

Degradação da vitamina C em sucos de frutas: uma análise crítica dos avanços científicos

DOI: 10.5281/zenodo.22310822

Rahídes Farias Lima^{a*}

Vitamin C is one of the least stable nutrients in fruit juices, and its retention is widely used as an indicator of overall product quality. This critical review takes as its starting point the 2006 survey by Teixeira and Monteiro and compares its conclusions with the literature published between 2018 and 2026, organising the discussion around four axes: temperature and storage, processing, oxygen and packaging, and remaining gaps. The central conclusions of the source article remain supported: storage conditions are still the main determinant of losses, and oxygen still amplifies the effects of processing. Progress has been concentrated in non-linear kinetic modelling, in the consolidation of non-thermal technologies and in active packaging. However, the same methodological limitations identified in 2006 persist, most notably the lack of experimental standardisation needed to enable direct comparisons between studies.

A vitamina C é um dos nutrientes mais instáveis dos sucos de frutas e sua retenção é amplamente empregada como indicador da qualidade global do produto. Esta resenha crítica toma como ponto de partida a revisão publicada em 2006 por Teixeira e Monteiro e confronta suas conclusões com a literatura produzida entre 2018 e 2026, organizando a discussão em quatro eixos: temperatura e armazenamento, processamento, oxigênio e embalagem, e lacunas remanescentes. As conclusões centrais do artigo-base permanecem sustentadas: as condições de estocagem seguem sendo o principal determinante das perdas e o oxigênio continua amplificando os efeitos do processamento. Os avanços concentram-se na modelagem cinética não linear, na consolidação das tecnologias não térmicas e nas embalagens ativas. Persistem, contudo, as mesmas limitações metodológicas apontadas em 2006, sobretudo a ausência de padronização experimental que permita comparação direta entre estudos.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: rahides@gmail.com

Palavras-chave: Vitamina C; degradação; suco de fruta; processamento não térmico; embalagem ativa.

Recebido em 16 de agosto de 2026,

Aprovado em 30 de agosto de 2026,

Publicado em 04 de setembro de 2026.

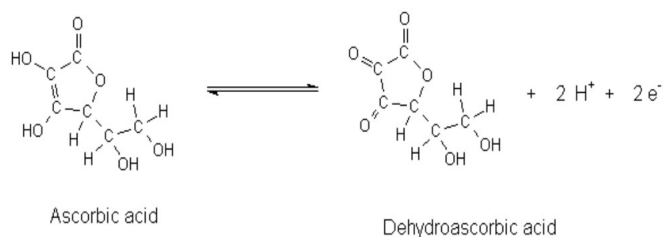
Introdução

A vitamina C, ou ácido L-ascórbico, é um dos micronutrientes mais lábeis presentes nos alimentos e, precisamente por isso, sua concentração vem sendo empregada como marcador da qualidade nutricional e sensorial dos sucos de frutas. Como o organismo humano não sintetiza essa vitamina, sua obtenção depende integralmente da dieta, e os sucos ocupam posição de destaque entre as fontes disponíveis ao consumidor. A mesma reatividade química que confere à molécula seu papel antioxidante, contudo, torna-a vulnerável à oxidação durante o processamento e ao longo da vida de prateleira.

O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de suco de fruta, com destaque para o suco de laranja, e a produção de polpas e sucos processados depende da sazonalidade e da perecibilidade das frutas *in natura*.¹ Nesse contexto, compreender os fatores que governam a perda de ácido ascórbico tem implicações tecnológicas e nutricionais diretas, pois a degradação da vitamina acarreta não apenas a redução do valor nutricional, mas também pode contribuir para o escurecimento não enzimático e para alterações no sabor. Na forma reduzida, o ácido L-ascórbico oxida-se de modo

reversível a ácido L-dehidroascórbico, também biologicamente ativo, como mostrado na Figura 1. É essa mesma facilidade de oxidação que o converte em marcador sensível das condições de processamento e de estocagem.¹

Figura 1. Estrutura química da vitamina C: equilíbrio redox entre o ácido ascórbico e o ácido dehidroascórbico. Extraído da referência 1.



Foi com esse propósito que Teixeira e Monteiro publicaram, em 2006, na revista *Alimentos e Nutrição*, uma revisão sobre os principais fatores que contribuem para a degradação da vitamina C em suco de fruta, com ênfase no suco de laranja.¹ As autoras organizaram a literatura então disponível em torno de seis fatores: tipo de processamento, condições de estocagem, tipo de embalagem, presença de

oxigênio, luz e enzimas. Com os fatores selecionados foi possível concluir que as condições de estocagem respondem pelas maiores perdas, que as condições de processamento, isoladamente, não produzem perdas drásticas e que os relatos sobre o efeito da luz permaneciam contraditórios. O trabalho consolidou, em língua portuguesa, um conjunto disperso de estudos e segue sendo referência frequente na literatura brasileira sobre estabilidade de vitamina C.

Passadas quase duas décadas, o campo incorporou novas tecnologias de conservação, novos materiais de embalagem e abordagens matemáticas mais sofisticadas para descrever a cinética de degradação. Esta resenha crítica tem por objetivo confrontar as conclusões de Teixeira e Monteiro com a produção científica recente, orientando-se pela seguinte questão norteadora: as conclusões apresentadas por essas autoras sobre os principais fatores responsáveis pela degradação da vitamina C em sucos de frutas continuam sendo sustentadas pela literatura científica atual.¹ A discussão organiza-se em quatro eixos, sendo eles, temperatura e armazenamento, processamento, oxigênio e embalagem, e avanços e lacunas, que buscam distinguir, em cada um, o que permanece válido, o que foi ampliado e o que precisou ser revisto.

Metodologia

Este trabalho consiste em uma resenha crítica de caráter bibliográfico, tendo como artigo-base a revisão de Teixeira e Monteiro (2006). Para a atualização do tema, foram consultados artigos científicos e revisões disponíveis em bases e portais acadêmicos, com ênfase em PubMed, SciELO e páginas oficiais de periódicos, priorizando publicações entre 2020 e 2026 relacionadas à estabilidade da vitamina C em sucos de frutas.

Foram utilizados como descritores, em português e inglês, combinações equivalentes a “vitamina C”, “ácido ascórbico”, “sucos de frutas”, “armazenamento”, “processamento não térmico”, “alta pressão”, “campo elétrico pulsado”, “plasma frio”, “oxigênio” e “embalagem ativa”. Foram priorizados estudos revisados por pares que apresentassem resultados diretamente comparáveis aos eixos do artigo-base. A análise foi organizada em quatro dimensões: temperatura e armazenamento; processamento; oxigênio e embalagem; e avanços e lacunas.

As publicações foram confrontadas com o artigo-base segundo três categorias definidas previamente. Considerou-se sustentada a conclusão de 2006 reproduzida pela literatura recente sem alteração de sentido nem da hierarquia entre

fatores, ainda que acompanhada de evidência empírica mais detalhada. Considerou-se ampliada a conclusão que permanece válida em seu enunciado, mas à qual a literatura posterior acrescentou dimensão ausente do artigo-base, sendo o parâmetro cinético, descrição de mecanismo, modelo matemático ou tecnologia então inexistente. Tais fatores estenderam seu alcance sem invertê-lo; nos eixos não tratados em 2006, a categoria indica acréscimo de dimensão nova ao debate, e não revisão de enunciado. Considerou-se revista a conclusão contrariada, restringida ou condicionada por evidência posterior, de modo a exigir reformulação, ainda que parcial, da afirmação original. A classificação atribuída a cada eixo é apresentada na Tabela 1.

Resultados e discussão

Temperatura e condições de armazenamento

Teixeira e Monteiro afirmaram que, entre todos os fatores analisados, as condições de estocagem respondem pelas maiores perdas de vitamina C nos sucos de fruta, e que as perdas atribuíveis apenas ao processamento situam-se, de modo geral, entre 4 % e 20 %.¹ Essa hierarquia foi construída pela comparação qualitativa de estudos com delineamentos distintos, sem tratamento cinético próprio.

A literatura recente sustenta a conclusão e a torna quantitativa. Nakilcioğlu-Taş e Ötleş acompanharam sucos cítricos frescos por apenas quatro horas, a 4 °C e a 25 °C, e registraram perda mensurável já nesse intervalo, com meias-vidas que diferiram por ordem de grandeza entre as matrizes, maiores no suco de laranja e menores no de toranja.² Registra-se que meia-vida e vida útil são grandezas distintas: a primeira é parâmetro de cinética química e designa o tempo necessário para que a concentração de ácido ascórbico caia a 50 % do valor inicial; a segunda é critério tecnológico e depende do limite de retenção arbitrado, adiante fixado em 80 %. Valores de vida útil não são, por isso, diretamente comparáveis a meias-vidas sem conversão pelo modelo cinético correspondente. A degradação, portanto, não é fenômeno de meses, e a matriz pesa tanto quanto a temperatura. Akyildiz e colaboradores forneceram os parâmetros cinéticos que faltavam ao artigo de 2006: em suco de laranja tratado termicamente entre 70 °C e 90 °C, determinaram meias-vidas, valores D, energia de ativação e valor z para o ácido ascórbico e associaram a queda da vitamina ao acúmulo de hidroximetilfurfural, tanto mais precoce quanto mais alta a temperatura de estocagem.³ Confirma-se, agora com base experimental própria, o vínculo entre degradação do ácido ascórbico e escurecimento não enzimático que Teixeira e Monteiro haviam descrito de forma qualitativa.¹

Um avanço de natureza metodológica merece destaque. Fernandez-Rosillo e colaboradores, estudando sucos de camu-camu e de naranjilla sob armazenamento acelerado, compararam modelos de ordem zero, de primeira ordem e o modelo não linear de Weibull, e verificaram que este último ofereceu o melhor ajuste, com perda inicial rápida seguida de estabilização.⁴ A vida útil estimada para 80 % de retenção caiu de 524 dias a 5 °C para 32 dias a 30 °C no camu-camu, com comportamento semelhante na naranjilla. A conclusão de 2006 não foi, assim, contrariada, mas refinada: o que era hierarquia qualitativa converteu-se em relação dose-resposta descrita por parâmetros cinéticos. Teixeira e Monteiro não discutem modelagem cinética nem afirmam que a degradação siga cinética de primeira ordem;¹ a leitura de que esse modelo operava como pressuposto nos estudos por elas revisados é inferência desta resenha, formulada a partir do fato de que os trabalhos de estabilidade da época descreviam a perda por decaimento exponencial simples. O que a evidência recente contraria não é, portanto, um enunciado do artigo-base, mas o pressuposto de linearidade então corrente, que deixou de ser tratado como descrição universal.⁴

Processamento dos sucos

Teixeira e Monteiro descreveram a pasteurização como o processo de conservação mais empregado e destacaram uma restrição tecnológica importante: como a pectinaesterase é mais termorresistente que os microrganismos deteriorantes, o binômio tempo-temperatura necessário para inativar a enzima é mais severo que o exigido pela segurança microbiológica.¹ Registraram ainda que processos alternativos, como em alta pressão, pulso elétrico, micro-ondas e aquecimento ôhmico, já vinham sendo investigados, com resultados favoráveis à alta pressão.

A literatura posterior confirma amplamente a vantagem das tecnologias não térmicas quanto à retenção. Em revisão recente, Shaikh e Shaik relatam que o processamento térmico costuma reduzir de 50 % a 70 % o teor natural de vitamina C, ao passo que campo elétrico pulsado, alta pressão, luz pulsada, ultrassom, ultravioleta e plasma frio frequentemente resultam em retenções superiores a 90 %.¹⁰ Em estudo experimental, Ambreen e colaboradores observaram que o processamento por alta pressão não alterou significativamente o teor de ácido ascórbico do suco de laranja, ao contrário do tratamento térmico tomado como referência.⁵

Esses números, porém, não devem ser lidos isoladamente. Timmermans e colaboradores avaliaram campo elétrico pulsado de intensidade moderada em suco de laranja e encontraram apenas pequenas diferenças de cor e de teor de vitamina C em relação ao tratamento térmico;⁶ mais

significativo, a pectinaesterase só ficou abaixo do valor crítico de atividade quando a temperatura máxima do processo atingiu 78 °C ou mais. Islam e colaboradores chegaram a impasse análogo com plasma frio aplicado ao mesmo produto: a cor foi praticamente preservada, mas o teor de ácido ascórbico caiu durante o tratamento e a atividade residual da enzima permaneceu acima de 60 %.⁷ Em ambos os casos, a variável operante para resolver o problema enzimático apontado em 2006 continuou sendo a temperatura.

Há ainda um efeito diferido pouco considerado nas comparações imediatas. Basak e colaboradores, revisando os mecanismos de degradação sob ultravioleta e luz pulsada, concluem que, embora a fotodegradação e a oxidação aeróbia atuem durante o tratamento, é a via anaeróbia que predomina na etapa posterior de armazenamento, de modo que aferir a retenção apenas logo após o processamento pode superestimar a vantagem das tecnologias emergentes.⁹ A vantagem real existe, portanto, mas é condicionada: essas tecnologias preservam mais vitamina C que a pasteurização convencional, embora boa parte das comparações não estabeleça equivalência de letalidade microbiológica e de inativação enzimática nem acompanhe o produto por toda a vida de prateleira.

Oxigênio e embalagem

Teixeira e Monteiro atribuíram ao oxigênio papel central na oxidação do ácido ascórbico, distinguindo três origens, sendo eles, o gás dissolvido no produto, o presente no espaço livre e o que permeia o material de embalagem. A partir desse pressuposto reuniram evidências de que o vidro assegurava retenção superior à dos polímeros e da embalagem cartonada. Registraram também que embalagens com absorvedor de oxigênio elevaram a retenção de ácido ascórbico de 51,3 % para 73,2 % após um ano a 4 °C, ponderando, entretanto, que a temperatura de estocagem produzia efeito ainda maior que o do absorvedor.¹

É neste eixo que se encontra a mudança mais expressiva das últimas duas décadas: o deslocamento da barreira passiva para a embalagem ativa. Coray e Yildirim aplicaram um rótulo absorvedor de oxigênio à base de ácido gálico a suco de laranja acondicionado em vidro hermeticamente fechado, a 4 °C e a 21 °C. Sem o absorvedor, a vitamina C degradou-se por completo em 30 dias a 21 °C e em 45 dias a 4 °C; com o absorvedor, manteve-se praticamente integral por 105 dias em ambas as temperaturas, com escurecimento igualmente contido.⁸

Esse resultado obriga a qualificar a hierarquia proposta em 2006. Teixeira e Monteiro posicionaram a temperatura de estocagem acima da embalagem;¹ os dados de

Coray e Yildirim mostram que, removido o oxigênio, o efeito da temperatura praticamente desaparece no intervalo estudado.⁸ A aparente contradição se dissolve quando se separam as duas vias de degradação descritas pelas próprias autoras: a via aeróbia é limitada pela disponibilidade de oxigênio; a anaeróbia, pela temperatura. Coerentemente, Fernandez-Rosillo e colaboradores, que também empregaram vidro hermético com espaço livre mínimo, continuaram observando forte dependência térmica.⁴ As duas evidências não competem: descrevem regimes distintos. Quanto aos materiais de barreira, as conclusões de 2006 não foram contestadas; o que mudou foi o foco da pesquisa, que migrou da comparação entre polímeros para sistemas capazes de remover ativamente o oxigênio residual, inclusive com agentes de origem natural.⁸

Avanços e lacunas após 2006

Permanecem sustentadas quatro asserções centrais do artigo-base: as condições de estocagem como principal determinante das perdas; o oxigênio como fator que amplifica os efeitos do processamento; a degradação do ácido ascórbico como origem de compostos associados ao escurecimento não enzimático; e o próprio teor de vitamina C como indicador da qualidade global do suco.^{3,8,11} A Tabela 1 sintetiza, eixo a eixo, o cotejo entre o artigo de 2006 e a literatura recente.

Tabela 1. Síntese comparativa entre as conclusões de Teixeira e Monteiro (2006) e as evidências da literatura recente. Tabela autoral.

Aspecto	Teixeira e Monteiro (2006)	Literatura recente	Situação
Estocagem	Principal fator de perda	Confirmado; perdas já nas primeiras horas ²	Sustentada
Temperatura	Refrigeração até 8 °C retém cerca de 90 %	Vida útil (80 %) cai de 524 d a 5 °C para 32 d a 30 °C ⁴	Ampliada
Modelo cinético	Não abordado; primeira ordem implícita	Weibull com ajuste superior ^{4,7}	Ampliada
Processamento térmico	Perdas de 4 % a 20 %; enzima mais resistente ao calor	Perdas de 50 % a 70 %; ¹⁰ enzima exige 78 °C ou mais ⁶	Revista
Tecnologias não térmicas	Alternativas em fase exploratória	Retenção acima de 90 %; ¹⁰ enzimas não resolvidas ^{6,7}	Ampliada
Oxigênio e embalagem	Oxigênio acelera a degradação	Absorvedor de ácido gálico: vitamina íntegra por 105 dias ⁸	Ampliada

Três frentes foram ampliadas. A primeira é a modelagem cinética: modelos não lineares, sobretudo o de Weibull, mostraram-se superiores à cinética de primeira ordem tanto na estocagem⁴ quanto durante o tratamento por plasma

frio.⁷ A segunda é o detalhamento mecanístico das rotas aeróbia e anaeróbia, hoje descritas em nível de intermediários radiculares.⁹ A terceira é a consolidação das tecnologias não térmicas, que em 2006 figuravam como processos alternativos em fase exploratória e hoje dispõem de dados de retenção sistematizados.¹⁰

Duas asserções exigem revisão. A primeira é a separação nítida entre processamento e estocagem como fatores independentes: os dados de Timmermans et al.⁶ mostram que a temperatura máxima atingida durante processos ditos não térmicos continua determinando a estabilidade enzimática e, por consequência, a qualidade ao longo do armazenamento. A segunda diz respeito à luz: Teixeira e Monteiro¹ consideraram os resultados contraditórios e pediram estudos que isolassem esse fator; o pedido foi parcialmente atendido, com delineamentos que manipulam luz e oxigênio de forma controlada² e com a descrição do mecanismo fotoquímico,⁹ ainda que a quantificação do efeito isolado da luz em sucos comerciais permaneça escassa.

Cabe reconhecer as limitações do próprio artigo de 2006. Trata-se de revisão narrativa, sem critérios explícitos de busca e seleção, que não produziu dados primários nem análise cinética. As autoras foram, contudo, transparentes quanto a duas fragilidades da literatura que revisavam: a maior parte dos trabalhos não informava o teor de vitamina C antes do processamento, e a heterogeneidade das condições experimentais dificultava a comparação entre estudos.¹

Essas fragilidades não foram superadas. Giannakourou e Taoukis,¹¹ em revisão crítica dedicada justamente à modelagem cinética da estabilidade da vitamina C, sustentam que persiste a necessidade de estudos sistemáticos que investiguem e descrevam matematicamente, de forma separada, a perda da vitamina em cada etapa de processamento e durante a distribuição e a estocagem subsequentes, reiterando, quinze anos depois, o mesmo diagnóstico. Somam-se lacunas próprias da literatura atual: a escassez de estudos que acompanhem as tecnologias emergentes por toda a vida de prateleira, a ausência frequente de equivalência de processo nas comparações e a pouca atenção a custo, escalabilidade e consumo energético.

Conclusões

A questão norteadora admite resposta afirmativa com ressalvas. As conclusões centrais de Teixeira e Monteiro continuam sustentadas pela literatura científica atual: as condições de estocagem seguem sendo o principal determinante das perdas de vitamina C em sucos de frutas; o oxigênio permanece como o fator que amplifica os efeitos do

processamento e da embalagem; e a degradação do ácido ascórbico continua associada ao escurecimento não enzimático e à redução da vida de prateleira.

Os avanços das duas últimas décadas foram menos de reorientação e mais de aprofundamento. A descrição da degradação tornou-se quantitativa, com parâmetros cinéticos que permitem predição de vida útil, e a suposição de cinética de primeira ordem cedeu lugar a modelos não lineares mais aderentes aos dados. As tecnologias não térmicas deixaram a condição de alternativas exploratórias e passaram a dispor de evidência consistente de retenção superior à da pasteurização convencional. A embalagem, por sua vez, migrou da barreira passiva para sistemas ativos capazes de remover o oxigênio residual, com resultados que, em condições controladas, praticamente suprimem a via aeróbia de degradação.

Duas ressalvas impedem uma leitura triunfalista. A primeira é que a vantagem das tecnologias emergentes tem sido aferida, com frequência, logo após o processamento e sem equivalência demonstrada de inativação microbiana e enzimática; quando essa equivalência é exigida, a temperatura reaparece como variável decisiva. A segunda é que a mesma dificuldade de comparação entre estudos apontada em 2006 continua sendo diagnosticada na literatura recente.

O desafio remanescente é, portanto, menos a descoberta de novas tecnologias e mais a integração das etapas e a padronização experimental: protocolos que declarem o teor inicial da vitamina, estabeleçam equivalência de processo antes de comparar tecnologias e acompanhem o produto por toda a vida de prateleira.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de observações são de Rahídes Farias Lima.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela oportunidade

concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 M. Teixeira e M. Monteiro, *Alimentos e Nutrição*, 2006, **17**, 219–227
- 2 E. Nakilcioğlu-Taş e S. Ötleş, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2020, **92**, e20190328
- 3 A. Akyildiz, T. S. Mertoglu e E. Agcam, *J. Food Compos. Anal.*, 2021, **102**, 103996
- 4 F. Fernandez-Rosillo, D. Mori-Mestanza, A. S. Cabrejos-Barrios, M. Medina-Mendoza, E. M. Cabrejos-Barrios, N. León-Roque, E. Hernández-Martínez, R. Rivera-Botonares, E. M. Castro-Alayo, H. Minchán-Velayarce e C. R. Balcázar-Zumaeta, *Foods*, 2026, **15**, 1722
- 5 S. Ambreen, M. U. Arshad, A. Imran, M. Afzaal e F. K. Madilo, *International Journal of Food Properties*, 2023, **26**, 3214–3225
- 6 R. A. H. Timmermans, W. S. U. Roland, K. van Kekem, A. M. Matser e M. A. J. S. van Boekel, *Foods*, 2022, **11**, 3360
- 7 S. Islam, P. Kumar, R. Cheroor, M. Jaiswal, A. Begum, P. P. Srivastav e B. Srivastava, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2024, **18**, 9603–9617
- 8 N. M. Coray e S. Yildirim, *Packaging Technology and Science*, 2024, **37**, 917–923
- 9 S. Basak, L. Shaik e S. Chakraborty, *Food Chemistry Advances*, 2023, **2**, 100333
- 10 N. Shaikh e L. Shaik, *Plant Foods for Human Nutrition*, 2026, **81**, 12
- 11 M. C. Giannakourou e P. S. Taoukis, *Foods*, 2021, **10**, 263