

## Hortaliças como alimentos funcionais

Patrícia G B de Carvalho; Cristina Maria M Machado; Celso Luiz Moretti; Maria Esther de N Fonseca  
Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970 Brasília- DF; E-mail: patricia@cnph.embrapa.br

### RESUMO

Embora remonte às origens da civilização, a relação entre alimentação e saúde nunca foi tão estreita quanto nos dias de hoje. Dietas ricas em gordura, sal e açúcar e pobres em carboidratos complexos, vitaminas e minerais, aliadas a um estilo de vida mais sedentário, são responsáveis pelo aumento de doenças ligadas à dieta, tais como obesidade, diabetes, problemas cardiovasculares, hipertensão, osteoporose e câncer. Há muito tempo acredita-se que o consumo de frutas e hortaliças auxilia na prevenção destas doenças. As hortaliças são um importante componente da dieta, sendo tradicionalmente servidas junto com um alimento proteico e um carboidrato. Elas fornecem não apenas variedade de cor e textura às refeições, mas também nutrientes importantes. As hortaliças têm pouca gordura e calorias, relativamente pouca proteína, mas são ricas em carboidratos e fibras e fornecem níveis significativos de micronutrientes à dieta. Além disso, elas possuem compostos funcionais, que beneficiam uma ou mais funções orgânicas, além da nutrição básica, contribuindo para melhorar o estado de saúde e bem-estar e/ou reduzir o risco de doenças. O desenvolvimento de cultivares mais ricas nestes compostos tem se consolidado como um dos principais focos dos modernos programas de melhoramento genético de hortaliças. Vários destes programas, trabalhando com diferentes hortaliças, estão em andamento no Brasil e no mundo visando aumentar os teores e diversificar os tipos de carotenóides presentes na dieta. Neste trabalho são discutidos os principais aspectos relacionados às hortaliças como alimentos funcionais, bem como são detalhados os principais avanços obtidos nesta área no melhoramento de cenoura e tomate no Brasil.

**Palavras-chave:** hortaliças, compostos funcionais, carotenóides, melhoramento genético.

### ABSTRACT

#### Vegetable crops as functional food

Although a very old concept, the relationship between food and health has never been as close as it is today. Diets rich in fat, salt, and sugar and poor in complex carbohydrates, vitamins, and minerals in association with a more sedentary lifestyle, are responsible for an increase in diet-related diseases such as obesity, diabetes, cardiovascular problems, hypertension, osteoporosis, and cancer. It is believed that the ingestion of fruits and vegetables helps in the prevention of these diseases. Vegetables are an important component of the diet, usually in association with protein- and starch-rich foods. They are responsible not only for adding variety of color and texture to meals, but also for providing important nutrients. Vegetables are low fat and low calorie foods, with relatively small amounts of protein, but they are rich in carbohydrates and fibers and add significant amounts of micronutrients to the human diet. They are also a source of functional substances, which might benefit one or more physiological functions in the body, besides adequate nutritional effects. Functional elements might play a role in improving health and well-being, as well as reducing the risk of the onset of diet-related diseases. The development of vegetable cultivars with greater amounts of these substances is one of the main goals of modern breeding programs. Many of these programs, working on different vegetables, are currently underway in Brazil and other countries, aiming to improve the amount and variety of carotenoids present in the diet. In the present paper, the main aspects of vegetable crops as functional foods are discussed. The most important achievements of tomato and carrot breeding programs in Brazil aiming to improve the amount and types of functional compounds are also presented.

**Keywords:** vegetables, functional substances, carotenes, plant breeding.

(Recebido para publicação em 6 de junho de 2006; aceito em 21 de dezembro de 2006)

A urbanização, a industrialização e a globalização exerceram uma grande influência sobre o estilo de vida, a dieta e, consequentemente, o estado nutricional dos latino-americanos. Ao mesmo tempo em que ocorreu uma diminuição da subnutrição nas regiões metropolitanas, houve uma alteração no estilo de vida, com a adoção de dietas inadequadas e redução da atividade física. Como resultado, doenças decorrentes tanto da deficiência, quanto do excesso de nutrientes, tornaram-se importantes problemas de saúde pública. Este quadro, chamado de “transição nutricional”

(Lajolo, 2002), sobrecarrega o sistema de saúde com uma demanda crescente de atendimento a doenças crônicas relacionadas à má alimentação. No Brasil, verificou-se, ainda, um aumento no número de óbitos decorrentes de doenças crônico-degenerativas (Anuário Estatístico de Saúde do Brasil, 2001).

Embora remonte às origens da civilização, a relação entre alimentação e saúde nunca foi tão estreita quanto nos dias de hoje. Uma recomendação de “alimentação ideal” deve conter doses balanceadas de proteínas, carboidratos, gorduras, fibras, vitaminas, minerais e

água. Dietas ricas em gordura, principalmente gordura saturada e colesterol, sal e açúcar e pobres em carboidratos complexos, vitaminas e minerais, aliadas a um estilo de vida mais sedentário, são responsáveis pelo aumento das doenças ligadas à dieta, tais como obesidade, diabetes, problemas cardiovasculares, hipertensão, osteoporose e câncer. Há muito tempo acredita-se que o consumo de frutas e hortaliças auxilia na prevenção destas doenças.

A diabetes e alguns tipos de câncer, duas das doenças mais temidas hoje pe-

las dificuldades terapêuticas que apresentam e pelo alto índice de mortalidade que provocam, podem ser evitados com uma dieta rica em frutas e hortaliças e pobre em gorduras e carnes. Mais de 200 estudos epidemiológicos foram realizados em todo o mundo para investigar o papel das hortaliças no risco de desenvolvimento de câncer. Na maior parte destes estudos, o consumo de uma ampla variedade de hortaliças é um denominador comum entre grupos de baixo risco (Potter, 2000). Baseado nestes estudos, o Instituto Americano de Pesquisa do Câncer (AICR) recomenda o consumo de uma dieta rica em hortaliças e frutas variadas, preferencialmente cruas, para reduzir de 60% a 70% o risco de desenvolver alguma forma de câncer (American Institute of Cancer Research, 2006). O mesmo é verdade para a diabetes, cujo tratamento inclui a restrição da ingestão de alimentos ricos em açúcar, gordura e álcool, substituindo-os por frutas, cereais integrais, grãos, laticínios desnatados e hortaliças (Mahan & Escott-Stump, 1998).

Assim, o papel da nutrição hoje vai além da ênfase sobre a importância de uma dieta balanceada. Ela deve almejar a otimização da nutrição, com o objetivo de maximizar as funções fisiológicas e garantir o aumento da saúde e bem-estar e a redução do risco de doenças (Roberfroid, 2002).

#### **Alimentos funcionais**

Apesar do termo “alimento funcional” ter sido introduzido pelo Japão na década de 1980, até hoje não existe uma definição universalmente aceita. Uma das definições mais completas descreve os alimentos funcionais como sendo aqueles que beneficiam uma ou mais funções orgânicas, além da nutrição básica, contribuindo para melhorar o estado de saúde e bem-estar e/ou reduzir o risco de doenças. Os alimentos funcionais devem ser alimentos e não pílulas, cápsulas ou qualquer forma de suplemento e devem ser eficazes em quantidades normalmente consumidas em uma dieta padrão (Diplock *et al.*, 1999). Assim, de acordo com Roberfroid (2002), um alimento funcional pode ser:

- um alimento natural;
- um alimento ao qual um componente foi adicionado;

- um alimento do qual um componente foi removido;

- um alimento no qual a natureza de um ou mais componentes foi modificada;

- um alimento no qual a biodisponibilidade de um ou mais componentes foi modificada.

Deve ser enfatizado que, devido a diferenças genéticas, um alimento funcional não será necessariamente funcional para todos os membros de uma população (Kok, 1999). Ressalta-se ainda, que não existe uma recomendação de dose mínima de ingestão diária de compostos com propriedades funcionais.

#### **Hortaliças: Alimentos funcionais**

Estudos epidemiológicos conduzidos em animais mostraram que determinados componentes das frutas e hortaliças são capazes de prevenir o câncer e doenças coronarianas diretamente ou via interações complexas com os processos metabólicos e moleculares do corpo. Estes estudos levaram a Agência de Alimentos e Drogas dos Estados Unidos (FDA) a aprovar a alegação de que tais alimentos são benéficos à saúde. Segundo o ADA Reports (1999), a ingestão recomendada de frutas e hortaliças é de cinco a nove porções (xícara, unidade ou fatia média) por dia.

As hortaliças são um importante componente da dieta, sendo tradicionalmente servidas junto com um alimento protéico (carne ou peixe) e um carboidrato (massa ou arroz). Elas fornecem não apenas variedade de cor e textura às refeições, mas também nutrientes importantes. As hortaliças têm pouca gordura e calorias, relativamente pouca proteína, mas são ricas em carboidratos e fibras e fornecem níveis significativos de micronutrientes à dieta (Favell, 1998). Além disso, as hortaliças possuem uma variada gama de compostos funcionais (Tabela 1).

#### **Compostos funcionais presentes nas hortaliças**

##### **Fibras, Amido Resistente e Inulina**

Fibra alimentar é o componente do alimento que não é digerido pelo homem devido à ausência de enzimas específicas ou à incapacidade das enzimas presentes no trato gastrointestinal de com-

pletarem a digestão (Fernandez *et al.*, 1993). As paredes celulares das hortaliças, compostas principalmente por celulose, hemicelulose, pectinas, proteínas e polifenóis, são a principal fonte de fibras dietéticas. As fibras não são digeridas ou absorvidas no intestino delgado, mas são fermentadas por bactérias presentes no cólon (intestino grosso), produzindo ácido lático e ácidos graxos de cadeia curta como os ácidos acético, propiônico e butírico, que podem reduzir o colesterol circulante no sangue. O consumo adequado de fibras previne a prisão de ventre e as hemorroidas e pode auxiliar na prevenção da obesidade, diabetes, câncer de cólon, úlceras e doenças coronarianas (Vilas Boas, 1999).

Muitas organizações de saúde sugerem a ingestão de 20 a 35 g de fibras ao dia, mas não existe uma recomendação de ingestão oficial. O consumo excessivo de fontes isoladas de fibra pode impedir a absorção de nutrientes importantes, podendo levar até à obstrução intestinal (Mahan & Escott-Stump, 1998).

O amido é um carboidrato complexo formado por unidades de glicose e constituído de duas frações: amilose e amilopectina (Eliasson *et al.*, 1981). No início dos anos 80, foi descoberto que uma parte do amido dietético não era digerida e absorvida no intestino delgado (Anderson *et al.*, 1981. Stephen *et al.*, 1983). Esta parte foi chamada de amido resistente. Entre 7 a 10% do amido de trigo, aveia e batata e 20% do de feijão cozido podem chegar ao cólon, onde são fermentados pela microflora e convertidos em ácidos graxos de cadeia curta. O amido resistente aumenta a absorção de Ca, Mg, Fe, Zn e Cu e reduz o colesterol e os triglicerídeos plasmáticos, além de auxiliar na prevenção do câncer de cólon.

A inulina é um carboidrato complexo, pertencente à classe das frutanas, encontrado em raízes de chicória, alho e cebola. Ela apresenta as mesmas propriedades das fibras solúveis, tais como a habilidade de reduzir os lipídeos circulantes e estabilizar a glicose sanguínea (Causey *et al.*, 2000). Além disso, a inulina é um agente pré-biótico, influenciando positivamente a composição microbiana do trato

gastrointestinal. O consumo de inulina aumenta significativamente a absorção de cálcio em meninas (Griffin *et al.*, 2003).

#### Antioxidantes: Carotenóides, Vitamina C e Polifenóis

Uma das principais teorias que explicam o poder curativo e preventivo dos alimentos baseia-se na presença de antioxidantes. Muitos de nossos problemas de saúde devem-se à ação de formas tóxicas do oxigênio (oxidantes) responsáveis por processos de oxidação que atuam na obstrução das artérias, transformação das células em células cancerosas, ocasionam problemas nas articulações e mau funcionamento do sistema nervoso, além de estarem associadas ao envelhecimento (Carper, 1995). Os oxidantes derivam de processos metabólicos normais, como a respiração, ou são oriundos do ambiente (poluentes do ar, pesticidas, fumo, drogas). Eles assumem várias formas e aspectos, sendo a mais comum a dos radicais livres. Em pequena quantidade, os oxidantes são importantes na renovação das membranas celulares, na resposta inflamatória e no combate a microorganismos. Porém, quando em excesso, podem atacar o DNA das células, provocando mutações. Também atacam as moléculas de gordura que compõem as membranas celulares, destruindo a sua estrutura (Carper, 1995). Acredita-se que estes processos são os eventos iniciais da patogenia de doenças tais como câncer, doenças cardiovasculares e degeneração celular no processo de envelhecimento.

O organismo dispõe de sistemas de defesa enzimáticos específicos, presentes nos locais de produção dos radicais livres, além de antioxidantes, substâncias capazes de neutralizar os oxidantes, que mantêm os mesmos em concentrações muito baixas. Além dos antioxidantes endógenos, próprios do corpo, existem substâncias obtidas da alimentação que ajudam a combater a formação e ação dos radicais livres. Os antioxidantes exógenos são fitoquímicos, vitaminas e minerais que atuam atrasando ou inibindo o início ou a propagação das reações de oxidação em cadeia que levam ao dano celular. As frutas e hortalças são ricas nestes compostos (Ames *et al.*, 1993).

**Tabela 1:** Substâncias funcionais presentes em hortalças. Brasília, Embrapa Hortalças, 2006.

Hortalças	Princípio bioativo	Efeito terapêutico
Berinjela, brócolos, cenoura, pimenta, repolho, salsa, tomate	Ácido fenólico	Aumenta a atividade enzimática, favorecendo a absorção de nutrientes; inibe nitrosaminas (substâncias cancerígenas)
A maior parte da espécies	Bioflavonóides	Combatem os radicais livres e inibem hormônios causadores do câncer
Brócolos	Genistelina	Pode inibir o crescimento de tumores
Aspargo, melancia	Glutationa	Protege contra doenças cardíacas, catarata e asma
Brócolos, couve-flor, mostarda, repolho	Indóis	Inibem o estrogênio e induzem as enzimas de proteção contra fatores cancerígenos
Mostarda, rabanete, rábano	Isotiocianatos	Estimulam a produção de enzimas de proteção
Hortalças amarelo-alaranjadas e de folhas verdes (abóboras, brócolos, cenoura, espinafre, tomate)	beta-caroteno	Auxilia na prevenção à deficiência de vitamina A, previne mutações celulares e oxidação do colesterol LDL, implicada no desenvolvimento de câncer e doenças coronárias
Melancia, tomate	Licopeno	Pode proteger contra o câncer de próstata
Hortalças de folhas verde-escuras (brócolos, couve-de-Bruxelas, espinafre)	Luteína/ zeaxantina	Reduzem do risco de catarata e degeneração macular senil
Brócolos, manjerição	Monoterpeno	Auxilia a atividade das enzimas de proteção
Aipo, alho, brócolos, cebola, couve, pepino, rabanete	Selênio	Protege contra doenças cardíacas e circulatórias e melhora a imunidade celular
Alho, cebola	Sulfetos alílicos	Estimulam a produção de enzimas de proteção
Brócolos	Sulforafane	Ação contra câncer de estômago e úlceras
Brócolos, couve-de-Bruxelas, couve-flor, espinafre, pimentão, repolho	Vitamina C	Protege contra asma, bronquite, catarata, arritmias cardíacas, infertilidade masculina, câncer, aumenta imunidade contra infecções

Fontes: Carper, 1995; Junqueira & Peetz, 2001.

**Carotenóides** são uma classe de pigmentos amarelo-alaranjado-vermelhos distribuídos em várias frutas, hortalças, temperos e ervas (Mangels *et al.*, 1993). De várias centenas de carotenóides que ocorrem naturalmente, apenas 50 têm atividade biológica significativa. Uma importante função de alguns carotenóides é o seu papel como precursores de vitamina A, podendo ser agrupados em dois grupos: com e sem atividade de pró-vitamina A (Thane & Reddy, 1997).

A vitamina A pré-formada é encontrada apenas em alimentos de origem

animal. Sua deficiência é um problema sério de saúde pública, sendo a maior causa de mortalidade infantil em países em desenvolvimento. Uma deficiência prolongada pode produzir alterações na pele, cegueira noturna, ulcerações na córnea que podem levar à cegueira, distúrbios de crescimento e dificuldade de aprendizado na infância (WHO/UNICEF, 1995). Por outro lado, a vitamina A em excesso é tóxica, podendo causar má formação congênita se ingerida em excesso durante a gravidez e doenças ósseas em portadores de de-



ficiência renal crônica. Os carotenóides são convertidos em vitamina A, à medida que o organismo necessita, com graus variáveis de eficiência. As formas de caroteno pró-vitamina A são encontradas nas hortaliças folhosas verde-escuras e nas amarelo-alaranjadas. Cores mais escuras estão associadas a maiores teores de pró-vitamina (Mahan & Escott-Stump, 1998). O beta-caroteno é o carotenóide pró-vitamina A mais ativo. Ele é um pigmento laranja termolábil, sensível à luz e ao oxigênio, e que está associado à proteção contra doenças cardíacas e câncer. Um estudo realizado na Universidade do Estado de Nova York, em Buffalo, mostrou que o consumo de hortaliças ricas em beta-caroteno, mais de uma vez por semana, diminui significativamente o risco de câncer pulmonar em relação ao risco dos indivíduos que não consomem hortaliças (Carper, 1995).

O licopeno é um pigmento vermelho que ocorre naturalmente apenas em tecidos de hortaliças e algas. Ele é encontrado em elevada concentração em tomate e seus produtos derivados, sendo o antioxidante mais eficiente dentre todos os carotenóides testados – o dobro da atividade do beta-caroteno (Clinton, 1998; Shi *et al.*, 1999). Estudos mostram que o licopeno na dieta está relacionado à redução da incidência de certos tipos de câncer e o seu nível no tecido adiposo foi relacionado à redução do risco de ataque cardíaco. A luteína e a zeaxantina são carotenóides armazenados em nosso organismo na retina e na lente do olho, relacionados à redução do risco de catarata e de degeneração macular. Ambas estão presentes em hortaliças folhosas de coloração verde e verde escura, como brócolos, couve-de-Bruxelas, espinafre e salsa (Thane & Reddy, 1997).

### Vitamina C

O ácido ascórbico (vitamina C) é o micronutriente mais associado a frutas e hortaliças, que fornecem mais de 90% desta vitamina à dieta humana. A vitamina C é necessária à prevenção do escorbuto e manutenção da saúde da pele, gengivas e vasos sanguíneos. Também possui diversas funções biológicas na formação de colágeno, absorção de ferro inorgânico, redução do nível de colesterol, inibição da formação de

nitrosaminas e fortalecimento do sistema imunológico. Como antioxidante, reduz o risco de aterosclerose, doenças cardiovasculares e algumas formas de câncer (Lee & Kader, 2000).

A vitamina C está presente em diversas frutas e hortaliças como acerola, frutos cítricos, goiaba, morangos, brócolos, couve-flor, espinafre, pimenta, pimentão e repolho, dentre outros. Muitos fatores pré e pós-colheita influenciam a sua concentração, desde a cultivar utilizada até condições climáticas, práticas de plantio, método de colheita e processamento (Lee & Kader, 2000).

### Polifenóis

Os polifenóis são os antioxidantes mais abundantes da dieta. Esta classe compreende uma diversidade de compostos, dentre eles flavonóides (berinjela, morango), flavinóides (batata, repolho branco), ácidos fenólicos, cumarinas, taninos e lignina. Eles participam dos processos metabólicos responsáveis pela cor, adstringência e aroma dos alimentos. Todos possuem propriedades anti-carcinogênicas, anti-inflamatórias e anti-alérgicas.

Subclasse dos fenóis, exercem efeitos sobre várias enzimas metabólicas e de sinalização, atuando contra radicais livres, processos inflamatórios, alergias, agregação plaquetária, úlceras, vírus, tumores e hepatotoxinas. Há evidências que seu consumo regular reduz o risco de morte por doenças coronarianas. Está presente na maioria das espécies (Dillard & German, 2000).

### Outras formas de ação

As substâncias funcionais não são todas antioxidantes. Elas também podem proteger o organismo por meio de outros mecanismos, tais como: indução ou inibição de enzimas; remoção de metabólitos reativos; e indução da apoptose (morte celular) (Dragsted *et al.*, 1997).

### Ácido Fólico

O ácido fólico ou folato, vitamina pertencente ao complexo B (vitamina B9), participa do metabolismo dos aminoácidos e da síntese dos ácidos nucléicos. É essencial para a formação das células do sangue. A deficiência de folato pode ser a hipovitaminose mais

comum. Ela resulta em baixo crescimento, anemia megaloblástica (má formação dos glóbulos vermelhos), elevados níveis de homocisteína circulante e risco aumentado de doenças coronarianas. O teor de homocisteína é um fator de risco independente, não relacionado ao colesterol, hipertensão ou diabetes (**Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration, 1998**).

A ingestão diária recomendada (IDR) para o folato é de 3mg por kg de massa corpórea. As ingestões dietéticas adicionais recomendadas para o período pré-concepção, gestação e lactação não são facilmente atingidas sem suplementação. O folato é amplamente encontrado nos alimentos. As melhores fontes são fígado, feijão, hortaliças de folhas verde-escuras, principalmente aspargo, brócolos e espinafre, e frutas como abacate, laranja, morango e tomate. Entre 25 e 50% do folato da dieta é nutricionalmente disponível. De 50 a 95% é perdido durante o processamento e o preparo doméstico do alimento, principalmente em altas temperaturas. Uma perda considerável ocorre durante o armazenamento de hortaliças à temperatura ambiente. Assim, recomenda-se o consumo de hortaliças frescas e cruas ou pouco cozidas. O álcool interfere na sua absorção e/ou aumenta a sua excreção. O folato é destruído por drogas, anticoncepcionais e cafeína.

### Selênio

O selênio é um mineral-traço essencial, ou seja, o organismo necessita dele em quantidades mínimas, tornando-se tóxico em altas doses. Deficiências de selênio ocorrem na maioria dos animais de sangue quente, gerando catarata, distrofia muscular, depressão, necrose do fígado, infertilidade, doenças cardíacas e câncer (Hendler, 1994).

Este mineral oferece proteção contra doenças crônicas associadas ao envelhecimento, como aterosclerose (doenças das artérias coronarianas, cerebrovascular e vascular periférica), câncer, artrite, cirrose e efisema. Está presente, entre outros alimentos, em brócolos, couve, aipo, pepino, cebola, alho e rabanete (Hendler, 1994).

### Glicosinolatos

Os glicosinolatos formam um grande grupo de glicosídeos sulfurados. Eles

podem ser produzidos ou perdidos pelas hortalças durante o armazenamento. O processamento pode degradar os glicosinolatos, porém a inativação enzimática pelo calor os preserva (Johnson, 2002).

**Indóis:** Estimulam a produção de enzimas que inibem a atividade do estrogênio. Dessa forma, reduzem o risco de cânceres dependentes do estrogênio (câncer de mama e de útero). Estão presentes em brócolos, couve-flor, mostarda e repolho.

**Isotiocianatos:** Presentes em brássicas como couve-de-Bruxelas, couve-flor, nabo e repolho. Inibem o metabolismo e o ataque ao DNA de várias nitrosaminas (substâncias carcinogênicas). Em experimentos feitos com ratos e camundongos, estes compostos inibiram tumores de pulmão e esôfago (Stoner, 1995).

**Sulforafane:** Presente principalmente no brócolos, têm ação bactericida contra a *Helicobacter pylori*, causadora de úlcera e câncer de estômago.

### O melhoramento genético como ferramenta para aumentar teores de compostos funcionais em hortalças

O desenvolvimento de cultivares mais ricas em compostos funcionais associados à prevenção de doenças tem se consolidado como um dos principais focos dos modernos programas de melhoramento genético de hortalças. Esta estratégia tem sido subsidiada por dados de pesquisas médicas e epidemiológicas que, de maneira consistente, associam a quantidade ingerida de alguns compostos funcionais bem caracterizados, como é o caso de carotenóides, e seus efeitos preventivos na saúde humana. Desta forma, vários programas de melhoramento genético, trabalhando com diferentes hortalças, estão em andamento no Brasil e no mundo visando, via cultivares melhoradas geneticamente, aumentar os teores e diversificar os tipos de carotenóides presentes na dieta de adultos e crianças. Neste trabalho são detalhados os principais avanços obtidos no melhoramento para atributos funcionais de cenoura e tomate no Brasil.

#### Melhoramento de cenoura

A cenoura (*Daucus carota* L.) é a mais importante fonte de pró-vitamina

A na dieta humana em várias regiões do mundo, por ser uma das poucas plantas capazes de acumular alfa e beta-caroteno, as duas formas principais de pró-vitamina A (Simon & Wolff, 1987). A presença destes pigmentos também confere qualidade visual, o que acentua ainda mais a atenção que os carotenóides têm recebido nos programas de melhoramento genético. Os trabalhos pioneiros visando aumentar os teores de carotenóides em cenoura, via cultivares melhoradas, foram iniciados na década de 1960 na Universidade de Wisconsin, EUA (Laferriere & Gabelman, 1968; Umiel & Gabelman, 1971; Buishand & Gabelman, 1979). Este programa apresentou, como característica primordial, o permanente contato com empresas produtoras de semente e agroindústrias. Como resultado, os teores de alfa e beta-caroteno nas cultivares americanas aumentaram em torno de 70% entre os anos de 1970 e 1992 (Simon, 1992). Além disso, as cultivares derivadas destes programas permitiram que a agroindústria da Califórnia desenvolvesse novas classes de produto, as chamadas *baby carrots* ou mini-cenouras, que se tornaram imediatamente populares. Devido a estes novos tipos de produto, o consumo *per capita* de cenoura nos Estados Unidos aumentou consideravelmente, sendo que grande parte deste incremento deveu-se a um maior consumo por crianças.

#### Cenouras de coloração atípica (não-alaranjadas)

O recente interesse comercial por cenouras de cores pouco usuais tem ocasionado uma demanda por estudos sobre o controle genético visando subsidiar os programas de melhoramento deste grupo varietal. Cenouras brancas acumulam fitoeno (Fonseca, 2000), enquanto as roxas acumulam os flavonóides antocianinas (Simon, 1996; Kurilich *et al.*, 2005). As colorações amarelada e vermelha são conferidas à raiz pela presença dos pigmentos antioxidantes luteína e licopeno, respectivamente (Umiel & Gabelman, 1971; Buishand & Gabelman, 1979; Mollidrem *et al.*, 2004; Surles *et al.*, 2004).

#### Controle genético do acúmulo de pigmentos carotenóides em cenoura

Estudos de herança indicam que a quantidade e o tipo de carotenóides (com

cor variando de branca a laranja) são características controladas por pelo menos três genes distintos. Os graus de intensidade da cor laranja têm herança do tipo poligênica (Buishand & Gabelman, 1979). Ganhos progressivos observados para carotenóides totais indicam que a variabilidade genética para esta característica não está ainda totalmente esgotada (Simon *et al.*, 1985; 1989). Para auxiliar os programas de melhoramento, métodos mais objetivos de avaliação de coloração têm sido empregados, incluindo avaliações espectrofotométricas (Baranska *et al.*, 2005; Geoffriau *et al.*, 2005; Surles *et al.*, 2004). Para a acumulação de antocianina, um gene dominante, denominado  $P_1$ , confere à raiz a coloração roxa. Um segundo gene, denominado  $P_2$ , causa pigmentação roxa nas partes aéreas da planta (Simon, 1996).

#### Marcadores moleculares ligados a genes que controlam teores de compostos funcionais em cenoura

O controle genético para acúmulo de pigmentos amarelos e vermelhos foi estudado por Buishand & Gabelman (1979). Foram descritos sete genes controlando os caracteres de coloração laranja, branca, amarela e vermelha. Mais recentemente, os genes  $Y$  e  $Y_2$ , que controlam coloração laranja uniforme de xilema e floema, foram mapeados e um marcador do tipo SCAR foi desenvolvido para  $Y_2$  (Bradeen & Simon, 1998). Vinte QTL associados ao acúmulo de diferentes pigmentos carotenóides foram localizados no mapa genético de cenoura (Santos & Simon, 2002). Diversos genes da via biossintética dos carotenóides já foram isolados e poderão servir, em um futuro próximo, como genes candidatos em seleção assistida por marcadores (Fonseca, 2000; Just *et al.*, 2006).

#### Análise genômica de compostos funcionais em cenoura

O melhoramento para a quantidade e tipo de carotenóides em raízes acumuladoras é uma área pouco explorada e a cooperação entre melhoramento clássico e molecular pode se mostrar bastante produtiva. A via biossintética dos carotenóides é uma das vias bioquímicas mais bem caracterizadas em plantas, com vários genes já clonados e

sequeenciados (Cunningham & Gantt, 1998), inclusive em cenoura (Fonseca, 2000; Just *et al.*, 2006). No entanto, com algumas exceções (Thorup *et al.*, 2000), o conhecimento destes genes ainda não tem sido amplamente utilizado para o melhoramento para conteúdo de carotenóides em culturas de importância econômica ou para o estudo da regulação desta importante via metabólica em plantas. Os impactos técnico-científicos destes estudos residem no fato de que estudos de genômica funcional (variabilidade alélica e expressão gênica) poderão ajudar os programas de melhoramento genético a desenvolver estratégias mais efetivas para modificar ou aumentar o conteúdo de carotenóides em raízes e, teoricamente, também em outros órgãos acumuladores.

#### **Avanços no melhoramento da cenoura no Brasil**

A cultura da cenoura tem mostrado um crescimento tanto em área quanto em produtividade e consumo no mundo inteiro (Rubatzky *et al.*, 1999). Este fato deve-se, em grande parte, ao desenvolvimento de novas cultivares com melhor adaptação para novas fronteiras agrícolas em regiões tropicais e subtropicais. A Embrapa Hortaliças lançou, na década de 1980, a cultivar Brasília com adaptação a regiões tropicais e resistência a várias doenças foliares e ao nematóide-das-galhas (Vieira *et al.*, 1983). A utilização desta cultivar mudou o cenário de produção de cenoura nos trópicos. Antes a produção média de cenoura era de 11 t ha<sup>-1</sup>, sem produção comercial durante o verão devido a doenças foliares. O custo de produção era elevado devido à frequente aplicação de fungicidas. Após o lançamento da cultivar Brasília, a produção média passou para, atualmente, 25 t ha<sup>-1</sup>, sem aplicação de fungicidas durante a primavera. Além disso, esta cultivar tolerante ao calor e resistente a doenças permite o cultivo por todo o ano em todo o Brasil.

No ano de 2000 a Embrapa Hortaliças lançou uma cultivar derivada da cultivar Brasília, denominada Alvorada, mais rica em carotenóides. Em 2005 foi liberada a cultivar Esplanada, visando o processamento (Vieira *et al.*, 2005). Os ganhos genéticos foram constantes

ao longo do desenvolvimento destas cultivares, com os teores médios de carotenóides sendo praticamente duplicados desde a cultivar Brasília (70 µg g<sup>-1</sup>), passando pela cultivar Alvorada (110 µg g<sup>-1</sup>), até a cultivar Esplanada (153 µg g<sup>-1</sup>) (Fonseca *et al.*, 2005). Estes ganhos foram obtidos inicialmente via seleção visual e, mais recentemente, com avaliações espectrofotométricas e via cromatografia líquida de alta eficiência (Vieira *et al.*, 2005). Embora já apresentem características agrônomicas superiores, estas novas cultivares podem ainda ser melhoradas uma vez que contêm teores de pró-vitamina A relativamente reduzidos, quando comparadas a algumas cultivares americanas, que podem atingir até 400 µg g<sup>-1</sup> (Simon, 1992).

#### **Melhoramento de tomate**

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tem um papel relevante na dieta humana. As principais fontes de licopeno na dieta humana são o fruto do tomate e seus derivados tais como sucos, sopas, molhos e catchups (Rodriguez-Amaya, 2001). O fruto do tomate, embora sendo relativamente pobre em pró-vitamina A (beta-caroteno), constitui-se na terceira fonte desta substância na dieta humana devido ao elevado consumo *per capita* de extratos e produtos processados derivados do tomate. O pigmento licopeno, que confere a típica cor vermelha do fruto maduro de tomate, pertence ao subgrupo dos carotenóides não-oxigenados, sendo caracterizado por uma estrutura acíclica e simétrica contendo onze ligações duplas conjugadas (Rao, 2002). Devido à sua estrutura química, o licopeno figura como um dos melhores supressores biológicos de radicais livres e mostrou-se como um dos antioxidantes mais eficientes (Rao *et al.*, 1998; Rao & Agawal, 2000). Diferentes estudos clínicos e epidemiológicos têm associado dietas ricas em licopeno a redução do risco de desenvolvimento de câncer de próstata e ovário, bem como a uma menor incidência de doenças degenerativas crônicas e cardiovasculares (Nguyen & Schwartz, 1999; Cramer *et al.*, 2001; Rao, 2002).

A produção de tomate no Brasil é de aproximadamente 3 milhões de toneladas ano<sup>-1</sup>, sendo 65% destinado ao con-

sumo *in natura* e 35% ao processamento industrial. Na agroindústria existe uma demanda por itens processados de maior valor agregado que combinem aroma, sabor e elevada pigmentação vermelha de polpa (conferida pela presença de licopeno). A combinação destes fatores é essencial para alavancar os produtos de derivados de tomate aos níveis de qualidade necessários para atingir nichos de elevado padrão de exigência, tanto no mercado doméstico quanto no exterior. Além do fator nutricional, tem sido demonstrado que teores de pigmentos carotenóides (tais como o licopeno) estão fortemente relacionados a uma melhor percepção visual dos produtos. Neste contexto, existe uma demanda da parte de consumidores, varejistas e das agroindústrias processadoras de polpa de tomate no sentido de melhorar o teor de licopeno dos frutos das cultivares atualmente comercializadas, tanto para consumo *in natura* quanto para processamento.

#### **Estratégias genômicas aplicadas ao melhoramento genético do tomateiro para maiores teores de compostos funcionais**

O tomateiro é considerado, no ponto de vista do melhoramento genético, como uma planta modelo, apresentando diversos mutantes para teor e tipo de carotenóides (Giordano *et al.*, 2003). Acessos carregando mutações de interesse têm sido identificados em germoplasma de espécies cultivadas e selvagens. A maioria dos genes da via de carotenóides já está isolada em *Lycopersicon* (Carvalho *et al.*, 2004). Além disso, *primers* para seqüências gênicas correspondendo aos genes codificando as enzimas fitoenosintase, fitoenodesaturase, IPP-sintase, GGPP-sintase, zeta-ciclase e beta-ciclase já estão disponíveis (Carvalho *et al.*, 2004). Na Embrapa Hortaliças, a diversidade alélica para genes da via biossintética dos carotenóides está sendo investigada em linhagens e híbridos com teores e tipos contrastantes de carotenóides. Marcadores moleculares estão sendo gerados através de uma combinação das técnicas de bibliotecas subtrativas com materiais genéticos (linhagens e acessos) contrastantes, PCR-heterólogo e sequenciamento. A co-segregação dos



segmentos genômicos carregando estes genes candidatos com algumas características fenotípicas de acúmulo de precursores de vitamina A (especialmente o beta-caroteno) e licopeno estão em andamento para alguns mutantes de coloração de fruto do banco de germoplasma da Embrapa Hortalças. Marcadores do tipo QTL ligados ao acúmulo de licopeno foram recentemente localizados no mapa genético de tomate (Liu *et al.*, 2003) e podem ser empregados em sistemas de seleção assistida.

#### Avanços obtidos no programa de melhoramento de tomate no Brasil

Uma das tarefas dos programas de melhoramento genético é diversificar o panorama varietal do tomateiro, disponibilizando aos consumidores cultivares e híbridos que combinem fatores nutricionais, principalmente o licopeno, sabor e aroma. O desenvolvimento, em larga escala, de cultivares com teores mais elevados de fatores nutricionais, incluindo licopeno, tem sido um dos focos de programas de melhoramento genético de tomate, inclusive aquele desenvolvido na Embrapa Hortalças, em especial a partir do ano 2000. A cultivar San Vito foi um dos primeiros resultados destas ações de pesquisa, representando o primeiro híbrido F1 de tomate do segmento varietal Saladete totalmente desenvolvido no Brasil. Para se obter uma ação de proteção contra câncer, estudos clínicos têm recomendado um consumo diário entre 10-60 mg de licopeno. A maioria dos tomates do tipo longa vida apresenta, em média, 30  $\mu\text{g g}^{-1}$  de fruto. O tomate San Vito, por sua vez, apresenta quase o dobro deste valor (61  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) contribuindo, como parte de uma dieta variada, para suprir a ingestão diária sugerida para o licopeno. O desafio agora é incorporar a característica de elevados teores de licopeno em cultivares do tipo longa-vida.

#### Perspectivas do melhoramento genético do tomateiro para compostos funcionais

O estímulo a um consumo mais intenso de tomate enriquecido com licopeno não depende apenas dos teores do pigmento. Faz-se necessário que o tomate apresente atributos sensoriais que motivem e intensifiquem o consu-

mo. Desta forma, híbridos que combinem aspectos capazes de estimular positivamente os principais sentidos humanos envolvidos na degustação do tomate, incluindo sensações tácteis (firmeza, crocância da polpa e textura) e gustativas (teor de ácidos e açúcares balanceado), visuais (cor, formato e brilho atrativos), aromáticos (compostos voláteis), com aspectos agrônômicos favoráveis serão os grandes líderes em um mercado que apresenta crescentes níveis de exigência.

#### Considerações finais

Nenhum alimento isolado deve ser ingerido em detrimento de outros para prevenir uma doença específica. Diferentes alimentos fornecem diferentes substâncias vitais para a saúde. Portanto, uma dieta alimentar variada é essencial.

Apesar da qualidade nutricional das hortalças, ricas em vitaminas, sais minerais, fibras e fitoquímicos, as hortalças ainda não fazem parte da dieta da maioria dos brasileiros. Segundo dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares de 2002-2003 realizada pelo IBGE, o consumo *per capita* de hortalças frescas nas principais regiões metropolitanas do país é, em média, de 29 kg ano<sup>-1</sup> (IBGE, 2003). Este quadro pode ser melhorado por meio da divulgação para o público consumidor das qualidades destes alimentos. Incentivos para a produção e consumo de mais hortalças em uma dada comunidade permitiriam que alterações nos hábitos alimentares individuais fossem realizadas mais facilmente. Tal investimento seria fundamental na redução dos gastos da saúde pública com doenças crônicas e degenerativas. Além disso, o estabelecimento de programas de melhoramento com foco no incremento do teor e tipos de compostos funcionais pode contribuir de forma efetiva na melhoria do perfil nutricional da população brasileira.

#### REFERÊNCIAS

- ADA REPORTS. 1999. Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *Journal of the American Dietetic Association* 99: 1278-1285.
- AMERICAN INSTITUTE OF CANCER RESEARCH. 2006, 27 de Junho. *Healthy and Wise - A guide to the simple lifestyle steps that can help minimise your and your loved ones' risk of cancer*. Disponível em: <http://www.aicr.org.uk/Docs/HealthyWise.pdf>
- AMES BN; SHIGENAGA MK; HAGEN TM. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 90: 7915-7922.
- ANDERSON IH; LEVINE AS; LEVITT MD. 1981. Incomplete absorption of the carbohydrate in all-purpose wheat flour. *New England Journal of Medicine* 304: 891-892.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE SAÚDE DO BRASIL. 2001. Disponível em <http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/anuario2001/index.cfm>. Acessado em 15 de abril de 2005.
- BARANSKA M; SCHULZ H; BARANSKI R; NOTHNAGEL T; CHRISTENSEN LP. 2005. *In situ* simultaneous analysis of polyacetylenes, carotenoids, and polysaccharides in carrot roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6565-6571.
- BRADDEEN JM; SIMON PW. 1998. Conversion of an APLP fragment linked to the carrot Y2 locus to a simple, codominant PCR-based marker form. *Theoretical and Applied Genetics* 97: 960-967.
- BUISSHAND JD; GABELMAN WH. 1979. Investigations of color and carotenoid content in phloem and xylem of carrot roots (*Daucus carota* L.). *Euphytica* 28: 611-632.
- CARPER J. *Alimentos: o melhor remédio para a boa saúde*. 1995. Rio de Janeiro: Ed. Campus. 632p.
- CARVALHO W; ARAÚJO AH; GIORDANO LB; BOITEUX LS; SALES MP; FONSECA MEN. 2004. Use of genes of the carotenoid biochemical pathway to evaluate genetic diversity and species relationships in the genus *Lycopersicon*. In: PROCEEDINGS OF THE XXXIII BRAZILIAN BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY CONGRESS, 23. Anais... Caxambu: SBBq (CD-ROM)
- CAUSEY JL; FEIRTAG JM; GALLAHER DD; TUNGLAND BC; SLAVIN JL. 2000. Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucose and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic men. *Nutrition Research* 20: 191-201.
- CLINTON SK. 1998. Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews* 56: 35-51.
- CRAMER DW; KUPER H; HARLOW BL; TITUS-ERNSTOFF L. 2001. Carotenoids, antioxidants, and ovarian cancer risk in pre- and postmenopausal women. *International Journal of Cancer* 94: 128-134.
- CUNNINGHAM FX; GANTT E. 1998. Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49:557-583.
- DILLARD CJ; GERMAN JB. 2000. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1744-1756.
- DIPLOCK AT; AGGETT PJ; ASHWELL M; BORNET F; FERN EB; ROBERFROID MB. 1999. Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *British Journal of Nutrition* 88: S1-S27 (Suppl. 1).
- DRAGSTED LO; STRUBE M; LETH T. 1997. Dietary levels of plant phenols and other non-nutritive components: could they prevent cancer? *European Journal of Cancer Prevention* 6: 522-528.

- ELIASSON AC; CARLSON TLG; LARSSON K; MIEZIS Y. 1981. Some effects of starch lipids on the thermal and rheological properties of wheat starch. *Starch/Stärke* 33: 130-134.
- FAVELL DJ. 1998. A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry* 62: 59-64.
- FERNANDEZ S; PATTERSON AM; GONZÁLEZ C. 1993. Fibra dietária (revisión). *Nutrición Clínica* 3: 121-129.
- FONSECA MEN. 2000. *Cloning and expression of carrot (Daucus carota L.) cDNAs coding for enzymes of the carotenoid biosynthetic pathway in roots accumulating different types and amounts of carotenoids*. Madison: University of Wisconsin. 251p (Tese doutorado).
- FONSECA MEN; CARVALHO W; FEITOZA-CUNHA J; SILVA PP; BOITEUX LS; VIEIRA JV. 2005. Marcha de acumulação de luteína, alfa-caroteno e beta-caroteno em raízes de cultivares de cenoura em quatro épocas de colheita. *Horticultura Brasileira* 23: 336.
- GEOFFRIAUX E; DUBOIS C; GRANGER J; BRIARD M. 2005. Characterization of carrot cultivars by spectrophotometry. *Acta Horticulturae* 682: 1419-1426.
- GIORDANO LB; ARAGÃO FAS; BOITEUX LS. 2003. Melhoramento genético do tomateiro. *Informe Agropecuário* 24: 43-57.
- GRIFFIN IJ; HICKS PMD; HEANEY RP; ABRAMS AS. 2003. Enriched chicory inulin increases calcium absorption mainly in girls with lower calcium absorption. *Nutrition Research* 23: 901-909.
- HENDLER SS. 1994. *A enciclopédia de vitaminas e minerais*. Rio de Janeiro: Ed. Campus. 576p.
- HOMOCYSTEINE LOWERING TRIALISTS' COLLABORATION**. 1998. Lowering blood homocysteine with folic acid based supplements: meta-analysis of randomised trials. *BMJ* 316: 894-898.
- IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2003. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pof/2002/default.shtm>. Acessado em 15 de abril de 2005.
- JOHNSON IT. 2002. Glucosinolates: bioavailability and importance to health. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 72: 26-31.
- JUNQUEIRA AH; PEETZ MS. 2001. Fome oculta. *Agroanalysis* 21: 8-12.
- JUST BJ; SANTOS CAF; FONSECA MEN; BOITEUX LS; OLOIZIA BB; SIMON PW. 2006. Carotenoid biosynthesis structural genes in carrot (*Daucus carota*): isolation, sequence-characterization, single nucleotide polymorphism (SNP) markers and genome mapping. *Theoretical and Applied Genetics* (in press)
- KOK FJ. 1999. Functional foods: relevance of genetic susceptibility. In: PROCEEDINGS OF FORUM ON FUNCTIONAL FOOD. *Anais...* Strasbourg: Council of Europe Publishers. p. 217-229.
- KURILICH AC; CLEVIDENCE BA; BRITZ SJ; SIMON PW; NOVOTNY JA. 2005. Plasma and urine responses are lower for acylated vs. nonacylated anthocyanins from raw and cooked purple carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6537-6542.
- LAFERRIERE L; GABELMAN WH. 1968. Inheritance of color, total carotenoids, alpha-carotene, and beta-carotene in carrots, *Daucus carota* L. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 93: 408-418.
- LAJOLO FM. 2002. Functional foods: Latin American perspectives. *British Journal of Nutrition* 88: S145-S150 (Suppl. 2).
- LEE SK; KADER AA. 2000. Pre-harvest and post-harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- LIU YS; GUR A; RONEN G; CAUSSE M; DAMIDAUX R; BURET M; HIRSCHBERG J; ZAMIR D. 2003. There is more to tomato fruit color than candidate carotenoid genes. *Plant Biotechnology Journal* 1: 195-207.
- MAHAN LK; ESCOTT-STUMPS. 1998. *Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia*. São Paulo: Roca Ltda. 1179p.
- MANGELS AR; HOLDEN JM; BEECHER GR; FORMAN MR; LANZA E. 1993. Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association* 93: 284-96.
- MOLLDMRE KL; JIALIANG LI; SIMON PW; TANUMIHARDJO SA. 2004. Lutein and beta-carotene from lutein-containing yellow carrots are bioavailable in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 80:131-136.
- NGUYEN ML; SCHWARTZ SJ. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology* 53: 38-45.
- OU S; KWOK K; LI Y; FU L. 2001. *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 1026-1029.
- POTTER JD. 2000. Your mother was right: eat your vegetables. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 9: S10-S12 (Suppl.).
- RAO AV. 2002. Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. *Experimental Biology and Medicine* 227: 908-913.
- RAO AV; AGAWAL S. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 563-569.
- RAO AV; WASEEM Z; AGAWAL S. 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International* 31: 737-741.
- ROBERFROID MB. 2002. Global view on functional foods: European perspectives. *British Journal of Nutrition* 88: S133-S138 (Suppl. 2).
- RODRIGUEZ-AMAYA D. 2001. *A guide to carotenoids analysis in food*. Washington: International Life Sciences Institute Press. 64p.
- RUBATZKY VE; QUIROS CF; SIMON PW. 1999. *Carrots and related vegetable Umbelliferae*. Wallingford: CABI Publishing. 294p.
- SANTOS CAF; SIMON PW. 2002. QTL analyses reveal clustered loci for accumulation of major provitamin A carotenes and lycopene in carrot roots. *Molecular Genetics and Genomics* 268: 122-129.
- SHI J; MAGUER ML; KAKUDA Y; LIPTAY A; NIEKAMPF. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International* 32: 15-21.
- SIMON PW. 1992. Genetic improvement of vegetable carotene content. In: BILLS DD; KUNG SD (eds). *Biotechnology and Nutrition: Proceedings of Third International Symposium*. Londres: Butterworth-Heinemann. p. 291-300.
- SIMON PW. 1996. Inheritance and expression of purple and yellow storage root color in carrot. *Journal of Heredity* 87: 63-66.
- SIMON PW; WOLFF XY. 1987. Carotenes in typical and dark orange carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35: 1017-1022.
- SIMON PW; WOLFF XY; PETERSON CE. 1985. Selection of high carotene content in carrots. *HortScience* 20: 586.
- SIMON PW; WOLFF XY; PETERSON CE; KAMMERLOHR DS; RUBATZKY VE; STRANDBERG JO; BASSET MJ; WHITE JM. 1989. High carotene mass carrot population. *HortScience* 24: 174.
- STEPHEN AM; HADDAD AC; PHILLIPS SF. 1983. Passage of the carbohydrate into the colon. *Gastroenterology* 85: 589-595.
- STONER GD. 1995. Dietary inhibitors of cancer: phenethyl isothiocyanate as an example. In: GUSTINE DL; FLORES HL (eds). Rockville: American Society of Plant Physiologists. p.78-86.
- SURLES RL; NING W; SIMON PW; TANUMIHARDJO SA. 2004. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52: 3417-3421.
- THANE C; REDDY S. 1997. Processing of fruit and vegetables: effect on carotenoids. *Nutrition & Food Science* 2: 58-65.
- THORUP TA; TANYOLAC B; LIVINGSTONE KD; POPOVSKI S; PARAN I; JAHN M. 2000. Candidate gene analysis of organ pigmentation loci in the Solanaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97: 11192-11197.
- UMIEL N; GABELMAN WH. 1971. Inheritance of root colour and carotene synthesis in carrot, *Daucus carota* L. orange vs. red. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97: 453-460.
- VIEIRA JV; SILVA JBC; CHARCHAR JM; RESENDE FV; FONSECA MEN; CARVALHO AM; MACHADO CMM. 2005. Esplanada: cultivar de cenoura de verão para fins de processamento. *Horticultura Brasileira* 23: 851-852.
- VIEIRA JV; DELLA-VECCHIA PT; IKUTA H. 1983. Cenoura 'Brasilina'. *Horticultura Brasileira* 1: 42.
- VILAS-BOAS EVB *Alimentos e nutrientes*. 1999. Lavras: UFLA/FAEPE/DCA. 70p. (Monografia Pós-graduação Lato Sensu).
- WHO/UNICEF (World Health Organization/ United Nations International Children's Emergency Fund). 1995. *Modelling maternal mortality in the developing countries*. Geneva: WHO/UNICEF. 32p.