



s frutas cítricas, tais como laranjas, limas, limões, toranjas e tangerinas, são fontes de substâncias nutricionalmente importantes, como a vitamina C, o folato e as fibras. Além desses nutrientes, nos últimos anos uma classe de fitoquímicos conhecidos como limonoides tem atraído a atenção de pesquisadores. É sobre esses compostos que se vai discorrer neste capítulo.

O termo *limonoide* é derivado de limonina, o primeiro composto identificado como responsável pelo sabor amargo em sementes cítricas, em 1841. Posteriormente, foram descobertas propriedades antitumorais desse composto em um teste realizado em células de leucemia. Com isso, a avaliação dos efeitos potenciais de limonoides na saúde humana tornou-se interessante, e os limonoides passaram a ser descritos como eficientes na prevenção de doenças cardíacas e coronarianas. As pesquisas indicam que também existe uma forte relação entre o consumo dos limonoides e a prevenção de diferentes tipos de câncer. Atualmente, 62 limonoides já foram identificados, e há um esforço contínuo para descobrir outros compostos dessa classe.

Durante as últimas décadas, investigou-se a natureza bioquímica desse grupo de compostos naturais, além de suas funções biológicas, possíveis aplicações em alimentos, e importância na fisiologia vegetal, na recuperação de subprodutos e em aplicações comerciais. No entanto, o maior interesse está em seu potencial como um composto bioativo atuante na prevenção e/ou na redução do risco de inúmeras doenças crônicas não transmissíveis, com destaque para o câncer.

#### 4.1 Química e síntese

Os terpenoides, também conhecidos como isoprenoides, são formados por cinco moléculas de isopreno e podem ser classificados como hemiterpenos ( $C_5$ ), mono- ( $C_{10}$ ), sesqui- ( $C_{15}$ ), di- ( $C_{20}$ ), tri- ( $C_{30}$ ) e tetraterpenos ( $C_{40}$ ).

Os limonoides constituem terpenoides policíclicos altamente oxigenados que podem conter de 7 a 11 átomos de oxigênio em sua estrutura e que são produzidos pelo metabolismo secundário de plantas das famílias *Rutaceae* e *Meliaceae*.

Em geral, são componentes alimentares não nutritivos encontrados em óleos essenciais de frutas cítricas, como cereja, menta e ervas, que funcionam fisiologicamente como quimioatrativos e quimiorrepelentes, e são amplamente responsáveis pela fragrância de muitas plantas. Os terpenoides de dez carbonos são derivados da via do mevalonato em plantas, mas não são produzidos por mamíferos, fungos ou outras espécies.

Em frutas, os limonoides podem estar presentes de duas formas: na forma aglicona ou na forma glicosídica. Os limonoides na forma aglicona, comumente encontrados em sementes e cascas (70% e 80% do total, respectivamente), são insolúveis em água e proporcionam um sabor amargo aos alimentos (Boxe 4.1). Já aqueles na forma glicosídica, formados durante o processo de maturação dos frutos e presentes em maior quantidade em sucos e polpas (6% e 76% do total, respectivamente), são ligados a açúcares, apresentam comportamento hidrofílico e não conferem sabor ao alimento. A forma glicosídica possui um anel aberto D para acomodar uma porção de glicose; já em sua forma aglicona, o anel D é fechado.

#### **Boxe 4.1** Amargor em frutas cítricas

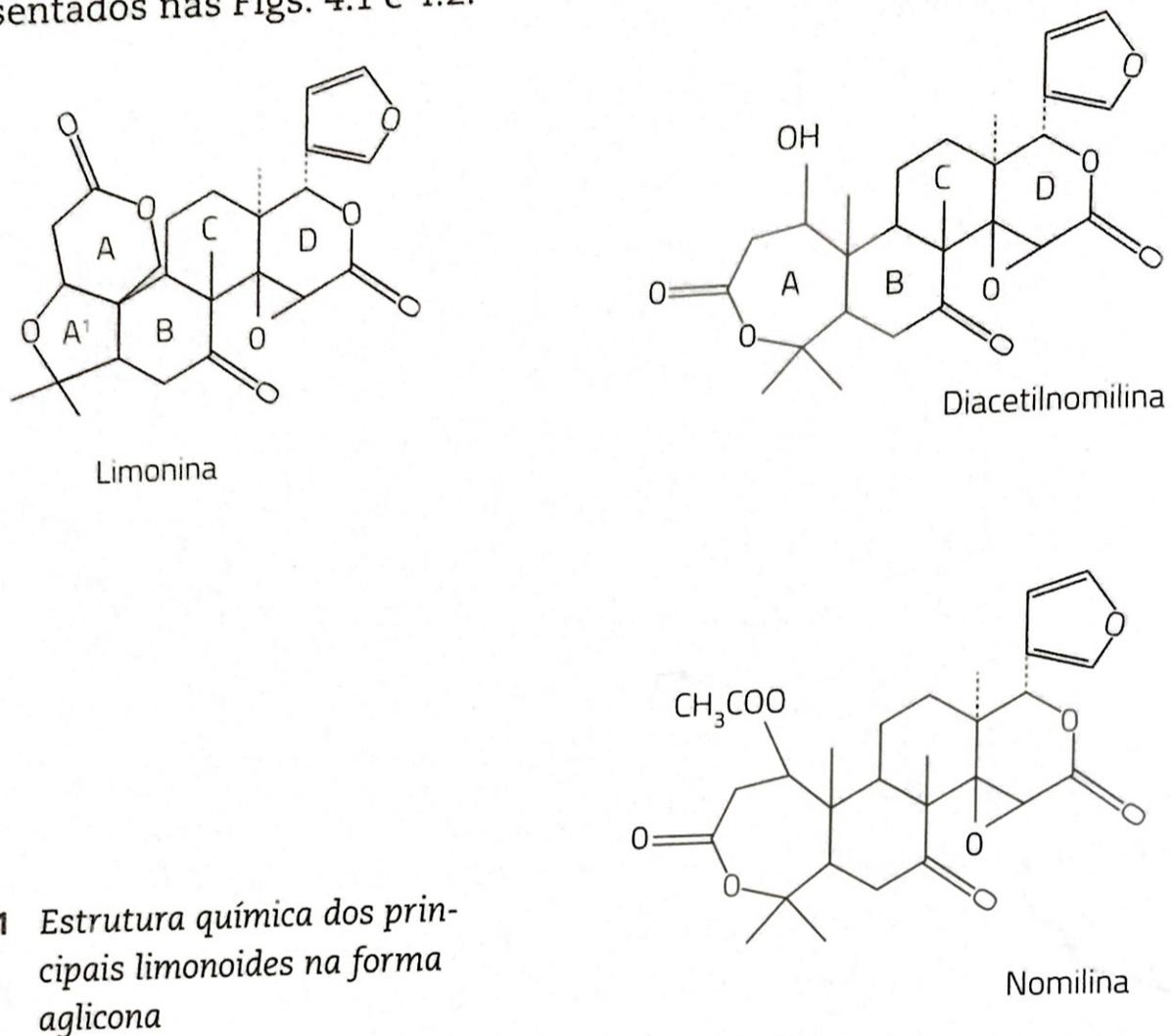
Uma característica indesejável dos limonoides é a capacidade de desenvolver um sabor amargo nos sucos de cítricos. Os limonoides responsáveis por essa atividade são aqueles na forma aglicona. Entre os limonoides agliconas com a característica de amargor, a limonina é o mais abundante em sementes de cítricos e o principal agente causador do sabor amargo. A nomilina, o ácido obacunoico, a ichangina, o ácido desoxilimonoico e o ácido nomilínico são os outros limonoides agliconas identificados como inerentemente amargos (Manners, 2007).

Para a indústria de sucos, esses compostos constituem um problema tecnológico. O desenvolvimento de um sabor amargo em decorrência de alterações no seu conteúdo de limonoides é uma característica indesejável para a produção e a comercialização de sucos cítricos. O aparecimento desse sabor contribuiu com perdas de até US\$ 90 milhões na Califórnia de 1992 a 2006 e acarreta prejuízos até os dias atuais. Além disso, ocorre uma restrição de certas variedades de cítricos para comercialização somente como fruta de mesa, em vez da sua aplicação na indústria de sucos, como é o caso da laranja-de-umbigo (Manners, 2007).

O desenvolvimento de um sabor amargo excessivo é um problema-chave na indústria de processamento de frutas cítricas. Dessa forma, métodos de resinas de troca iônica foram desenvolvidos para remover os princípios amargos de uma variedade de sucos de cítricos. Embora esses processos de remoção de componentes amargos sejam eficazes, são de uso limitado comercialmente. O método mais utilizado

atualmente é a mistura de suco amargo com suco não amargo, visando diluir o sabor amargo. Uma abordagem promissora para esse problema parece ser a criação de novas variedades por engenharia genética.

Os principais limonoides, em suas formas aglicona e glicosídica, são apresentados nas Figs. 4.1 e 4.2.



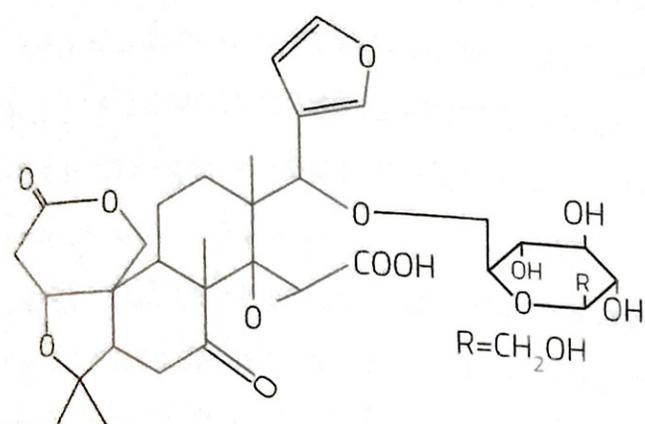
**Fig. 4.1** Estrutura química dos principais limonoides na forma aglicona

O D-limoneno é o limonoide presente em maior quantidade no óleo de frutas cítricas. Quimicamente, trata-se de um hidrocarboneto monoterpênico (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>) denominado 4-isopropenil-1-metil-1-ciclohexeno; 1,8-P-mentadieno; cineno; ou ainda limoneno. A Fig. 4.3 mostra a estrutura química do composto.

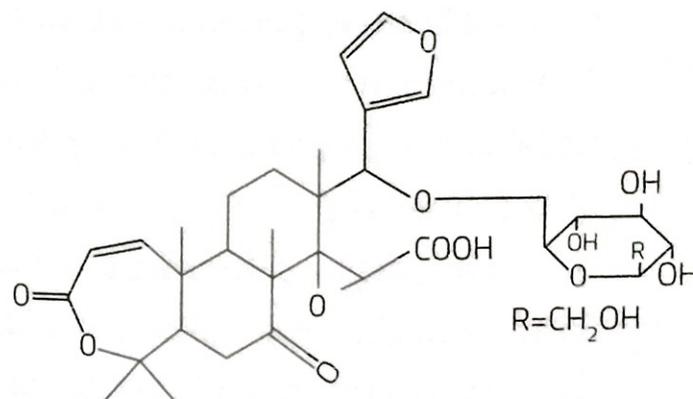
Em frutas cítricas, na hortelã e em outras plantas, o D-limoneno é formado pela reação de ciclização do geranyl-pirofosfato. Esse composto serve como um precursor para outros monoterpênicos cíclicos oxigenados, entre eles, o carveol, a carvona, o mentol, o álcool perílico e o perilaldeído.

O composto limoneno pode estar presente nos cítricos na forma de dois isômeros ópticos: D-limoneno, comumente encontrado em laranjas, e o L-limoneno, presente em limões; ou, ainda, os frutos podem conter a mistura

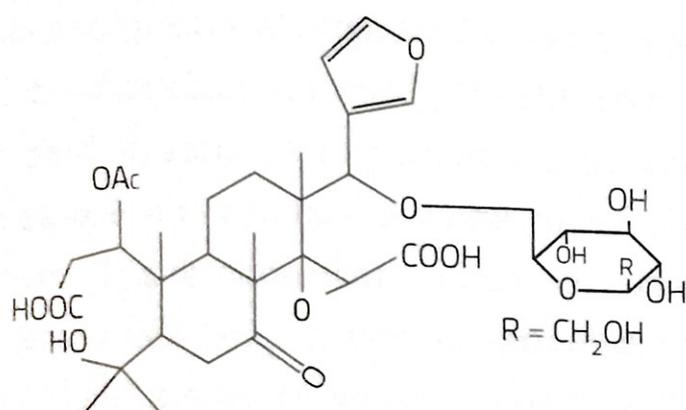
racêmica (DL-limoneno). Esses isômeros são encontrados em diferentes quantidades e proporções de acordo com a planta. No entanto, a forma isomérica cíclica predominante é o D-limoneno, presente em cerca de 98% de todos os óleos cítricos (Christensson et al., 2009).



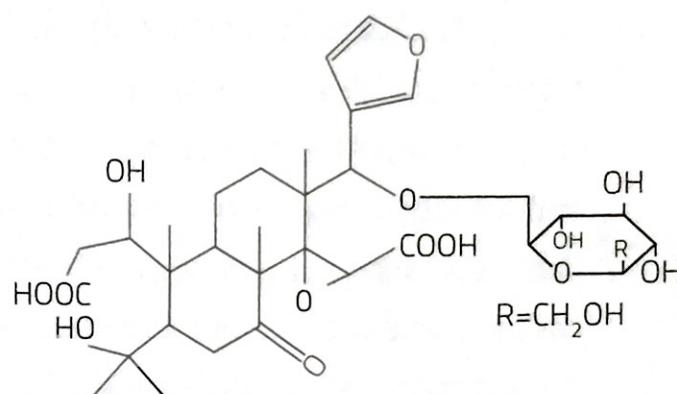
Limonina 17-β-D-glicopiranosídeo (LG)



Obacunona 17-β-D-glicopiranosídeo (OG)



Ácido nomilínico 17-β-D-glicopiranosídeo (NAG)



Ácido diacetil-nomilínico 17-β-D-glicopiranosídeo

Fig. 4.2 Estrutura química dos principais limonoides na forma glicosídica



Fig. 4.3 Fórmula estrutural do D-limoneno (4-isopropenil-1-metil-1-ciclohexeno)

## 4.2 Fontes

As principais fontes de limonoides são as frutas cítricas, mais especificamente os óleos essenciais de cítricos. Os óleos de frutas cítricas são largamente utilizados pelas indústrias de alimentos, farmacêutica e de cosméticos como aditivos naturais de sabor e aroma. Os cítricos representam mais de 40% do total dos óleos essenciais utilizados pela indústria alimentícia, sendo empregados na fabricação de sorvetes,

balas, doces e refrigerantes, além de serem incorporados a sucos cítricos concentrados.

Os limonoides são subprodutos da extração de óleo essencial. Conforme já citado anteriormente, o destaque entre os limonoides é o D-limoneno, que corresponde a cerca de 90% do óleo essencial da casca da laranja.

Algumas fontes alimentares específicas de monoterpenos incluem o D-limoneno de óleos de casca de laranja e outras frutas cítricas; o álcool perílico da cereja e da hortelã; a carvona da alcaravia e da hortelã; e o geraniol do óleo de melissa.

A laranja, a toranja e o suco de limão contêm, em média, 320, 190 e 80 mg/mL de limonoides glicosídicos, respectivamente, enquanto um copo de suco de laranja pode ter cerca de 60 mg (Miller et al., 2006), o que indica que o processamento afeta significativamente o conteúdo de limonoides do produto final.

Na toranja, os principais limonoides são o limoneno, a obacunona, a nomilina, o diacetilnomilina, a limonina e o 17- $\beta$ -D-glicopiranosídeo.

Em geral, os sucos cítricos comerciais possuem quantidades de limonoides agliconas – os responsáveis pelo sabor amargo – abaixo de 6 ppm. Contudo, esses sucos apresentam altas concentrações de limonoides glicosídicos. Por exemplo, o suco de laranja contém uma concentração média total de limonoides glicosídicos de 320 ppm (Hasegawa; Berhow; Manners, 2000).

Vale a pena destacar que os resíduos que incluem cascas e sementes contêm concentrações superiores de limonoides glicosídicos quando comparados ao suco. Por isso, o processamento de subprodutos de sucos cítricos constitui uma alternativa sustentável para a obtenção de limonoides.

As sementes cítricas representam uma fonte natural de limonoides agliconas, sendo que o conteúdo desses compostos pode alcançar até 1% de seu peso fresco. Não obstante, subprodutos do processamento do suco de laranja (sólidos da casca e polpa) contêm cerca de 50% do total dos limonoides glicosídicos das laranjas inteiras, ou seja, cerca de duas vezes a quantidade de limonoides glicosídicos presente no suco processado a partir dessas laranjas. Assim, conclui-se que a principal fonte de limonoides a ser explorada pela indústria, tanto na forma aglicona quanto na glicosídica, são os resíduos da produção de sucos cítricos.

### 4.3 Metabolismo

O D-limoneno possui um alto grau de biodisponibilidade oral em mamíferos. Em experimentos animais, o D-limoneno e seus metabólitos podem ser detectados 20 minutos após sua administração

por gavagem. O D-limoneno e seus metabólitos são detectáveis no sangue, no fígado, no pulmão e em muitos outros tecidos; as maiores concentrações podem ser detectadas no tecido adiposo e na glândula mamária, e não tanto em tecidos menos gordurosos. A meia-vida do limoneno, tanto em ratos quanto em humanos, tem sido estimada em torno de 12 a 24 horas, e a excreção ocorre através da urina (Crowell, 1999).

Inúmeras vias (>17) estão envolvidas no metabolismo do limoneno. Em ratos, os dois principais metabólitos de limoneno são o ácido perílico e o ácido di-hidroperílico. Os humanos produzem, além desses dois metabólitos de soro, o limoneno-1,2-diol. Em estudos anteriores, conjugados de ácido perílico e uroterpenol também foram detectados na urina de muitos mamíferos alimentados com limoneno (Ariyoshi et al., 1975).

Os seres humanos estão expostos ao limoneno por meio de alimentos, ar, produtos farmacêuticos e cosméticos devido a sua ampla utilização como fragrância. Inúmeros estudos toxicológicos foram realizados, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, para avaliar a toxicidade desse composto. As pesquisas demonstraram que há baixa toxicidade em animais quando o D-limoneno é administrado por via oral, sendo o fígado um órgão amplamente afetado nesse caso. No uso tópico, as avaliações de segurança e de risco mostraram que o emprego de D-limoneno em cosméticos pode ser considerado seguro sob o atual regulamento de cosméticos (Kim et al., 2013b).

Estudos *in vivo* têm confirmado que os limonoides não são tóxicos para os seres humanos. Os resultados mostraram que os animais que consomem uma dieta contendo até 3% de limonoides agliconas ou limonoides glucosídicos não sofreram consequências tóxicas. Os dados obtidos nos experimentos indicam que seria necessário o consumo de 130 copos de suco de laranja por dia para um efeito proporcional tóxico (Guthrie et al., 2000; Miller et al., 2000, 2006).

O extrato de laranja-amarga (*Citrus aurantium*), é utilizado para controle/perda de peso e melhora no desempenho físico, em combinação com uma ampla variedade de outros ingredientes à base de plantas, incluindo a cafeína. Como consequência, é difícil avaliar a contribuição de cada componente para um determinado resultado ou evento adverso (Stohs; Preuss; Shara, 2012). Kaats et al. (2013) avaliaram a segurança do extrato de laranja-amarga em um estudo duplo-cego controlado por placebo, em que administraram o composto duas vezes por dia, por 60 dias, a um grupo de 25 voluntários saudáveis. Os resultados indicaram que o consumo do extrato não provocou alterações significativas na pressão arterial ou na química do sangue. Além

disso, nenhum efeito adverso foi relatado. Os resultados sugerem que o extrato de laranja-amarga pode ser utilizado sem efeitos adversos em uma dose de até 98 mg por dia durante 60 dias.

Mahmoud et al. (2014) investigaram os efeitos da limonina isolada das sementes de laranja-amarga na toxicidade hepática utilizando modelos animais de inflamação hepática aguda. A administração oral de limonina atenuou significativamente os marcadores de dano hepático e de inflamação hepática, bem como o estresse oxidativo. Os resultados indicam um efeito protetor contra a toxicidade hepática associada com inflamação e lesão tecidual via atenuação da inflamação e redução do estresse oxidativo.

#### **4.4 Benefícios à saúde**

Inúmeros benefícios à saúde podem ser obtidos com o consumo regular de limonoides. É possível destacar a atuação desses compostos como agentes anti-inflamatórios, na redução do colesterol no sangue e, principalmente, no combate ao câncer.

##### **4.4.1 Prevenção do câncer**

A relação inversa entre o consumo de frutas e a incidência de câncer já foi fortemente comprovada em estudos científicos. Diante disso, compostos presentes em alimentos de origem vegetal têm sido isolados e testados como possíveis agentes anticarcinogênicos.

Inúmeros estudos epidemiológicos indicam que os cítricos exercem uma atividade protetora contra o câncer. Antigamente, presumia-se que a vitamina C era a responsável por esse efeito. No entanto, com o passar dos anos, estudos indicaram que os cítricos contêm vários quimiopreventivos, e entre eles, destacam-se os limonoides.

Os limonoides suprimem a proliferação celular e induzem a apoptose pela inibição de enzimas e vias de transdução de sinais. Além disso, também são considerados os responsáveis pela inibição da metástase tanto em trabalhos realizados em cultura de células quanto em estudos com animais.

O D-limoneno é um composto solúvel em gordura que se deposita nos tecidos ricos em gordura. Esse fato apoia a hipótese de que o uso de D-limoneno exerce quimioprevenção em tecidos como a mama, que são constituídos por uma fração significativa de gordura. Os efeitos bloqueadores quimiopreventivos do limoneno e de outros monoterpenos durante a fase inicial da carcinogênese mamária se devem, provavelmente, à indução de enzimas que metabolizam carcinógenos na fase II, resultando na desintoxicação do carcinógeno. Na fase pós-inicial, a supressão de tumores dos monoterpenos pode

ser consequência da indução de apoptoses e/ou da inibição de isoprenilação de proteínas reguladoras de crescimento celular.

Os limonoides podem agir por meio de múltiplos mecanismos na quimioprevenção e na quimioterapia de câncer. No entanto, a ativação das enzimas de fase II constitui o principal mecanismo de ação desses compostos. A glutathione S-transferase (GST) é um sistema enzimático que catalisa a conjugação de glutathione com muitos compostos eletrofílicos, sendo que inúmeros compostos carcinogênicos são altamente eletrofílicos. Os conjugados de glutathione e compostos carcinogênicos são menos reativos e mais solúveis em água, facilitando a excreção. Um aumento da atividade de GST é, por conseguinte, uma elevação no mecanismo que protege contra os efeitos nocivos de xenobióticos, incluindo substâncias cancerígenas. A atividade preventiva dos limonoides em casos de câncer de pulmão e de estômago foi positivamente correlacionada com a indução da atividade de GST (Silalahi, 2002).

Quanto às estruturas dos limonoides, a presença do furano parece ser essencial para tal capacidade indutora de GST, já que essa característica é perdida quando o anel de furano é saturado por hidrogenação. No caso da limonina e da nomilina, a estrutura triterpeno parece desempenhar um papel importante na determinação da atividade indutora de GST relativa desses compostos.

A nomilina é um excelente indutor de GST e, conseqüentemente, é ativa como um inibidor do desenvolvimento do câncer. No caso da limonina, várias propriedades podem comprometer sua utilização como um agente quimiopreventivo do câncer em seres humanos. O principal problema é que a limonina é intensamente amarga e solúvel apenas em solventes orgânicos. Isso limita o tipo de produto ao qual ela pode ser incorporada quando utilizada como um aditivo alimentar ou um suplemento.

Outro fator importante é que a concentração de limonina e de nomilina em sucos cítricos é relativamente baixa e, por conseguinte, o consumo global desses dois limonoides específicos não é alto, o que constitui um problema em sua aplicação na prevenção do câncer. Além disso, é preciso haver um equilíbrio na flora intestinal para que ocorra a hidrólise dos limonoides glicosídicos com a liberação de limonoides agliconas.

Os limonoides presentes nas sementes desengorduradas de limão promovem uma atividade antiproliferativa em células de câncer de mama. Outro ponto interessante é que eles inibem a enzima aromatase, responsável pela conversão de andrógenos em estrogênio, sendo que o excesso de estrogênio está intimamente relacionado ao câncer de mama. A atividade da aromatase é regulada pela cicloxigenase-2 (COX-2), o que sugere o possível envolvimento de limonoides na regulação da sinalização em vias inflamatórias (Kim et al., 2013a).

Evidências científicas demonstram que a administração de nomilina inibe a formação de nódulos de tumor nos pulmões (68%) e aumenta a taxa de sobrevivência de animais portadores de tumores metastáticos. O composto nomilina também inibe a invasão de células tumorais e a ativação de metaloproteinases de matriz. Além disso, a produção de citocinas pró-inflamatórias e a expressão gênica foram reguladas em células tratadas com nomilina (Pratheeshkumar; Raphael; Kuttan, 2012).

Fuzer et al. (2013) estudaram o efeito protetor do cedrelona no câncer. Esse limonoide foi isolado de *Trichilia catigua* (Meliaceae), uma planta nativa brasileira. O composto testado inibiu a proliferação, a adesão, a migração e a invasão de células de tumor da mama. Os efeitos podem ser explicados, pelo menos em parte, pela capacidade do cedrelona de inibir a atividade das metaloproteinases da matriz (MMP). Além disso, o composto se mostrou capaz de promover a apoptose celular.

Um estudo desenvolvido por Kim et al. (2011) descreve que os limonoides podem alterar a via inflamatória por meio da modulação da atividade da MAP quinase p38 em células do músculo liso da aorta vascular humana. A MAP quinase p38 está intimamente relacionada à inflamação e à apoptose, e os limonoides apresentam diferentes efeitos de acordo com sua estrutura química. Entre os sete limonoides analisados, a nomilina foi a que mais inibiu a atividade da MAP quinase p38 (38%), seguida da limonina (19%). Em contraposição, o limonoide obacunona aumentou a atividade de MAP quinase p38 significativamente, em 38%. Esses dados constituem uma forte evidência científica de que a nomilina é um potente inibidor natural da atividade de MAP quinase p38 em células do músculo liso da aorta humana. As diferentes atividades exercidas por esses compostos sugerem que um anel com um grupo acetoxi, presente na estrutura química da nomilina, parece ser essencial para essas atividades (Kim et al., 2011).

A atividade anticâncer dos limonoides é avaliada por meio de misturas de glicosídeos e agliconas; conseqüentemente, não se pode determinar qual a classe mais eficaz (Poulose; Harris; Patil, 2006).

Inúmeros mecanismos estão envolvidos na atividade anticarcinogênica dos limonoides. Em resumo, vários desses compostos têm se mostrado efetivos na quimioprevenção e na quimioterapia de diferentes tipos de câncer.

#### **4.5 Obesidade**

O receptor TGR5, acoplado à proteína G e ativado por ácidos biliares, é um alvo promissor para o controle de doenças metabólicas. A ativa-

ção do TGR5 pela nomilina preveniu a obesidade e a hiperglicemia em ratos. No estudo, ratos machos alimentados com uma dieta rica em gordura durante nove semanas receberam 0,2% de nomilina durante 77 dias, apresentando menor peso corporal, bem como um nível menor de glicose e insulina no soro. Os resultados sugerem que a nomilina exerce a função biológica de agente contra a obesidade, com efeitos anti-hiperglicêmicos que podem ter sido provocados pela ativação do receptor TGR5 (Ono et al., 2011).

Recentemente, foram avaliados os efeitos preventivos e terapêuticos do D-limoneno em distúrbios metabólicos em ratos induzidos à obesidade por uma dieta com alto teor de gordura. No tratamento preventivo, o D-limoneno foi eficaz na diminuição do tamanho dos adipócitos brancos e marrons, bem como dos triglicerídeos séricos (TG) e da glicemia, além de ter impedido o acúmulo de lipídeos no fígado. Já no tratamento terapêutico, o D-limoneno reduziu TG, LDL, glicemia e tolerância à glicose. Adicionalmente, ele foi efetivo no aumento da lipoproteína de alta densidade (HDL) em ratos obesos. Dessa forma, a ingestão de D-limoneno pode beneficiar pacientes com dislipidemia e hiperglicemia e se tornar um alvo terapêutico para a prevenção e a melhora de distúrbios metabólicos (Jing et al., 2013).

#### **4.6 Doenças cardiovasculares**

Estudos indicam a potencialidade dos limonoides em proteger as células contra o estresse oxidativo induzido por  $H_2O_2$  e também em evitar a morte de células neuronais PC12 (Almaliti et al., 2013).

Ao mesmo tempo, outras pesquisas descrevem que o consumo frequente de frutas cítricas está significativamente associado com a reduzida incidência de doenças cardiovasculares. Em particular, seu consumo em quantidades consideráveis promove reduções significativas do risco de infarto, mas não no risco de AVC hemorrágico e de infarto do miocárdio (Yamada et al., 2011).

Yamada et al. (2011) avaliaram o efeito da ingestão de frutas cítricas sobre a incidência de doenças cardiovasculares e seus subtipos em uma população japonesa. O estudo englobou 10.623 participantes de ambos os sexos que não tinham histórico de doenças cardiovasculares nem de carcinoma, e os resultados associaram a ingestão frequente de frutas cítricas com uma menor incidência de doenças cardiovasculares. Adicionalmente, o consumo de frutas cítricas também foi associado à menor incidência de AVC, mas não mostrou relação com as ocorrências de AVC hemorrágico e de infarto do miocárdio.

## 4.7 Efeitos do processamento

Os compostos bioativos, em sua maioria, são altamente instáveis em condições de processamento e/ou armazenamento (Boxe 4.2). Dessa forma, é preciso entender o comportamento dos limonoides nos processos aos quais as frutas cítricas são submetidas para serem consumidas.

A maior parte do consumo de frutas cítricas ocorre na forma de suco de laranja. Acredita-se que essa bebida fresca é sempre mais saudável por apresentar mais compostos bioativos que aquelas pasteurizadas ou processadas. No entanto, até o momento, foram desenvolvidas poucas pesquisas para entender o comportamento dos limonoides diante dos processos usados na elaboração desse suco.

Quanto ao processo térmico de pasteurização, Bai et al. (2013) detectaram que não há alteração no conteúdo de limonoides no suco de laranja. Diferentemente do que era esperado, as pesquisas demonstraram que o conteúdo de limonoides era superior no suco industrializado em relação ao suco fresco devido ao processo de extração da indústria incluir partes da casca, que é a principal fonte desses compostos.

As alterações de conteúdo dos compostos bioativos nos frutos não ocorrem apenas durante o processamento na indústria. Evidências científicas apontam que técnicas de processamento doméstico para a elaboração de suco de laranja, como o uso do equipamento *juicer* ou a utilização de força manual para espremer a fruta também podem alterar de modo significativo o conteúdo de limonoides do suco. O suco obtido pelo *blending* apresentou um nível consideravelmente superior de limonoides em relação aos demais (Uckoo et al., 2012).

Oscilações na temperatura de armazenamento que provoquem um início de congelamento podem causar cristalização e precipitação nos limonoides, alterando sua biodisponibilidade.

As técnicas de produção também podem influenciar o conteúdo de limonoides dos frutos. Toranjas orgânicas apresentaram quantidades até 77% superiores de nomilina em comparação com toranjas produzidas de forma convencional (Chebrolu et al., 2012). No entanto, nem a convencional nem a orgânica apresentaram diferença no conteúdo de limonoides quando estocadas a 23 °C ou a 4 °C, demonstrando a pouca influência da temperatura no conteúdo de limonoides.

## 4.8 Considerações finais

Os limonoides são compostos bioativos amplamente encontrados em frutas cítricas, estando presentes em maiores quantidades nas

partes residuais destas, como cascas e sementes. Evidências científicas apontam que esses compostos estão relacionados à prevenção de inúmeras doenças crônicas não transmissíveis, especialmente os diferentes tipos de câncer, demonstrando que existe um potencial a ser explorado em termos de alimentação humana. Novas tecnologias que visem ao aproveitamento dessas fontes potenciais de limonoides devem ser desenvolvidas.

#### **Boxe 4.2** Etileno: contribuições vão além dos aspectos sensoriais

Para melhorar os atributos sensoriais das frutas cítricas e prolongar sua *shelf life*, utilizam-se alguns tratamentos pós-colheita. Normalmente, a coloração dos frutos é determinante na escolha do consumidor, que acredita que os frutos com casca verde não estão aptos ao consumo. Para eliminar esse problema, os citros são tratados com etileno para que desenvolvam uma coloração vermelha/laranja uniforme atrativa. Esse procedimento é bastante avaliado quanto à otimização da concentração de etileno, à temperatura e ao tempo de processo, e também quanto aos efeitos do etileno na concentração de carotenoides na polpa e no suco dos cítricos.

Poucos estudos avaliam a influência desse processo no conteúdo de limonoides. No entanto, é importante entender como o tratamento pós-colheita com etileno afeta os níveis de limonina e nomilina.

Chaudhary et al. (2012) verificaram que os frutos submetidos ao tratamento com etileno apresentavam níveis de nomilina e limonina significativamente superiores aos de frutos que não recebiam o tratamento. Esse comportamento se manteve inalterado durante 14 dias de estocagem. Os resultados indicam que o tratamento com etileno, além de melhorar o aspecto sensorial dos frutos, também promove o aumento dos compostos de interesse biológico.