



# Introdução à química de alimentos

Owen R. Fennema, Srinivasan Damodaran e Kirk L. Parkin

## CONTEÚDO

1.1 O que é química de alimentos? . . . . .	1
1.2 História da química de alimentos . . . . .	1
1.3 Estratégias para o estudo da química de alimentos . . . . .	5
1.3.1 Análise de situações ocorridas durante o armazenamento e o processamento de alimentos . . . . .	10
1.4 Papel social do químico de alimentos . . . . .	13
1.4.1 Por que o químico de alimentos deve estar envolvido em questões sociais? . . . . .	13
1.4.2 Tipos de envolvimento . . . . .	14
Referências . . . . .	16

## 1.1 O QUE É QUÍMICA DE ALIMENTOS?

A ciência dos alimentos trata de suas propriedades físicas, químicas e biológicas e de suas relações com estabilidade, custo, processamento, segurança, valor nutricional, salubridade e conveniência. A ciência dos alimentos é um ramo das ciências biológicas e um tópico interdisciplinar que envolve basicamente microbiologia, química, biologia e engenharia. A química de alimentos é um dos tópicos principais da ciência dos alimentos, tratando da composição e das propriedades dos alimentos, bem como das transformações químicas que eles sofrem durante a manipulação, processamento e o armazenamento. A química de alimentos está diretamente relacionada à química, à bioquímica, à botânica, à zoologia e à biologia molecular. O químico de alimentos depende do conhecimento das ciências antes mencionadas para estudo e controle efetivos dos materiais biológicos usados como matéria-prima para a alimentação humana. O conhecimento das propriedades inatas do material biológico e o domínio de seus métodos de manipulação são de interesse comum dos químicos de alimentos e dos biólogos. O interesse primor-

dial dos biólogos inclui reprodução, crescimento e modificações que o material biológico sofre em condições ambientais compatíveis ou razoavelmente compatíveis com a vida. Por outro lado, o químico de alimentos ocupa-se mais do material biológico morto ou moribundo (fisiologia pós-colheita de plantas e pós-morte dos músculos) e das modificações sofridas por ele quando exposto a diversas condições ambientais. Por exemplo, as condições adequadas para a manutenção dos processos vitais residuais são de interesse do químico de alimentos durante a comercialização de frutas frescas e vegetais, ao passo que as condições de incompatibilidade com os processos vitais são de seu interesse quando a preservação do alimento a longo prazo é desejada. Além disso, os químicos de alimentos ocupam-se das propriedades químicas de alimentos derivados de tecidos processados (farinhas, sucos de frutas e vegetais, constituintes isolados e modificados, alimentos manufaturados), alimentos provenientes de material unicelular (ovos e microrganismos) e de um fluido biológico fundamental, o leite. Em resumo, eles têm muito em comum com os biólogos, embora tenham interesses que são, de maneiras distintas, de extrema importância para a humanidade.

## 1.2 HISTÓRIA DA QUÍMICA DE ALIMENTOS

As origens da química de alimentos são obscuras e os detalhes de sua história não são estudados e registrados com rigor. Esse fato não é surpresa, uma vez que a química de alimentos não assumiu uma identidade clara até o século XX e que sua história está profundamente associada à da química agrônômica, cuja documentação histórica não é considerada extensa [1,2]. Portanto, a breve exposição que segue, sobre a sua história, é incom-

pleta e seletiva. Entretanto, a informação disponível é suficiente para indicar quando, onde e por que alguns eventos-chave ocorreram na química de alimentos, relacionando-os a mudanças significativas em relação à qualidade do fornecimento de alimentos a partir do início do século XIX.

Embora a origem da química de alimentos, de consenso, reporte-se à antiguidade, as descobertas mais relevantes, conforme nosso conhecimento atual, tiveram início no final do século XVIII. Os melhores registros de desenvolvimento desse período, os de Filby [3] e Browne [1], e grande parte da informação apresentada neste texto baseiam-se nessas fontes.

Durante o período de 1780 a 1850, diversos químicos famosos fizeram descobertas importantes, muitas delas direta ou indiretamente relacionadas aos alimentos. Esses trabalhos contêm as origens da química de alimentos moderna. Carl Wilhelm Scheele (1742–1786), um farmacêutico sueco, foi um dos maiores químicos de todos os tempos. Além de suas famosas descobertas do cloro, do glicerol e do oxigênio (três anos antes de Priestly, embora não tenha sido publicado), ele isolou e determinou propriedades da lactose (1780), preparou ácido múcico pela oxidação do ácido láctico (1780), desenvolveu um método para preservar vinagre por aplicação de calor (1782, aprimorando a “descoberta” de Appert), isolou o ácido cítrico de suco de limão (1784) e de groselhas (1785), isolou o ácido málico de maçãs (1785) e testou 20 frutas comuns para a presença dos ácidos málico, cítrico e tartárico (1785). O isolamento de vários compostos químicos novos a partir de materiais de origem animal e vegetal é considerado o início da pesquisa analítica de precisão nas químicas agrícola e de alimentos.

O químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) desempenhou um papel fundamental na rejeição final da teoria do flogisto e na formulação dos princípios da química moderna. Em relação à química de alimentos, ele estabeleceu os princípios fundamentais de análise da combustão orgânica, sendo o primeiro a demonstrar que um processo de fermentação pode ser expresso por uma equação estequiométrica. Além disso, fez a primeira tentativa de determinação da composição elementar do álcool etílico (1784) e apresentou um dos primeiros artigos (1786) sobre ácidos orgânicos em diversas frutas.

Nicolas-Théodore de Saussure (1767–1845), um químico francês, trabalhou muito para formalizar e esclarecer os princípios das químicas agrícola e de alimentos fornecidos por Lavoisier. Ele também estudou as trocas de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  durante a respiração das plantas (1804) e o conteúdo mineral das plantas por calcinação, fazendo a primeira determinação precisa da composição elementar do etanol (1807).

Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) e Louis-Jacques Thenard (1777–1857) elaboraram, em 1811, o primeiro método para determinar as porcentagens de carbono, hidrogênio e nitrogênio em substâncias vegetais desidratadas.

O químico inglês Sir Humphrey Davy (1778–1829), nos anos de 1807 e 1808, isolou os elementos K, Na, Ba, Sr, Ca e Mg. Sua contribuição para as químicas agrícola e de alimentos tornou-se ampla por meio de seus livros sobre química agrícola, dos quais o primeiro (1813) foi *Elements of Agriculture Chemistry, in a Course of Lectures for the Board of Agriculture* [4]. Seus livros serviram para organizar e esclarecer o conhecimento existente naquela época. Na primeira edição, ele afirmou:

Todas as partes diferentes das plantas podem ser decompostas em alguns poucos elementos. Seus usos para alimentação ou aplicação nas artes dependem da organização desses elementos em compostos, os quais podem ser obtidos tanto a partir de suas partes organizadas, como a partir de seus sucos; a análise da natureza destas substâncias é uma parte essencial da química agrícola.

Na quinta edição, ele afirmou que as plantas costumam ser compostas por apenas sete ou oito elementos e que “as substâncias vegetais mais essenciais consistem em hidrogênio, carbono e oxigênio em diferentes proporções, geralmente isolados, mas, em alguns casos, combinados com azoto [nitrogênio]” (p. 121) [5].

Os trabalhos do químico sueco Jons Jacob Berzelius (1779–1848) e do químico escocês Thomas Thomson (1773–1852) resultaram no início das fórmulas orgânicas, “sem as quais a análise orgânica seria um deserto sem trilha e a análise de alimentos, uma tarefa sem fim” [3]. Berzelius determinou os componentes elementares de 2 mil compostos, confirmando, assim, a lei das propor-

ções definidas. Ele também elaborou um modo de determinar com precisão o conteúdo de água em substâncias orgânicas, uma das deficiências do método de Gay-Lussac e Thenard. Thomson demonstrou que as leis que governam a composição de substâncias inorgânicas aplicam-se à matéria orgânica, um tópico de extrema importância.

Em um livro intitulado *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications* [6], Michel Eugene Chevreul (1786–1889), um químico francês, listou os elementos conhecidos naquela época, presentes em substâncias orgânicas (O, Cl, I, N, S, P, C, Si, H, Al, Mg, Ca, Na, K, Mn e Fe), citando os processos então disponíveis para análise orgânica: (1) extração com solventes neutros, como água, álcool ou éter aquoso; (2) destilação lenta ou destilação fracionada; (3) destilação por vapor; (4) passagem da substância por um tubo aquecido à incandescência; e (5) análise com oxigênio. Chevreul foi um dos pioneiros da análise de substâncias orgânicas. Sua pesquisa clássica sobre a composição da gordura animal levou à descoberta dos ácidos esteárico e oleico.

O Dr. William Beaumont (1785–1853), um cirurgião do Exército Norte-Americano, lotado no Forte Mackinac, em Michigan, realizou experimentos clássicos sobre digestão gástrica, desmistificando o conceito existente desde Hipócrates, de que os alimentos contêm um único componente nutritivo. Seus experimentos foram realizados durante o período de 1825 a 1833 em um canadense chamado Alexis St. Martin, cuja ferida causada por um mosquete permitiu o acesso direto ao interior de seu estômago, possibilitando a introdução direta de alimentos e o subsequente exame de alterações digestivas [7].

Entre suas mais notáveis realizações, Justus von Liebig (1803–1873) mostrou, em 1837, que o acetaldeído ocorre como um intermediário entre o álcool e o ácido acético durante a fermentação do vinagre. Em 1842, ele classificou os alimentos como nitrogenados (fibrina vegetal, albumina, caseína, carne e sangue) e não nitrogenados (gorduras, carboidratos e bebidas alcoólicas). Embora essa classificação não seja correta em diversos aspectos, serviu para distinguir diferenças importantes entre vários alimentos. Além disso, ele aperfeiçoou os métodos para a análise

quantitativa de substâncias orgânicas, principalmente por combustão, publicando, em 1847, o que parece ser o primeiro livro sobre química de alimentos, *Researches on the Chemistry of Food* [8]. Estão incluídas nesse livro as descrições de sua pesquisa sobre componentes hidrossolúveis do músculo (creatina, creatinina, sarcosina, ácido inosínico, ácido láctico, etc.).

É interessante que o desenvolvimento descrito anteriormente tenha ocorrido em paralelo ao início de problemas graves e disseminados concernentes a adulterações em alimentos, não sendo exagerado afirmar que a necessidade de detectar impurezas em alimentos foi o maior estímulo para o desenvolvimento da química analítica em geral e da química analítica de alimentos em particular. Infelizmente, também é verdade que os avanços na química contribuíram, em parte, para as adulterações em alimentos, uma vez que fornecedores inescrupulosos de alimentos puderam utilizar-se da literatura química disponível, que incluía formulações de alimentos adulterados, além de trocarem modos empíricos antigos e pouco eficientes de adulteração por estratégias mais eficientes, baseadas em princípios científicos. Portanto, a história da química de alimentos e a da adulteração de alimentos estão intimamente interligadas por diversas relações de origem, tornando plausível a consideração do tema da adulteração de alimentos a partir de uma perspectiva histórica [3].

A história da adulteração de alimentos nos países atualmente mais desenvolvidos ocorreu em três fases distintas. De épocas ancestrais até por volta de 1820, a adulteração de alimentos não era um problema sério, não havendo grande necessidade de métodos de detecção. A explicação mais óbvia para essa situação é a de que os alimentos eram comprados de pequenos negócios ou de pessoas, o que fazia as transações envolverem, em grande parte, responsabilidade interpessoal. A segunda fase inicia-se no começo do século XIX, quando as adulterações intencionais em alimentos aumentaram de forma significativa, em frequência e gravidade. Esse incremento pode ser atribuído principalmente ao aumento da centralização do processamento e da distribuição de alimentos, com um decréscimo correspondente de responsabilidade interpessoal e, de modo parcial, ao aparecimento da química moder-

na, como já mencionado. As adulterações intencionais permaneceram como um problema grave até cerca de 1920, data que marcou o final da fase dois e o início da fase três. Nesse momento, as pressões legais e os métodos efetivos para a detecção reduziram a frequência e a gravidade das adulterações intencionais para níveis aceitáveis. Essa situação tem melhorado, gradativamente, até os dias atuais.

Alguns podem argumentar que uma quarta fase da adulteração de alimentos iniciou-se por volta de 1950, quando os alimentos que continham aditivos químicos permitidos pela legislação tornaram-se prevalentes, o uso de alimentos extensivamente processados aumentou, passando a representar a maior parte da dieta humana da maioria das nações industrializadas, e a contaminação de alguns alimentos por subprodutos indesejáveis da industrialização, como mercúrio, chumbo e pesticidas, tornou-se pública e de relevância legislatória. A validade dessa colocação é muito debatida, não existindo um consenso até hoje. Entretanto, o andamento desse tema ao longo dos anos seguintes tornou-se claro. O interesse público sobre segurança e adequação nutricional dos alimentos continua a evocar mudanças, tanto voluntárias como involuntárias, na maneira como os alimentos são produzidos, manipulados e processados. Essas ações são inevitáveis, pois nos ensinam mais sobre as práticas adequadas de manuseio de alimentos e sobre as estimativas de ingestão máxima tolerável de constituintes indesejados, que se tornam mais precisas.

O início do século XIX foi um período de especial interesse público sobre qualidade e segurança dos alimentos. Essa preocupação, ou melhor, essa indignação, foi iniciada na Inglaterra pela publicação de Frederick Accum, *A Treatise on Adulterations of Food* [9], bem como por uma publicação anônima, intitulada *Death in the Pot* [10]. Accum afirmava que, “de fato, seria difícil mencionar um simples item de alimentos que não estivesse associado a um estado adulterado; existem algumas substâncias que costumam ser muito escassas para serem genuínas” (p. 14). Ele ainda comenta, “não é menos lamentável que a aplicação extensiva da química para objetivos nobres da vida tenha sido pervertida como um auxiliar desse comércio nefasto [adulteração]” (p. 20).

Embora Filby [3] defenda que as acusações de Accum foram de certo modo exageradas, é certo

que as adulterações intencionais em vários alimentos e ingredientes prevaleceram no século XIX, conforme citado por Accum e Filby, incluindo itens como urucum, pimenta-preta, pimenta-de-caiena, óleos essenciais, vinagre, suco de limão, café, chá, leite, cerveja, vinho, açúcar, manteiga, chocolate, pão e produtos de confeitaria.

Como a gravidade das adulterações em alimentos no início do século XIX tornou-se evidente ao público, as medidas de remediação aumentaram gradativamente. Essas medidas tomaram a forma de novas legislações que criminalizaram a adulteração, gerando-se um grande esforço dos químicos em compreender as propriedades nativas dos alimentos, os compostos mais usados em adulterações e as maneiras de detectá-los. Portanto, durante o período de 1820 a 1850, a química e a química de alimentos começaram a assumir muita importância na Europa. Isso foi possível devido ao trabalho dos cientistas já citados, tendo sido amplamente estimulado pela implantação de laboratórios de pesquisa em química para jovens estudantes, em várias universidades, e pela fundação de novos periódicos para pesquisa em química [1]. Desde então, o avanço da química de alimentos tem seguido em um ritmo acelerado e alguns desses avanços, junto a suas causas, serão mencionados a seguir.

Em 1860, foi estabelecida, em Weede, Alemanha, a primeira estação experimental agrônômica mantida por recursos públicos. W. Hanneberg e F. Stohmann foram nomeados como diretor e químico, respectivamente. Com base no trabalho de químicos precursores, eles desenvolveram um procedimento de rotina importante, para a determinação de componentes majoritários dos alimentos. Dividindo uma amostra em diversas partes, eles eram capazes de determinar conteúdo de umidade, “gordura bruta”, cinzas e nitrogênio. Logo, multiplicando-se o valor de nitrogênio por 6,25, eles chegaram ao conteúdo de proteína. A digestão sequencial com ácido diluído e álcali diluído gerou um resíduo denominado “fibra bruta”. A porção remanescente após a remoção de proteína, gordura, cinzas e fibra bruta foi denominada “extrato livre de nitrogênio”. Acreditava-se que essa fração representava os carboidratos digeríveis. Infelizmente, por muitos anos, químicos e médicos pensaram erroneamente que os valores obtidos por esse procedimento repre-

sentavam o valor nutricional, não importando o tipo de alimento [11].

Em 1871, Jean Baptiste Duman (1800–1884) sugeriu que dietas constituídas apenas de proteína, carboidratos e gordura não eram adequadas para a manutenção da vida.

Em 1862, o Congresso dos Estados Unidos aprovou o Land-Grant College Act, de autoria de Justin Smith Morrill. Essa lei ajudou no estabelecimento de faculdades de agricultura nos Estados Unidos, dando um estímulo considerável ao treinamento de químicos agrícolas e de alimentos. Ainda em 1862, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos foi implementado e Isaac Newton foi nomeado como seu primeiro delegado.

Em 1863, Harvey Washington Wiley tornou-se químico-chefe do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e a partir de seu gabinete então liderou uma campanha contra alimentos adulterados e erroneamente rotulados, culminando na instituição do primeiro Pure Food and Drug Act, nos Estados Unidos (1906).

Em 1887, foram implantadas estações agrônomicas experimentais nos Estados Unidos, seguindo a deliberação do Hatch Act. O representante do Missouri, William H. Hatch, presidente do House Committee on Agriculture, foi o autor desse estatuto. Como resultado, o maior sistema nacional de estações agrônomicas experimentais do mundo foi implementado, causando um grande impacto à pesquisa em alimentos, nos Estados Unidos.

Durante a primeira metade do século XX, muitas das substâncias essenciais das dietas foram descobertas e caracterizadas, incluindo vitaminas, minerais, ácidos graxos e alguns aminoácidos.

O desenvolvimento e o uso extensivo de substâncias químicas como auxiliares de crescimento, manufatura e comercialização de alimentos foi um evento marcante e satisfatório na metade do século XX.

Esta revisão histórica, embora breve, sugere que o abastecimento atual de alimentos pareça quase perfeito em comparação ao que existia no século XIX. Entretanto, nessa redação, vários temas atuais têm substituído os históricos, isso no que diz respeito a quais pontos a comunidade envolvida com a ciência de alimentos deve abordar para promover a salubridade e o valor nutricional dos alimentos, abrandando as ameaças reais ou su-

postas à segurança do abastecimento de alimentos. Esses tópicos incluem natureza, eficácia e impacto de componentes não nutrientes em alimentos, suplementos dietéticos e fitoquímicos que podem promover a saúde humana, além da simples nutrição (Capítulo 13); a engenharia genética de grãos (organismos geneticamente modificados [OGMs]) e seus benefícios justapostos a seus riscos à segurança e à saúde humana (principalmente no Capítulo 16); e o valor nutritivo comparativo de colheitas obtidas por métodos de cultivo orgânico em contraponto ao cultivo convencional.

### 1.3 ESTRATÉGIAS PARA O ESTUDO DA QUÍMICA DE ALIMENTOS

A química de alimentos, caracteristicamente, está relacionada à identificação dos determinantes moleculares de propriedades dos materiais e da reatividade química de matrizes alimentares, bem como à aplicação efetiva desse entendimento à melhora de formulações, processos e estabilidade dos alimentos. Um de seus objetivos importantes é a determinação de relações de causa-efeito e estrutura-funcionalidade entre diferentes classes de componentes químicos. Os fatos resultantes do estudo de um alimento ou de um sistema-modelo podem ser aplicados à compreensão de outros produtos alimentícios. A abordagem analítica da química de alimentos inclui quatro componentes, a saber: (1) determinação das propriedades que são características importantes de um alimento seguro e de elevada qualidade; (2) determinação das reações químicas e bioquímicas que influenciam de maneira relevante em termos de perda de qualidade e/ou salubridade do alimento; (3) integração dos dois pontos anteriores, de modo a entender como as reações químicas e bioquímicas-chave influenciam na qualidade e na segurança; e (4) aplicação desse conhecimento a várias situações encontradas durante formulação, processamento e armazenamento de alimentos.

A segurança é o primeiro requisito de qualquer alimento. Em sentido amplo, isso significa que um alimento deve estar livre de qualquer substância química ou contaminação microbiológica prejudicial no momento de seu consumo. Em termos operacionais, essa definição toma uma forma mais

aplicada. Na indústria de enlatados, a esterilidade “comercial”, aplicada a alimentos de baixa acidez, significa a ausência de esporos viáveis de *Clostridium botulinum*. Isso pode ser traduzido por um conjunto de condições específicas de aquecimento para um produto específico, em uma embalagem específica. Dados os requisitos de tratamento térmico, pode-se selecionar condições específicas de tempo e temperatura para que se otimize a retenção de atributos de qualidade. Do mesmo modo, em um produto como a manteiga de amendoim, a segurança operacional pode ser considerada, principalmente, como a ausência de aflatoxinas – substâncias carcinogênicas produzidas por algumas espécies de fungos. As etapas da prevenção do crescimento do fungo em questão podem ou não interferir na retenção de algum outro atributo de qualidade; ainda assim, as condições que resultam em produtos seguros devem ser empregadas.

Uma lista de atributos de qualidade de alimentos e algumas alterações que podem ser sofridas por eles durante o processamento e armazenamento é apresentada na Tabela 1.1. As modificações que podem ocorrer, com exceção das que envolvem valor nutricional e segurança, são rapidamente percebidas pelo consumidor.

Muitas reações químicas e bioquímicas podem alterar a qualidade ou a segurança do alimen-

to. Algumas das classes mais importantes dessas reações estão listadas na Tabela 1.2. Cada classe de reação pode envolver diferentes reagentes ou substratos, dependendo especificamente do alimento e das condições particulares de manipulação, processamento ou armazenamento. Elas são tratadas como classes de reações, pois a natureza geral dos substratos ou dos reagentes é similar para todos os alimentos. Logo, o escurecimento não enzimático envolve reações de carbonilas, que podem surgir da existência de açúcares redutores ou ser geradas a partir de diversas reações, como oxidação do ácido ascórbico, hidrólise do amido ou oxidação de lipídeos. A oxidação pode envolver lipídeos, proteínas, vitaminas ou pigmentos e, mais especificamente, a oxidação de lipídeos pode envolver triacilgliceróis em alguns alimentos e fosfolipídeos em outros. A discussão detalhada sobre essas reações será realizada em capítulos subsequentes deste livro.

As reações listadas na Tabela 1.3 causam as alterações listadas na Tabela 1.1. A integração da informação contida em ambas as tabelas pode conduzir ao entendimento das causas de deterioração dos alimentos. A deterioração de um alimento costuma ser constituída por uma série de eventos primários, seguidos de eventos secundários, que, por sua vez, tornam-se evidentes pela alteração de atributos de

**TABELA 1.1** Classificação das alterações que podem ocorrer durante manipulação, processamento ou armazenamento

Atributo	Alteração
Textura	Perda de solubilidade Perda de capacidade de retenção de água Endurecimento Amolecimento
Sabor	Desenvolvimento de: Rancidez (hidrolítica ou oxidativa) Sabor cozido ou caramelo Outros odores indesejados Sabores desejados
Cor	Escurecimento Branqueamento Desenvolvimento de cores desejadas (p. ex., escurecimento em produtos cozidos)
Valor nutricional	Perda, degradação ou alteração da biodisponibilidade de proteínas, lipídeos, vitaminas, minerais e outros componentes benéficos à saúde
Segurança	Geração de substâncias tóxicas Desenvolvimento de substâncias com efeito protetor à saúde Inativação de substâncias tóxicas

**TABELA 1.2** Algumas das reações químicas e bioquímicas que podem levar à alteração da qualidade ou da segurança dos alimentos

Tipo de reação	Exemplos
Escurecimento não enzimático	Produtos cozidos, secos e de umidade intermediária
Escurecimento enzimático	Frutas e vegetais cortados
Oxidação	Lípídeos (odores indesejáveis), degradação de vitaminas, descoloração de pigmentos, proteínas (perda de valor nutricional)
Hidrólise	Lípídeos, proteínas, carboidratos, vitaminas, pigmentos
Interações com metais	Complexação (antocianinas), perda de Mg da clorofila, catálise da oxidação
Isomerização de lípídeos	Isomerização <i>cis</i> → <i>trans</i> , não conjugado → conjugado
Ciclicação de lípídeos	Ácidos graxos monocíclicos
Oxidação e polimerização de lípídeos	Formação de espuma durante a fritura
Desnaturalização de proteínas	Coagulação da gema do ovo, inativação de enzimas
Interligação entre proteínas	Perda de valor nutricional durante processamento alcalino
Síntese e degradação de polissacarídeos	Pós-colheita de plantas
Alterações glicolíticas	Pós-colheita do tecido vegetal, pós-morte do tecido animal

**TABELA 1.3** Exemplos de relações causa-efeito associadas a alterações em alimentos durante manipulação, armazenamento e processamento

Evento primário	Efeito secundário	Atributo influenciado (ver Tabela 1.1)
Hidrólise de lípídeos	Ácidos graxos livres reagem com proteínas	Textura, sabor, valor nutricional
Hidrólise de polissacarídeos	Açúcares reagem com proteínas	Textura, sabor, cor, valor nutricional
Oxidação de lípídeos	Produtos de oxidação reagem com diversos outros constituintes	Textura, sabor, cor, valor nutricional; pode ocorrer formação de substâncias tóxicas
Contusões em frutas	Ruptura celular, liberação de enzimas, disponibilidade de oxigênio	Textura, sabor, cor, valor nutricional
Aquecimento de produtos da horticultura	Perda de integridade de parede e membrana celulares, liberação de ácidos, inativação de enzimas	Textura, sabor, cor, valor nutricional
Aquecimento do tecido muscular	Desnaturalização e agregação de proteínas, inativação de enzimas	Textura, sabor, cor, valor nutricional
Conversão <i>cis</i> → <i>trans</i> em lípídeos	Aumento da taxa de polimerização durante a fritura	Formação excessiva de espuma durante a fritura, diminuição do valor nutricional e biodisponibilidade de lípídeos, solidificação do óleo de fritura

qualidade (Tabela 1.1). Exemplos desse tipo de sequência são mostrados na Tabela 1.3. Percebe-se, em particular, que determinado atributo de qualidade pode ser alterado como resultado de vários eventos primários diferentes.

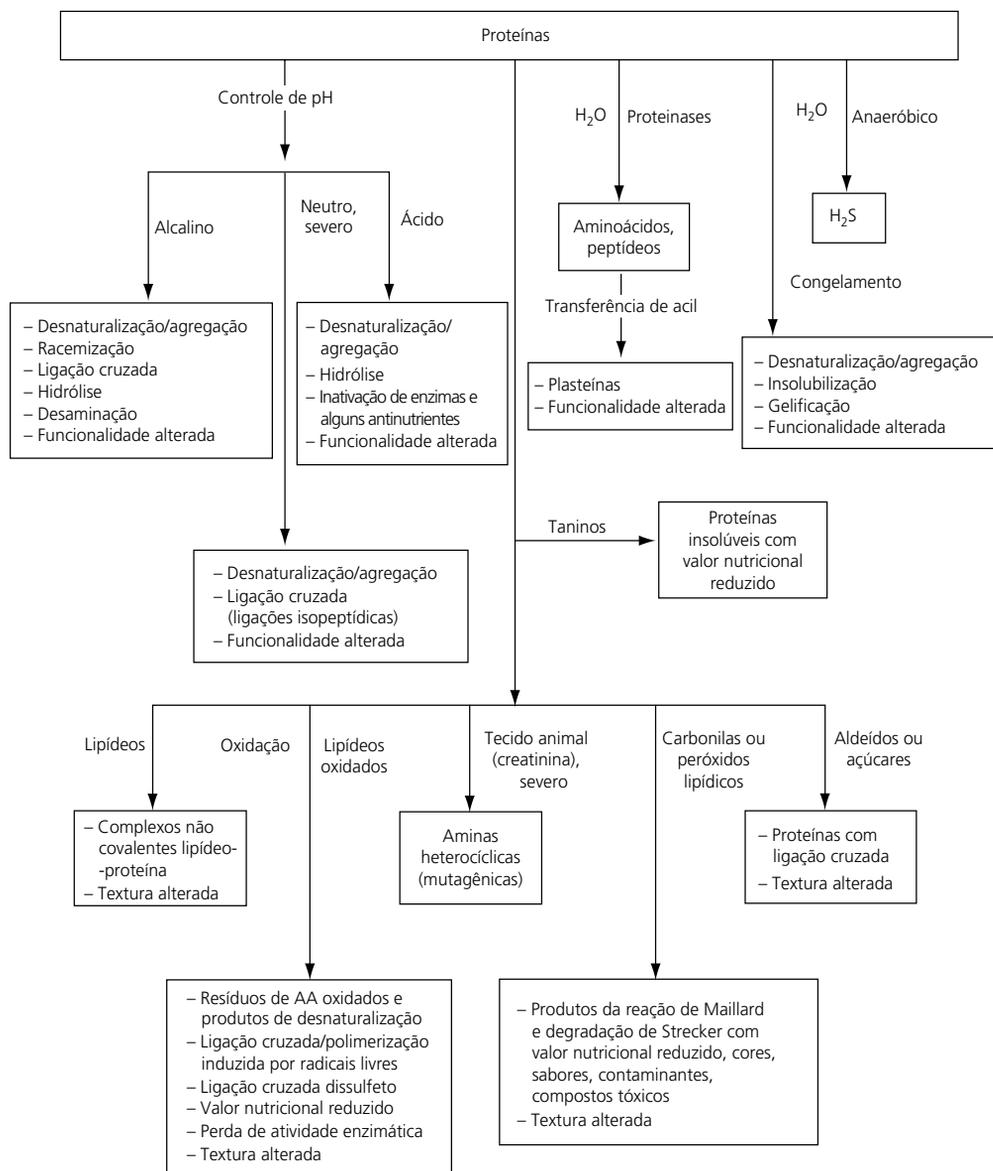
As sequências da Tabela 1.3 podem ser aplicadas em duas direções. Operando-se da esquerda para a direita, pode-se considerar um evento primário em particular, os eventos secundários

associados e o efeito sobre o atributo de qualidade. De forma alternativa, pode-se determinar as causas prováveis de uma alteração de qualidade observada (coluna 3, Tabela 1.3), considerando-se todos os eventos primários que podem estar envolvidos e então isolando, por meio de testes químicos apropriados, o evento primário principal. A utilidade do desenvolvimento dessas sequências é o estímulo à abordagem analítica

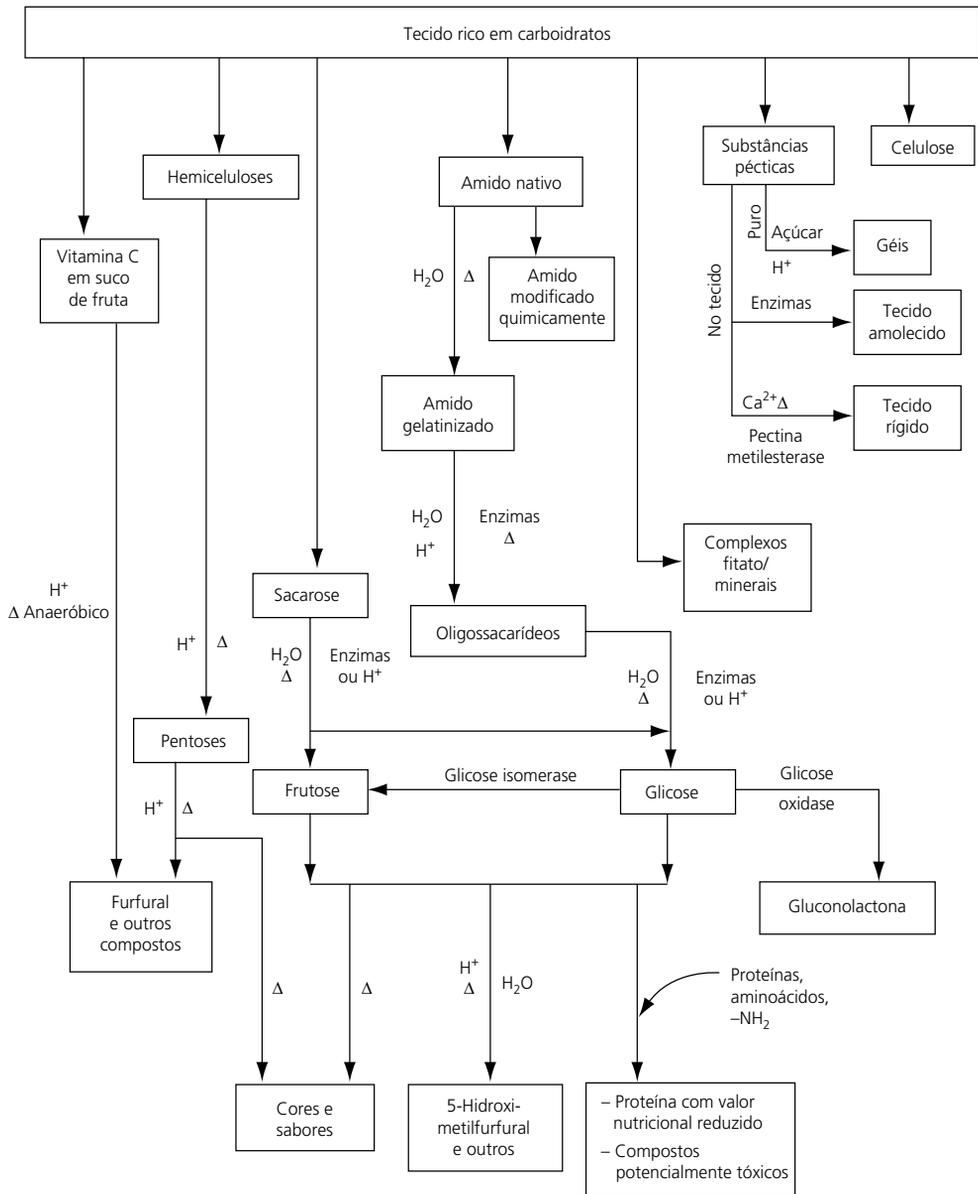
de problemas de alterações de alimentos. As propriedades físicas e químicas dos constituintes majoritários dos alimentos, isto é, proteínas, carboidratos e lipídeos, são invariavelmente alteradas durante o processamento. Essas alterações envolvem reações/interações intra e inter-componente. As principais reações envolvendo proteínas, carboidratos e lipídeos durante o pro-

cessamento e a manipulação de alimentos estão resumidas nas Figuras 1.1 a 1.3. Estes conjuntos complexos de reações/interações têm um papel essencial no desenvolvimento de propriedades sensoriais e nutricionais desejáveis e indesejáveis nos alimentos.

A Figura 1.4 é um resumo simplificado de reações e interações dos principais compo-



**FIGURA 1.1** Principais reações que as proteínas podem sofrer durante o processamento e a manipulação de alimentos. (De Taoukis, P. e Labuza, T.P., em: *Food Chemistry*, 3rd edn., Fennema, O., ed., Marcel Dekker, New York, 1996, p. 1015.)



**FIGURA 1.2** Principais reações que os carboidratos podem sofrer durante o processamento e a manipulação de alimentos. (De Taoukis, P. e Labuza, T.P., em: *Food Chemistry*, 3rd edn., Fennema, O., ed., Marcel Dekker, New York, 1996, p. 1016).

nentes dos alimentos que levam à deterioração da qualidade do alimento. Cada classe de composto sofre um tipo particular de deterioração. É notável o papel que compostos com carbonilas desempenham em diversos processos de deterioração. Elas surgem principalmente da oxidação

de lipídeos e da degradação de carboidratos, podendo levar a destruição do valor nutricional, descoloração e destruição de sabores. Certamente, essas mesmas reações conduzem a sabores e cores desejados durante o cozimento de diversos alimentos.

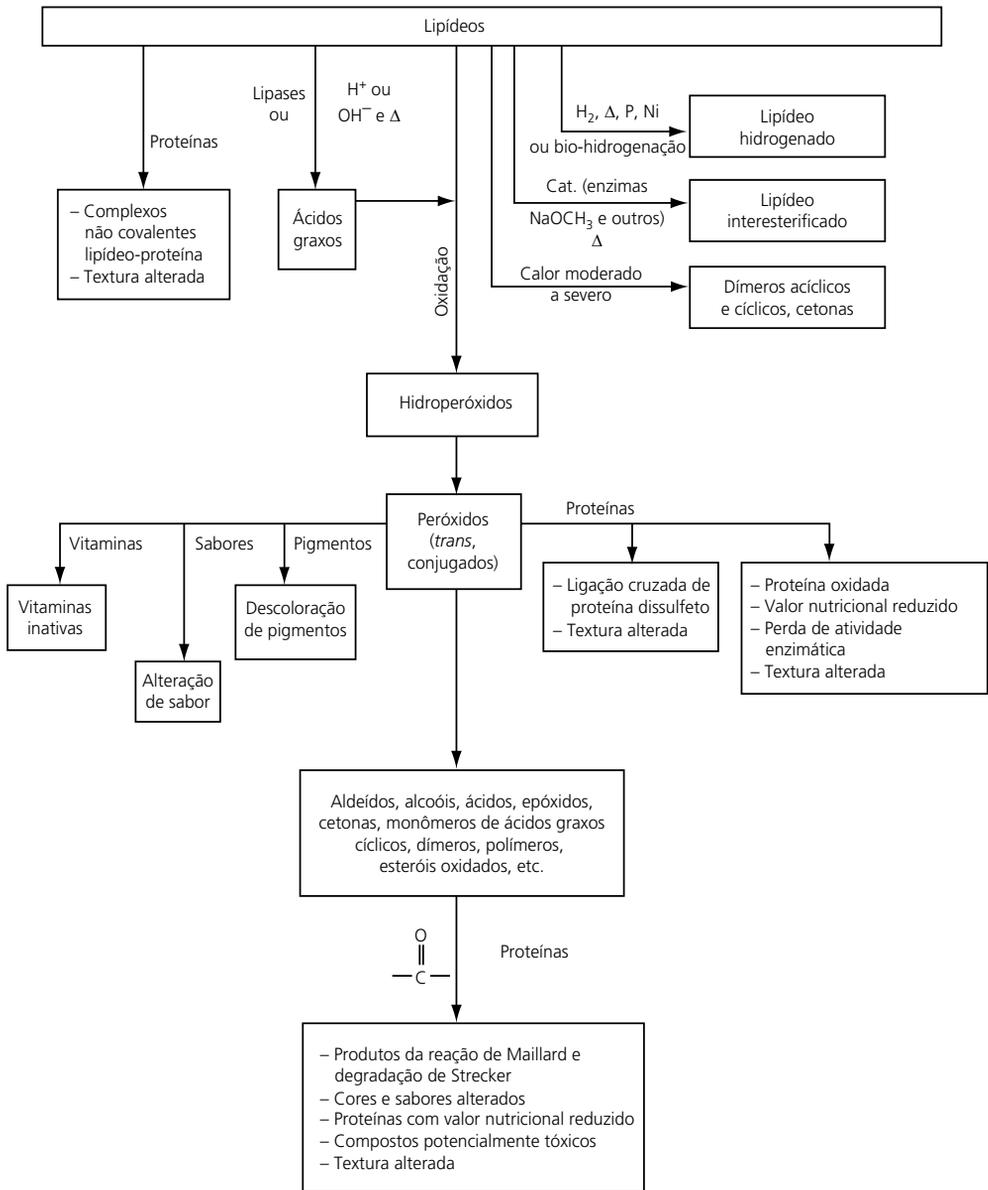


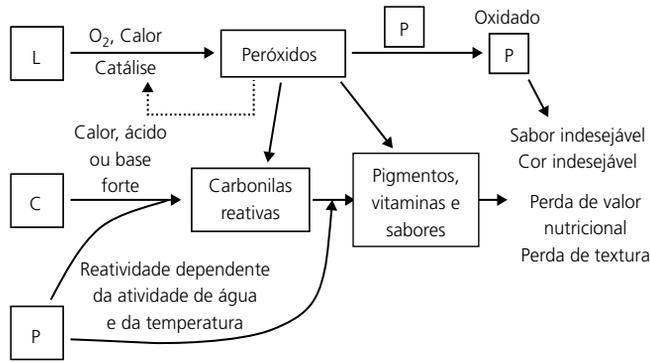
FIGURA 1.3 Principais reações que os lipídeos podem sofrer durante o processamento e a manipulação de alimentos. (De Taoukis, P. e Labuza, T.P., em: *Food Chemistry*, 3rd edn., Fennema, O., ed., Marcel Dekker, New York, 1996, p. 1017).

### 1.3.1 Análise de situações ocorridas durante o armazenamento e o processamento de alimentos

Uma vez que já foram descritos os atributos de alimentos seguros e de alta qualidade, as reações químicas relevantes envolvidas na deterioração de alimentos e a relação entre ambos, pode-se iniciar

a consideração sobre a aplicação dessa informação a situações ocorridas durante o armazenamento e o processamento de alimentos.

As variáveis importantes durante o armazenamento e o processamento de alimentos estão listadas na Tabela 1.4. A temperatura é, talvez, a variável mais importante, em decorrência da sua grande influência em todos os tipos de reações químicas. O efeito da temperatura em uma reação



**FIGURA 1.4** Resumo das interações químicas entre os componentes principais dos alimentos: L, lipídeos (triacilgliceróis, ácidos graxos e fosfolipídeos); C, carboidratos (polissacarídeos, açúcares, ácidos orgânicos, etc.); P, proteínas (proteínas, peptídeos, aminoácidos e outras substâncias que contêm N).

**TABELA 1.4** Fatores relevantes que controlam a estabilidade de alimentos durante manipulação, processamento, armazenamento

Fatores do produto	Fatores ambientais
Propriedades químicas dos componentes individuais (incluindo catalisadores), conteúdo de oxigênio, pH, atividade de água, $T_g$ e $W_g$	Temperatura ( $T$ ); tempo ( $t$ ); composição da atmosfera; tratamentos físicos, químicos ou biológicos impostos; exposição à luz; contaminação; dano físico

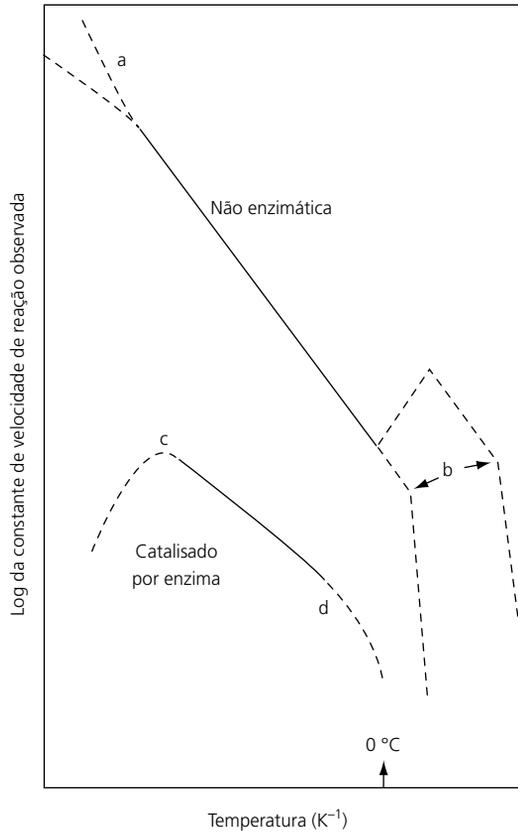
Nota: atividade de água =  $p/p_0$ , onde  $p$  é a pressão de vapor da água sobre o alimento e  $p_0$  é a pressão de vapor da água pura;  $T_g$  é a temperatura de transição vítrea;  $W_g$  é o conteúdo de água do produto na  $T_g$ .

individual pode ser estimado a partir da equação de Arrhenius,  $k = Ae^{-\Delta E/RT}$ . Dados em conformidade com a equação de Arrhenius resultam em uma linha reta quando  $\log k$  é graficado *versus*  $1/T$ . O parâmetro  $\Delta E$  é a energia de ativação que representa a variação de energia livre necessária para elevação da espécie química de um estado basal para o de transição, a partir do qual a reação pode ocorrer. Os gráficos de Arrhenius da Figura 1.5 representam reações importantes na deterioração de alimentos. É evidente que as reações em alimentos geralmente seguem a correlação de Arrhenius em um intervalo limitado de temperaturas, mas desvios a essa correlação podem ocorrer em temperaturas mais baixas ou mais elevadas [12]. Logo, é importante lembrar que a correlação de Arrhenius para sistemas alimentares é válida somente para intervalos de temperaturas que tenham sido verificados experimentalmente.

Desvios da equação de Arrhenius podem ocorrer em consequência dos seguintes eventos, muitos dos quais são induzidos tanto por altas como por baixas temperaturas: (1) a atividade enzimática pode ser perdida, (2) a rota (passo limitante) da reação pode mudar, influenciada por rea-

ções competitivas, (3) o estado físico do sistema pode mudar (p. ex., congelamento), ou (4) um ou mais reagentes podem ser totalmente consumidos.

Outro fator importante na Tabela 1.4 é o tempo. Durante o armazenamento de um alimento, costuma-se informar sobre qual período se espera que o alimento mantenha um nível específico de qualidade. Portanto, interessa-se pelo tempo em relação ao total das alterações químicas e/ou microbiológicas que ocorrem durante o período específico do tempo de armazenamento e pelo modo como a combinação dessas alterações determinam um prazo específico para o armazenamento do produto. Durante o processamento, existe interesse em se conhecer o tempo necessário de inativação de uma determinada população de microrganismos ou o tempo necessário para que uma reação ocorra, na extensão desejada. Por exemplo, pode ser de interesse o conhecimento de quanto tempo é necessário para a produção do escurecimento desejado em *chips* de batata durante a fritura. Para tanto, deve-se considerar a mudança da temperatura em função do tempo, ou seja,  $dT/dt$ . Essa relação é importante, pois permite determinar-se em que extensão a velocidade da reação muda em



**FIGURA 1.5** Ajuste de reações importantes de deterioração de alimentos à equação de Arrhenius. (a) Acima de determinados valores de  $T$ , podem ocorrer desvios da linearidade, devido a mudanças na rota da reação. (b) Com a diminuição da temperatura abaixo do ponto de congelamento do sistema, a fase de gelo (essencialmente pura) aumenta, e a fase líquida, que contém os solutos, diminui. A concentração de solutos na fase líquida pode diminuir as velocidades de reação (suplementando o efeito de diminuição da temperatura) ou aumentar as velocidades de reação (opondo-se ao efeito de diminuição da temperatura), dependendo da natureza do sistema (ver Capítulo 2). (c) Para uma reação enzimática existe uma temperatura máxima, na qual a enzima é desnaturalizada, resultando em perda de atividade, e (d) em temperatura próxima ao ponto de congelamento da água, na qual mudanças sutis, como a dissociação de um complexo enzimático, podem levar a um forte declínio da velocidade da reação.

função da temperatura da matriz alimentar durante o processamento. Se o  $\Delta E$  da reação e o perfil de temperatura do alimento são conhecidos, sua análise integrativa permite a previsão do acúmulo líquido do produto da reação. Isso também é de interesse para alimentos que se deterioram de mais de uma maneira, como por oxidação de lipídeos e escurecimento não enzimático. Se os produtos da reação de escurecimento são antioxidantes, é importante que se saiba se as velocidades relativas dessas reações são suficientes para a ocorrência de uma interação significativa entre elas.

Outra variável, o pH, influencia na velocidade de diversas reações químicas e enzimáticas.

Valores extremos de pH costumam ser necessários para que se iniba ostensivamente o crescimento microbiano ou de processos enzimáticos. Essas condições podem acelerar reações catalisadas por ácidos ou bases. Em contrapartida, mesmo uma mudança relativamente pequena no pH pode causar alterações importantes na qualidade de alguns alimentos, como, por exemplo, no músculo.

A composição do produto é importante, pois determina quais reagentes estão disponíveis para transformações químicas. Também é importante a determinação da influência de sistemas alimentares celulares; acelulares e homogêneos; e heterogêneos na disposição e na reatividade dos reagentes. É de

particular importância, do ponto de vista da qualidade, a relação existente entre a composição da matéria-prima e a composição do produto acabado. Por exemplo, (1) o modo como frutas e vegetais são manipulados no pós-colheita pode influenciar no conteúdo de açúcar, e isso, por sua vez, pode influenciar no grau de escurecimento obtido durante desidratação ou fritura; (2) o modo como tecidos animais são manipulados no pós-morte exerce influência sobre a velocidade e a extensão da glicólise e sobre a degradação de ATP, e esses fatores, por sua vez, podem influenciar em tempo de armazenamento, rigidez, capacidade de retenção de água, sabor e cor; e (3) a mistura de matérias-primas pode resultar em interações inesperadas, como, por exemplo, a taxa de oxidação pode ser acelerada ou inibida dependendo da quantidade de sal presente.

Outro fator determinante de relevância, relacionado à composição do alimento, é a atividade de água ( $a_w$ ). Diversos pesquisadores têm demonstrado que a  $a_w$  influencia fortemente na velocidade de reações catalisadas por enzimas [13], na oxidação de lipídeos [14,15], no escurecimento não enzimático [16,14], na hidrólise da sacarose [17], na degradação da clorofila [18], na degradação de antocianinas [19], entre outros. Como será abordado no Capítulo 2, a maioria das reações tende a diminuir de velocidade em  $a_w$ , tornando-se inferior ao intervalo correspondente a alimentos de umidade intermediária (0,75–0,85). A oxidação de lipídeos e seus efeitos secundários associados, como descoloração de carotenoides, são exceções a essa regra, ou seja, essas reações são aceleradas na extremidade inferior da escala de  $a_w$ .

Mais recentemente, tornou-se evidente que a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) de alimentos e o correspondente conteúdo de água ( $W_g$ ) na  $T_g$  estão relacionados às taxas de eventos de difusão limitada nos alimentos. Portanto,  $T_g$  e  $W_g$  têm relevância para propriedades físicas de alimentos congelados e desidratados, condições adequadas de liofilização, alterações físicas que envolvem a cristalização, a recristalização, a gelatinização e a retrogradação do amido, e para reações químicas limitadas por difusão (ver Capítulo 2).

Em produtos industrializados, a composição pode ser controlada pela adição de compostos químicos permitidos, como acidulantes, agentes quelantes, flavorizantes ou antioxidantes, bem

como pela remoção de reagentes indesejáveis, como, por exemplo, a remoção de glicose do albúmen de ovo desidratado.

A composição da atmosfera é importante, em especial, em relação à umidade relativa e ao conteúdo de oxigênio, embora o etileno e o  $\text{CO}_2$  também sejam importantes durante o armazenamento de tecidos de origem vegetal. Infelizmente, em situações nas quais a exclusão do oxigênio é desejável, essa condição é quase impossível de ser obtida por completo. Em alguns casos, os efeitos deletérios de quantidades residuais de oxigênio tornam-se aparentes durante o armazenamento. Por exemplo, a formação prematura de pequenas quantidades de ácido desidroascórbico (a partir da oxidação do ácido ascórbico) pode resultar em escurecimento pela reação de Maillard, durante o armazenamento.

Para alguns produtos, a exposição à luz pode ser deletéria. Nesses casos, é adequado que os produtos sejam embalados em material refratário à luz ou que se controlem a intensidade e os comprimentos de onda da luz, se possível.

Os químicos de alimentos devem ser capazes de integrar as informações sobre atributos de qualidade dos alimentos, reações de deterioração a que os alimentos são suscetíveis e fatores que controlam os tipos e as velocidades dessas reações, a fim de resolverem problemas relacionados a formulação, processamento e estabilidade durante o armazenamento.

## 1.4 PAPEL SOCIAL DO QUÍMICO DE ALIMENTOS

### 1.4.1 Por que o químico de alimentos deve estar envolvido em questões sociais?

Os químicos de alimentos, pelas seguintes razões, devem sentir-se impelidos a se envolverem em questões sociais, as quais permeiem aspectos tecnológicos pertinentes (questões tecnossociais):

- Os químicos de alimentos tiveram o privilégio de receber uma educação de alto nível, tendo adquirido habilidades científicas especiais. Esses privilégios e habilidades trazem consigo um alto nível de responsabilidade correspondente.

- As atividades dos químicos de alimentos influenciam na pertinência do abastecimento de alimentos, na saúde da população, nos custos dos alimentos, na geração e na utilização de resíduos, no uso de água e energia e na natureza das legislações de alimentos. Como esses assuntos vão ao encontro do bem-estar público em geral, é razoável que esses químicos sintam a responsabilidade de direcionarem suas atividades ao benefício da sociedade.
- Se os químicos de alimentos não se envolverem em questões tecnossociais, a opinião de outras pessoas – cientistas de outras profissões, lobistas profissionais, mídia, consumidores ativistas, charlatães, entusiastas antitecnologia – prevalecerá. Muitos desses indivíduos são menos qualificados que um químico de alimentos em temas relacionados a alimentos, sendo que alguns são obviamente desqualificados.
- Os químicos de alimentos têm a missão e a oportunidade de ajudar na resolução de controvérsias que causem impacto ou que são entendidas como conflitantes, no que se refere à saúde pública e em como o público enxerga o desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Exemplos de algumas controvérsias atuais são segurança da clonagem e OGMs, uso de hormônios de crescimento animal na produção agrícola e valor nutricional relativo de colheitas produzidas por meio de métodos de cultivo orgânico e convencional.

### 1.4.2 Tipos de envolvimento

As obrigações sociais do químico de alimentos incluem bom desempenho profissional, cidadania e respeito à ética da comunidade científica, porém o cumprimento desses requisitos tão necessários não é suficiente. Um papel adicional de grande importância, que muitas vezes permanece sem abordagem pelos químicos de alimentos, é a função de auxílio na determinação de como o conhecimento científico é interpretado e usado pela sociedade. Embora os químicos de alimentos e outros cientistas de alimentos não devam ter opinião absoluta a respeito dessas decisões, eles devem, para fins de uma tomada de decisão sábia,

ter sua visão observada e considerada. A aceitação dessa postura, que é certamente indiscutível, leva a uma questão óbvia: “O que deve fazer exatamente um químico de alimentos para exercer sua função, nesse tema, de maneira correta?” Várias atividades são adequadas:

1. Participação em sociedades profissionais pertinentes.
2. Realização de trabalhos como consultor em comitês governamentais, quando houver convite.
3. Comprometimento com iniciativas pessoais em atividades de natureza pública.

O terceiro ponto pode envolver cartas a jornais, periódicos, legisladores, agências governamentais, executivos de empresas, administradores de universidades, e outros, bem como palestras a grupos da sociedade civil, incluindo sessões com estudantes e demais agentes sociais.

Os objetivos principais desses esforços são educar e esclarecer o público em relação a alimentos e práticas dietéticas. Isso envolve a melhora da capacidade do público de avaliar de forma inteligente as informações desses tópicos. Alcançar tal objetivo não será fácil, pois uma parte significativa da população tem arraigadas noções falsas sobre alimentos e práticas dietéticas e, em decorrência de o alimento ter, para muitos indivíduos, conotações que se estendem para muito além da visão estrita dos químicos. Sua função pode integrar práticas religiosas, herança cultural, rituais, simbolismo social ou uma rota para o bem-estar fisiológico. Para a maioria, essas posturas não devem ser consideradas na análise dos alimentos e de práticas dietéticas, com valor científico sólido.

Um dos temas alimentares mais controversos, o qual tem evadido à avaliação científica, pelo público, é o uso de substâncias químicas para a modificação de alimentos. A **quimiofobia**, medo de substâncias químicas, tem afligido grande parte da população, fazendo os aditivos químicos, na mente de muitos, representarem riscos que não condizem com os fatos. Pode-se encontrar, com facilidade preocupante, artigos na literatura popular em que se alerta para os alimentos fornecidos aos Estados Unidos, os quais estariam suficientemente carregados com venenos, podendo causar malefícios, no melhor dos casos,

e ameaça à vida, no pior. É, de fato, chocante, dizem eles, a maneira como os industrialistas envenenam nossos alimentos por lucro enquanto a ineficiente Food and Drug Administration observa com despreocupação. Autores com esse ponto de vista devem merecer crédito? A resposta para essa questão reside no mérito e na credibilidade que o autor tem em relação ao tema científico que está no centro da discussão. A credibilidade está fundamentada em educação formal, treinamento, experiência prática e contribuições ao conjunto do conhecimento ao qual uma discussão particular está ligada. Atividades de ensino podem ter a forma de pesquisa, descobrimento de novos conhecimentos, revisão e/ou interpretação do corpo do conhecimento. Credibilidade é, ainda, fundamentada em experimentação objetiva, a qual requer consideração de pontos de vista alternativos sobre o conhecimento existente do tema enquanto exequível, em vez do simples apontamento de fatos e interpretações que dão suporte a um ponto de vista preferencial. O conhecimento acumulado pela publicação de resultados de estudos na literatura científica (a qual é submetida à revisão por consultores e está baseada em padrões profissionais específicos de protocolos, documentação e ética) é, portanto, mais merecedor de créditos que publicações populares.

Mais próximo à imaginação diária do estudante ou do profissional em ciência de alimentos em formação, o tema contemporâneo em relação à credibilidade da informação trata da expansão da informação (incluindo a de natureza científica) que está pronta e facilmente acessível pela internet. Algumas dessas informações costumam não ser atribuídas a um autor e o *site* pode ser carente de credenciais óbvias para ser creditado como admissível fonte de credibilidade e mérito. Algumas informações podem ser postadas para o favorecimento de pontos de vista ou causas, podendo fazer parte de uma campanha de *marketing* que tenha a finalidade de influenciar percepções ou hábitos de consumo dos visitantes. Algumas informações da rede são meritórias, tendo sido disseminadas por cientistas treinados e editores científicos; no entanto, o estudante é encorajado a considerar com cautela as fontes de informação

obtidas na internet e não se submeter à simples facilidade de acesso.

Apesar da expansão atual e crescente do conhecimento sobre ciência de alimentos, ainda existe discordância sobre segurança alimentar e outros temas concernentes a essa ciência. A maioria dos pesquisados reconhecidos apoia a visão de que nosso suprimento de alimentos é razoavelmente seguro e nutritivo e que os aditivos alimentares legais não apresentam riscos indesejáveis [20–30], embora a vigilância contínua, em virtude de efeitos adversos, seja prudente. Entretanto, um grupo relativamente pequeno de pesquisadores reconhecidos acredita que o fornecimento de alimentos apresenta riscos desnecessários, em particular em relação a alguns aditivos legalizados.

O debate científico em fóruns públicos tem se expandido recentemente, incluindo a segurança pública e ambiental de OGMs, o valor nutricional relativo de colheitas orgânicas e convencionais e a adequação de afirmações conduzidas pela mídia que podem ser interpretadas pelo público como benefícios à saúde em relação a suplementos dietéticos, entre outros. O conhecimento científico desenvolve-se de forma cumulativa e lenta, de modo que pode nos preparar completamente para a próxima discussão. É papel dos cientistas o envolvimento com esse processo, estimulando as partes envolvidas a manter o foco na ciência e no conhecimento, permitindo que políticos adequadamente mais informados encontrem conclusões apropriadas.

Em suma, os cientistas apresentam mais obrigações com a sociedade que indivíduos sem educação científica formal. Espera-se dos cientistas a geração de conhecimento de maneira produtiva e ética, mas isso não é suficiente. Além disso, eles devem aceitar sua responsabilidade de garantir que o conhecimento científico seja usado de modo a render o maior benefício possível à sociedade. O preenchimento dessa obrigação requer que os cientistas não apenas zelem pela excelência e conformidade a altos padrões de ética em suas atividades profissionais diárias, mas que também desenvolvam uma profunda preocupação com o bem-estar e com o esclarecimento científico do público.

## REFERÊNCIAS

1. Browne, C. A. (1944). *A Source Book of Agricultural Chemistry*, Chronica Botanica Co., Waltham, MA.
2. Ihde, A. J. (1964). *The Development of Modern Chemistry*, Harper & Row, New York.
3. Filby, F. A. (1934). *A History of Food Adulteration and Analysis*, George Allen & Unwin, London, U.K.
4. Davy, H. (1813). *Elements of Agricultural Chemistry, in a Course of Lectures for the Board of Agriculture*, Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown, London, U.K. Cited by Browne, 1944 (Reference 1).
5. Davy, H. (1936). *Elements of Agricultural Chemistry*, 5th edn. Longman, Rees, Orme, Brown, Green and Longman, London, U.K.
6. Chevreul, M. E. (1824). *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications*, F.-G. Levrault. Cited by Filby, 1934 (Reference 3).
7. Beaumont, W. (1833). *Experiments and Observations of the Gastric Juice and the Physiology of Digestion*, F. P. Allen, Plattsburgh, NY.
8. Liebig, J. von (1847). *Researches on the Chemistry of Food*, edited from the author's manuscript by William Gregory; London, Taylor and Walton, London, U.K. Cited by Browne, 1944 (Reference 1).
9. Accum, F. (1966). *A Treatise on Adulteration of Food, and Culinary Poisons, 1920*, Facsimile reprint by Mallinckrodt Chemical Works, St. Louis, MO.
10. Anonymous (1831). *Death in the Pot*. Cited by Filby, 1934 (Reference 3).
11. McCollum, E. V. (1959). The history of nutrition. *World Rev. Nutr. Diet.* 1:1–27.
12. McWeeny, D. J. (1968). Reactions in food systems: Negative temperature coefficients and other abnormal temperature effects. *J. Food Technol.* 3:15–30.
13. Acker, L. W. (1969). Water activity and enzyme activity. *Food Technol.* 23:1257–1270.
14. Labuza, T. P., S. R. Tannenbaum, and M. Karel (1970). Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods. *Food Technol.* 24:543–550.
15. Quast, D. G. and M. Karel (1972). Effects of environmental factors on the oxidation of potato chips. *J. Food Sci.* 37:584–588.
16. Eichner, K. and M. Karel (1972). The influence of water content and water activity on the sugar-amino browning reaction in model systems under various conditions. *J. Agric. Food Chem.* 20:218–223.
17. Schoebel, T., S. R. Tannenbaum, and T. P. Labuza (1969). Reaction at limited water concentration. 1. Sucrose hydrolysis. *J. Food Sci.* 34:324–329.
18. LaJollo, F., S. R. Tannenbaum, and T. P. Labuza (1971). Reaction at limited water concentration. 2. Chlorophyll degradation. *J. Food Sci.* 36:850–853.
19. Erlandson, J. A. and R. E. Wrolstad (1972). Degradation of anthocyanins at limited water concentration. *J. Food Sci.* 37:592–595.
20. Clydesdale, F. M. and F. J. Francis (1977). *Food, Nutrition and You*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
21. Hall, R. L. (1982). Food additives, in *Food and People* (D. Kirk and I. K. Eliason, Eds.), Boyd & Fraser, San Francisco, CA, pp. 148–156.
22. Jukes, T. H. (1978). How safe is our food supply? *Arch. Intern. Med.* 138:772–774.
23. Mayer, J. (1975). *A Diet for Living*, David McKay, Inc., New York.
24. Stare, F. J. and E. M. Whelan (1978). *Eat OK—Feel OK*, Christopher Publishing House, North Quincy, MA.
25. Taylor, R. J. (1980). *Food Additives*, John Wiley & Sons, New York.
26. Whelan, E. M. (1993). *Toxic Terror*, Prometheus Books, Buffalo, NY.
27. Watson, D. H. (2001). *Food Chemical Safety*. Vol. 1: Contaminants, Vol. 2: Additives, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, U.K.
28. Roberts, C. A. (2001). *The Food Safety Information Handbook*, Oryx Press, Westport, CT.
29. Riviere, J. H. (2002). *Chemical Food Safety—A Scientist's Perspective*, Iowa State Press, Ames, IA.
30. Wilcock, A., M. Pun, J. Khanona, and M. Aung (2004). Consumer attitudes, knowledge and behaviour: A review of food safety issues. *Trends Food Sci. Technol.* 15:56–66.
31. Taoukis, P. and T. P. Labuza (1996). Summary: Integrative concepts (shelf life testing and modeling), in: *Food Chemistry*, 3rd edn. (O. Fennema, ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 1013–1042.