâmetros analisados, determinados através de métodos destrutivos e não destrutivos, para cada uma das variedades estudadas.

A cultivar 'Granny Smith' apresentou à colheita um IRA médio de 4,3, um valor claramente inferior ao das outras quatro cultivares. Isto indica que a cultivar 'Granny Smith' foi colhida numa fase mais precoce da maturação, o que se traduziu num  $I_{AD}$  médio de 1,97, valor significativamente superior ao verificado nas restantes quatro cultivares, assim como também num valor bastante elevado de acidez (AT).

Para valores de IRA muito semelhantes, entre 7,3 e 7,8, as maçãs das variedades 'Golden' e 'Fuji' apresentaram valores de  $I_{AD}$  de 1,33 e 1,26, respetivamente. Já as maçãs 'Gala' e 'Story' tiveram valores de  $I_{AD}$  de 0,30 e 0,29. Assim, parece haver uma tendência para as cultivares com epiderme de tonalidade mais vermelha (°Hue menor), como 'Gala' e 'Story', apresentarem frutos com um  $I_{AD}$  mais baixo. Estes resultados destacam a necessidade de estabelecer escalas de  $I_{AD}$  específicas para cada cultivar de maçã.

Em geral, as observações efetuadas permitiram identificar uma possível relação linear entre  $I_{AD}$  e



'Gala'

'Golden'

'Fuji'

'Story'

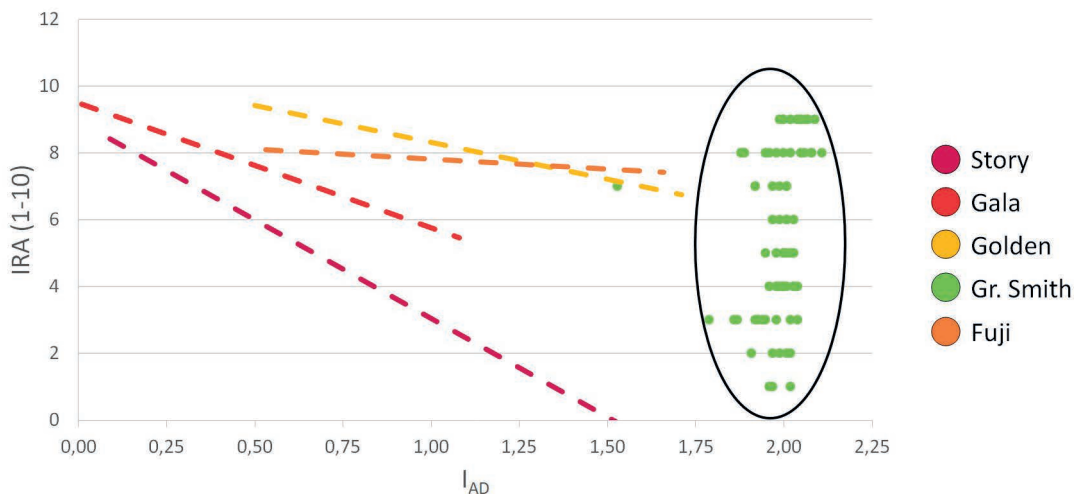
'Reineta'

Figura 3 – Variedades de maçã selecionadas para o estudo.

**Tabela 1 – I<sub>AD</sub> e parâmetros qualitativos dos frutos à colheita (média ± dp)**

cv.	I <sub>AD</sub>	IRA (1-10)	Fir (kg cm <sup>-2</sup> )	TSS (°Brix)	AT (% MA)	Ton (°Hue)
'Gala'	0,30 ± 0,26 c	7,8 ± 1,71 a	7,1 ± 1,09 d	14,5 ± 0,79 c	0,34 ± 0,02 d	41,8 ± 7,54 d
'Golden'	1,33 ± 0,20 b	7,4 ± 0,85 a	6,3 ± 0,35 e	15,5 ± 0,83 b	0,46 ± 0,05 c	107,5 ± 1,67 b
'Granny Smith'	1,97 ± 0,08 a	4,3 ± 1,85 b	8,8 ± 1,18 b	12,5 ± 1,24 d	1,20 ± 0,04 a	113,4 ± 2,41 a
'Fuji'	1,26 ± 0,23 b	7,3 ± 1,34 a	7,6 ± 0,78 c	15,4 ± 0,85 b	0,36 ± 0,03 d	63,4 ± 13,40 c
'Story'	0,29 ± 0,12 c	7,5 ± 0,86 a	10,7 ± 0,88 a	16,6 ± 0,80 a	0,67 ± 0,04 b	30,0 ± 9,27 e

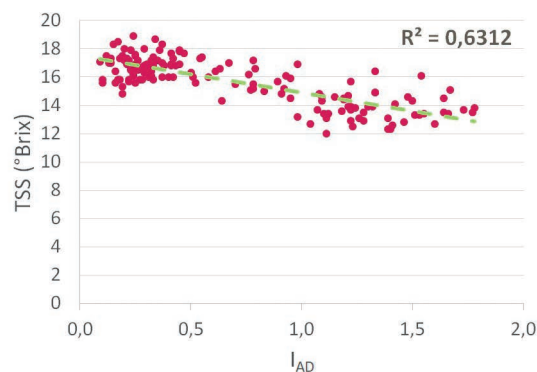
Nota: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre cultivares pelo teste de Tukey HSD para α = 0,05 (n = 50, exceto para AT onde n = 3).



**Figura 4** – Relação entre I<sub>AD</sub> e IRA, nas cinco cultivares estudadas. Linhas de tendência para 'Story', 'Gala', 'Golden' e 'Fuji', e observações para 'Granny Smith' (n=75, exceto para 'Story' onde n=150).

o estado de maturação dos frutos, dado pelo IRA, em quatro das cinco cultivares estudadas – 'Gala', 'Golden', 'Fuji' e 'Story' (Figura 4). Os resultados relativos à cultivar 'Granny Smith', por outro lado, não foram conclusivos, uma vez que diferenças significativas no estado de maturação e nos parâmetros associados não se refletiram numa variação significativa no I<sub>AD</sub> para esta cultivar. A Figura 4 mostra que, de forma geral, o I<sub>AD</sub> dos frutos 'Granny Smith' permanece em torno de 2, independentemente do valor de IRA do fruto.

A cultivar 'Story', por ser aquela onde se analisaram mais frutos e em fases diferentes do período de maturação, foi a que produziu resultados mais conclusivos, mostrando uma relação linear entre I<sub>AD</sub> e parâmetros tais como IRA, tonalidade e TSS (Figuras 4 e 5). Esta modalidade de ensaio será utilizada para completar o estudo nas restantes variedades.



**Figura 5** – Relação entre I<sub>AD</sub> e TSS em maçãs da cv. 'Story' (R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação e n=150).

Os resultados preliminares deste estudo indicam que o DA-Meter pode vir a constituir uma alternativa prática e eficiente aos métodos destrutivos convencionais utilizados para monitorização da qualidade em maçã. Foi possível identificar uma relação linear entre I<sub>AD</sub> e parâmetros associados ao estado

de maturação dos frutos, de forma mais evidente nas cultivares mais vermelhas\* e sendo necessárias escalas de  $I_{AD}$  específicas para cada cultivar.

## Considerações finais

Os métodos rápidos e não destrutivos desempenham um papel crucial numa agricultura mais eficiente, sustentável e orientada para a qualidade. A sua aplicação não só garante um melhor aproveitamento dos recursos, como também oferece vantagens competitivas para os produtores e distribuidores que os utilizam. Numa altura em que a sustentabilidade e a redução do desperdício são prioridades globais, estas tecnologias emergem como ferramentas indispensáveis para garantir que os frutos cheguem ao consumidor com a melhor qualidade possível, contribuindo para um sistema alimentar mais eficiente e sustentável, pelo que é fundamental continuar a investigar nesta área. ☺

## Agradecimentos

À empresa Nutea, pela cedência do DA-Meter® (T.R. Turoni SRL) e a M. Gonçalves e M. Leão (INIAV/ENFVN) pela colheita e cedência de frutos para o estudo.

## Bibliografia

- [1] Gomes, R. et al. (2021). Utilizing the  $I_{AD}$  index to predict 'Rocha' pear quality and physiological disorders after storage. *Acta Horticulturae*, **1303**:461–467.
- [2] Rutkowski, K. et al. (2008). Nondestructive determination of "Golden Delicious" apple quality and harvest maturity. *J. Fruit Ornamental Plant Res.*, **16**:39–52.
- [3] Lakshmi, S. et al. (2017). Non-destructive quality monitoring of fresh fruits and vegetables. *Def. Life Sci. J.*, **2**(2):103–110.
- [4] Nyasordzi, J. et al. (2013). Utilizing the  $I_{AD}$  index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biol. Technol.*, **77**:80–86.
- [5] Sánchez, C. et al. (2021). Avaliação preliminar da qualidade dos frutos de novos clones de macieiras da cultivar 'Gala'. In: *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo VI*, pp. 81–91.

\*Nota: Estes resultados foram apresentados no V Simpósio Nacional de Fruticultura, realizado em 2023 em Alcobça, e o trabalho completo será publicado nas Atas do Simpósio.

SEDE  
SÃO JOÃO DA PESQUEIRA  
T. 254 489 150

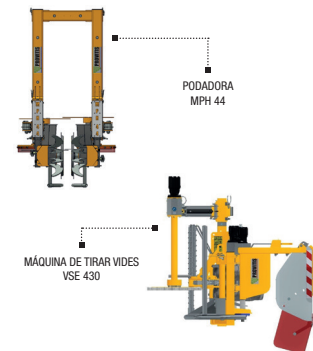
FILIAL  
VILA REAL  
T. 259 342 147

GERAL@JOPAUTO.PT  
WWW.JOPAUTO.PT

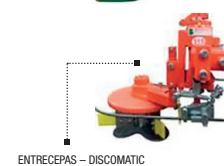
CONCESSIONÁRIO  
**NEW HOLLAND**  
AGRICULTURE



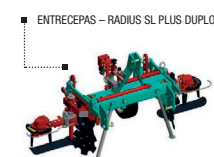
**PROVITIS**



**B**  
TANDEM



**CLEMENS**  
TECHNOLOGIES



CULTIVADOR - TERACTION DUO PLUS

