

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenóides,
fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de
batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados**

Carlos Mario Donado-Pestana

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de Concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2011**

Carlos Mario Donado-Pestana
Ingeniero Agroindustrial

Efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenóides, fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados

Orientadora:
Prof^a. Dra. **JOCELEM MASTRODI SALGADO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Donado-Pestana, Carlos Mario

Efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenóides, fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados / Carlos Mario Donado-Pestana. - - Piracicaba, 2011.
86 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Alimentos funcionais 2. Antioxidantes 3. Batata-doce 4. Processamento de alimentos 5. Tratamento térmico I. Título

CDD 664.80522
D674e

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A mi familia, tesoro invaluable... A mi Padre Senén Donado Conde, con amor y gratitud, por su apoyo emocional e incondicional. A mi amada y adorada Madre Anneris Raquel Pestana Almario el más claro ejemplo de una mujer virtuosa, que con su bella sonrisa me ilumina cada día y cada paso que doy.

A mis hermanos Guillermo Darío, Vanessa Raquel y mis sobrinos Valeria Sofía, Juan Pablo y Mario Andrés que han compartido conmigo la felicidad del hogar. Dios los guarde siempre.

A mi linda novia y mejor amiga Priscila Robertina dos Santos, el ángel que me acompaña desde el inicio de este proceso, hemos logrado una meta.

A mis familiares y amigos por compartir conmigo cada palabra, cada pensamiento.

AGRADECIMENTOS

No transcorrer da minha formação tive a oportunidade de receber orientações e apoio de inumeráveis pessoas e instituições. Quero manifestar meus agradecimentos sinceros a todos, com a certeza de que cada pessoa e cada instituição fizeram possível alcançar este objetivo.

Meus agradecimentos sinceros:

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade São Paulo, por me oferecer a oportunidade e a honra de ser parte deste universo acadêmico conceituado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, pelo apoio fundamental recebido.

À Divisão de Atendimento à Comunidade do Campus “Luiz de Queiroz” pela acolhida e pela ajuda essencial brindada.

À professora Dra. Jocelim Mastrodi Salgado, por abrir-me as portas desta instituição e me brindar a oportunidade e a honra de ser seu orientado. Seus conhecimentos e ensinamentos não são limitados no acadêmico, é um crescimento pessoal e profissional que são pilares fundamentais do mestre. Obrigado pela sua ciência e consciência, pela sua bondade e generosidade.

Ao professor Dr. Alessandro de Oliveira Rios, a quem tive o privilegio de conhecer e que acompanhou e apoiou a realização de atividades programadas nesta pesquisa. Obrigado pela sua honrosa e essencial parceria.

Ao Grupo de Estudos em Alimentos Funcionais, aos alunos e ex-alunos, de graduação e pós-graduação que o conformam ou conformaram, pelo companheirismo e orientações.

Ao pessoal do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, professores, alunos e funcionários pelas suas qualidades humanas e pela ajuda e contribuições na realização deste trabalho, a todos meus sinceros agradecimentos.

"When you have rice to eat, don't forget sweet potatoes"
Chinese saying,
Epigraph Sweet Potato: an untapped food resource (Woolfe, 1992)

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
RESUMEN	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO	21
2.1 Revisão bibliográfica	21
2.1.1 A origem, produção e importância da batata doce	21
2.1.2 Carotenóides como compostos bioativos e sua ocorrência em batata doce	23
2.1.3 Fenólicos como compostos bioativos e sua ocorrência em batata doce	28
2.2 Materiais e métodos	30
2.2.1 Produção e amostragem da matéria prima	30
2.2.2 Descrição da área experimental.....	31
2.2.3 Cor instrumental	32
2.2.4 Preparação das amostras e processamentos	32
2.2.5 Análises de carotenóides	33
2.2.5.1 Extração	34
2.2.5.2 Partição	34
2.2.5.3 Saponificação.....	34
2.2.5.4 Concentração dos carotenóides.....	35
2.2.5.5 Identificação e quantificação de carotenóides individuais	35
2.2.5.6 Derivatizações químicas para identificação de carotenóides	36
2.2.5.7 Cálculo da retenção de carotenóides	37
2.2.6 Análises de compostos fenólicos totais	37
2.2.7 Ensaio da atividade sequestrante do radical DPPH	38
2.2.8 Ensaio da atividade sequestrante do radical ABTS.....	38
2.2.9 Análise estatística	39
2.3 Resultados e discussão.....	40
2.3.1 Análises de cor instrumental nas raízes cruas de batata doce.....	40
2.3.2 Análises de carotenóides em raízes cruas de batata doce	41
2.3.3 Relação entre valores de cor e carotenóides de batata doce.....	46

2.3.4 Efeitos dos processamentos sobre carotenóides de raízes de batata doce	49
2.3.5 Valores estimados de atividade de vitamina A dos cultivares de batata doce submetidos a processamentos comuns domésticos.....	57
2.3.6 Análises de compostos fenólicos totais em raízes cruas e processadas de batata doce.....	60
2.3.7 Análises da atividade antioxidante em raízes cruas e processadas de batata doce	62
2.3.8 Relação entre compostos bioativos e atividade antioxidante de raízes cruas e processadas de batata doce.....	66
3 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	73

RESUMO

Efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenóides, fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados

A batata doce (*Ipomoea batatas* Lam) é um alimento considerado rica fonte de carboidratos, fibras, minerais, vitaminas e também antioxidantes como carotenóides, compostos fenólicos e antocianinas que contribuem na pigmentação natural das raízes de diferentes cultivares e cuja bioatividade tem sido associada com a proteção de células e tecidos no organismo prevenindo e reduzindo o risco de doenças crônicas. Recentemente tem sido despertado interesse pelo desenvolvimento de raízes de batata doce de polpa alaranjada, ricas fontes de carotenóides, como estratégia aliada na solução dos problemas de deficiência de vitamina A no mundo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as concentrações de compostos carotenóides individuais, compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante de raízes de quatro cultivares de batata doce biofortificadas cruas e processadas mediante quatro tratamentos térmicos comuns, usando as técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência, ensaios Folin-Ciocalteu, DPPH e ABTS, respectivamente. Adicionalmente foram feitas medições dos parâmetros de cor usando o sistema Hunter de medida na matéria prima. Todos os cultivares avaliados apresentaram altos teores de carotenóides, com predominância do All-*trans*- β -caroteno, sugerindo alta atividade estimada de vitamina A. O cultivar CNPH 1194 apresentou teores consideráveis de carotenóides. Os compostos fenólicos totais variaram entre os cultivares e os processamentos. Os tratamentos térmicos favoreceram, na maioria dos casos, diminuição significativa dos compostos bioativos avaliados, bem como da atividade antioxidante, sendo que a estabilidade destes compostos aparentou ser um fator dependente do cultivar. Houve correlações significativas entre os valores de cor instrumental e os carotenóides, assim como entre os compostos bioativos e a atividade antioxidante dos diferentes cultivares a níveis de 1 e 5%.

Palavras chaves: Alimento funcional, Bioatividade; Biofortificação; Tratamento térmico

ABSTRACT

Effects of processing on the availability of carotenoids, total phenolics and antioxidant activity in four cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) biofortified

Sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam) is rich in carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and also antioxidants such as carotenoids, phenolic compounds and anthocyanins which provide cultivars with distinctive flesh colors. Recent epidemiological evidence suggests that antioxidants have health-promoting properties that may reduce the risk associated with chronic diseases. It has been recently awakened interest in the development of orange-fleshed sweet potatoes, rich sources of carotenoids, such as an intervention strategy of combating vitamin A deficiency in the world. This study was conducted to evaluate the accumulation of individual carotenoids, total phenolic compounds and antioxidant activity of roots of four cultivars of sweet potato biofortified raw and processed through four common heat treatments. Techniques of HPLC, Folin-Ciocalteu, DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) and ABTS assays, respectively were used. In addition measurements were made of color parameters using the Hunter system in raw material. All cultivars evaluated have high levels of carotenoids, predominantly All-*trans*- β -carotene, suggesting a high estimated vitamin A activity. The cultivar CNPH 1194 showed significant levels of carotenoids. The total phenolic compounds varied among cultivars and heat treatments. The heat treatments favored in most cases a significant decrease in bioactive compounds as well as the antioxidant activity and stability of these compounds appeared to be a factor dependent on the cultivar. There were significant correlations between the values of instrumental color and carotenoids, and bioactive compounds and antioxidant activity of cultivars to levels of 1 and 5%.

Keywords: Functional food, Bioactivity; Biofortification; Heat treatment

RESUMEN

Efectos del procesamiento sobre la disponibilidad de carotenoides, fenólicos totales y actividad antioxidante em cuatro cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) biofortificados

La batata (*Ipomoea batatas* Lam) es un alimento considerado fuente rica de carbohidratos, fibra, minerales, vitaminas y también antioxidantes como carotenoides, compuestos fenólicos y antocianinas que contribuyen en la pigmentación natural de las raíces de diferentes cultivares y cuya bioactividad se ha asociado con la protección de células y tejidos en el organismo, previniendo y reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas. Recientemente se ha despertado un interés por el desenvolvimiento de raíces de batata de pulpa naranjada, ricas fuentes de carotenoides, como estrategia aliada en la solución de los problemas de deficiencia de vitamina A en el mundo. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de compuestos carotenoides individuales, compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de raíces de cuatro cultivares de batata doce biofortificadas crudas y procesadas mediante cuatro tratamientos térmicos comunes usando las técnicas de cromatografía líquida de alta eficiencia, ensayos Folin-Ciocalteu, DPPH y ABTS respectivamente. Adicionalmente, fueron realizados mediciones de los parámetros de color usando el sistema Hunter de medida en la materia prima. Todos los cultivares evaluados presentaron altos contenidos de carotenoides, con predominancia del All-*trans*- β -caroteno, sugiriendo alta actividad estimada de vitamina A. El cultivar CNPH 1194 presentó contenidos considerables de carotenoides. Los compuestos fenólicos totales variaron entre los cultivares y los procesamientos. Los tratamientos térmicos favorecieron, en la mayoría de los casos, disminución significativa de los compuestos bioactivos evaluados y de la actividad antioxidante, la estabilidad de estos compuestos aparentó ser un factor dependiente del cultivar. Hubo correlaciones significativas entre los valores de color instrumental y los carotenoides, así como entre los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de los diferentes cultivares a niveles de 1 y 5%.

Palabras claves: Alimento funcional, Bioactividad; Biofortificación; Tratamiento térmico

1 INTRODUÇÃO

O consumo freqüente de frutas e vegetais é um dos fatores alimentares que mais contribui para prevenção e redução de risco de doenças (SAMMAN, 2004). A funcionalidade destes alimentos atribui-se à presença de fitoquímicos como carotenóides, compostos fenólicos e outros compostos bioativos os quais possuem a capacidade de neutralizarem radicais livres no organismo. Desta forma, auxiliam na proteção de células e tecidos contra o estresse oxidativo, diminuindo o risco de doenças crônicas como doenças cardiovasculares, câncer ou doenças neurodegenerativas (KOH; MITCHELL, 2008; FUHRMAN; AVIRAM, 2002; LIU, 2007; BASTIANETTO; QUIRION, 2008).

Sob condições normais, o corpo humano produz constantemente radicais livres definidos como moléculas oxidantes altamente reativas derivadas do oxigênio (MANDELKER, 2008). A geração de radicais livres *in vivo* é um fenômeno constante devido ao metabolismo fisiológico ou às alterações patológicas. Os processos mediados por radicais livres como a peroxidação lipídica, destruições oxidativas de proteínas e DNA, são promovidos pelos metais de transição (ferro e cobre), poluentes, medicamentos, componentes dos alimentos, radiação, os próprios radicais livres e até campos magnéticos (DENISOV, AFANAS'EV, 2005). Exemplos comuns de espécies reativas de oxigênio (EROs) incluem o ânion superóxido (O_2^-), radical hidroxila ($\cdot OH$), radical perhidroxila ($HOO\cdot$), óxido nítrico ($NO\cdot$) e peroxinitrito ($ONOO\cdot$) (BETTERIDGE, 2000). Geralmente, em indivíduos saudáveis, enzimas que compõem o sistema antioxidante endógeno auxiliam no controle da geração de radicais livres, porém, antioxidantes exógenos provenientes da dieta, principalmente de frutas e vegetais, são extremamente importantes na neutralização destes radicais, reduzindo os efeitos nocivos de um estado de estresse oxidativo (WATSON; CALLISTER; GARG, 2007).

A batata doce (*Ipomoea batatas* Lam) se destaca por ser rica fonte de carboidratos, fibras, minerais, vitaminas e antioxidantes como carotenóides, fenólicos e antocianinas (SUDA; YOSHIMOTO; YAMAKAWA, 1999; WOOLFE, 1992). Esses compostos antioxidantes contribuem para a pigmentação natural em raízes de diferentes cultivares (amarelo, laranja ou roxo) (TEOW et al., 2007).

O estudo desenvolvido por Block (1994) indicou que a batata doce é um dos alimentos com as maiores contribuições de vitamina A na dieta a partir das concentrações de β -caroteno, o principal carotenóide precursor desta vitamina na natureza. A vitamina A é fornecida na dieta pelos alimentos de origem animal como fígado, produtos lácteos, peixes ou carnes (GRAEBNER et al., 2004) ou através de precursores, principalmente o β -caroteno, que podem se transformar biologicamente em vitamina A no fígado, e que são geralmente encontrados em alimentos de origem vegetal (TANG., 2010).

Melhoramento genético e/ou tradicional de cultivos com enfoque na biofortificação (WELCH, 2002), tem promovido o desenvolvimento de cultivares de batata doce com altos teores de carotenóides como aliado na solução de deficiência de vitamina A (DVA) em países em desenvolvimento. A DVA é apontada como um grave problema de saúde pública pela Organização Mundial de Saúde (OMS-WHO), principalmente quando atinge grupos biológicos vulneráveis como crianças, mulheres grávidas ou lactantes.

Durante a década de 1995 a 2005, a OMS estimou que cerca de 250 milhões de crianças menores de cinco anos apresentaram DVA, sendo que 190 milhões destas crianças e 19 milhões de mulheres grávidas apresentaram deficiência bioquímica de vitamina A (concentrações $<0,70 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de retinol no sangue) e mais de 5 milhões do primeiro grupo e quase 10 milhões do segundo foram afetados pela cegueira noturna (indicador clínico da deficiência desta vitamina). Prevalências maiores destas deficiências são encontradas nos países da África, Sudeste da Ásia e América Latina (WHO, 2009; UNICEF, 2006). Cada ano morrem cerca de 2 milhões de crianças menores de cinco anos e 500 mil perdem a visão como consequência da DVA no organismo (SASSON, 2005).

Além de atuar como pigmentos naturais ou como precursores de vitamina A no organismo, pesquisas contínuas vêm atribuindo aos carotenóides propriedades funcionais e ações biológicas antioxidantes. Propriedades similares são atribuídas a outros fitoquímicos nas plantas como os compostos fenólicos, também encontrados em batata doce, e reconhecidos pela sua capacidade de neutralizarem radicais livres que podem dar origem ao desenvolvimento de doenças degenerativas. No entanto, poucas

informações disponíveis são encontradas na literatura sobre a concentração e bioatividade antioxidante de fitoquímicos como carotenóides e compostos fenólicos nas raízes de cultivares de batata doce produzidas no Brasil. Com base no exposto, o presente estudo propôs avaliar quatro cultivares de batata doce biofortificados, produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), caracterizados pela cor laranja intensa da polpa. Nesses cultivares foram verificadas as concentrações de carotenóides, de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante bem como a avaliação dos efeitos de processamentos comuns sobre estes parâmetros de qualidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 A origem, produção e importância da batata doce

A batata doce é um cultivo herbáceo perene com um crescimento extensivo em regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo importante em muitos países em desenvolvimento. Evidências arqueológicas, lingüísticas e históricas estabelecem que a batata doce teve sua origem na região da América Central e Sul. A habilidade desta cultura para se adaptar a uma ampla variedade de condições climáticas, permitiu seu desenvolvimento em regiões tropicais e de temperaturas moderadas da África, Ásia e América. As evidências sugerem que a batata doce foi introduzida há mais de 5000 anos e se estendeu através dos continentes durante os séculos XVII e XVIII, devido a seu caráter robusto, ampla adaptabilidade e a capacidade de se multiplicar rapidamente (WOOLFE, 1992).

Comparado com outras culturas, a batata doce é capaz de crescer em ritmo acelerado em diversas condições ambientais, sendo de alta adaptabilidade em condições marginais de cultivo. Possui curto ciclo de produção, alto valor nutricional e versatilidade sensorial em termos de cor, sabor e textura. Por estas razões, ocupa o terceiro lugar em produção entre as culturas de raízes e tubérculos no mundo, com produção mundial estimada em aproximadamente 102 milhões de toneladas no ano de 2009, produzidas em uma área de um pouco mais de 8 milhões de hectares. A China é o principal país produtor com 75% da produção, a América do Sul contribui com 1.301.161 de toneladas, sendo o Brasil o maior produtor da região com 477.472 de toneladas (FAOstat, 2011). Mais de 97% da produção mundial de batata doce é proveniente dos países em desenvolvimento (THOTTAPPILLY, 2009).

A batata doce é considerada boa fonte de carboidratos, fibras, minerais (cálcio, ferro, magnésio e potássio), vitaminas (B₁, B₂, C e E) e antioxidantes (SUDA et al., 1999; WOOLFE, 1992).

Os principais antioxidantes em raízes de batata doce são ácidos fenólicos, antocianinas e carotenóides. Estes compostos bioativos atuam como neutralizadores de radicais livres e contribuem com as cores características dos cultivares. A cor é um importante parâmetro de qualidade no alimento, sendo um fator determinante na decisão de compra dos consumidores. Adicionalmente, este parâmetro é uma ferramenta utilizada na determinação da maturidade adequada para colheita ou consumo (JHA, 2010).

Aproximadamente 80% da matéria seca de batata doce são carboidratos, por esta razão, é considerada uma fonte importante deste macronutriente especialmente em países em desenvolvimento. O amido é o principal carboidrato presente na batata doce (80-90%), sendo uma matéria prima potencial para a indústria (BOVELL-BENJAMIN, 2007), com desenvolvimento avançado em técnicas de extração em países da Ásia. Devido à grande diversidade de suas características e funcionalidades é possível sua aplicação como alternativa ao uso de amido quimicamente modificado (MOORTHY, 2004). A concentração de proteína e lipídios é relativamente baixa (aproximadamente 5% e 1% da matéria seca, respectivamente). Os lipídios são constituídos de lipídios neutros, glicolipídios e fosfolipídios, ácidos orgânicos incluindo ácidos málico, quínico, succínico e cítrico, que atuam como intermediários no metabolismo e contribuem no sabor das raízes (KAYS et al., 1992). Os teores de fibra podem representar em média 10% de matéria seca sendo extremamente variáveis de acordo com vários estudos aplicando diferentes metodologias de análises (WOOLFE, 1992).

Devido as suas características e valor nutricional, a batata doce foi selecionada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) como um dos alimentos incorporados aos menus dos astronautas em missões espaciais. Esta cultura tem potencial imenso e papel importante a desempenhar na nutrição humana, segurança alimentar e na redução da pobreza nos países em desenvolvimento (BOVELL-BENJAMIN, 2007).

2.1.2 Carotenóides como compostos bioativos e sua ocorrência em batata doce

Carotenóides são pigmentos encontrados em animais e em plantas de cor amarela, laranja, vermelha ou verde. Nas células das plantas, eles estão presentes principalmente em membranas lipídicas ou armazenados nos vacúolos do plasma (MAIANI et al., 2009), sendo sintetizados com a função principal de absorver luz durante o processo de fotossíntese, além de formar mecanismos de defesa contra organismos fotossintéticos nas plantas (BARUA et al., 2000).

A estrutura básica dos carotenóides é um tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico e linear formado a partir de oito unidades isoprenóides de cinco carbonos (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). Esta estrutura pode se modificar de várias formas produzindo grande diversidade de compostos por ação da hidrogenação, dehidrogenação, ciclização, migração de dupla ligação, encurtamento ou extensão da cadeia, reordenamento, isomerização, introdução de funções oxigenadas ou por combinações destes processos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997). O All-*trans*- β -caroteno é considerado uma classe de protótipo da estrutura dos carotenóides. Outros carotenóides comuns possuem grupos hidroxí (OH), aldeídos (CHO), epóxi, além disso, podem ser acíclicos ou ter diferentes sistemas cíclicos, contendo várias duplas ligações conjugadas e isoladas (Figura 1) (BARUA et al, 2000). Os carotenóides hidrogenados são conhecidos como carotenos e os derivados oxigenados como xantofilas (BALL, 2006).

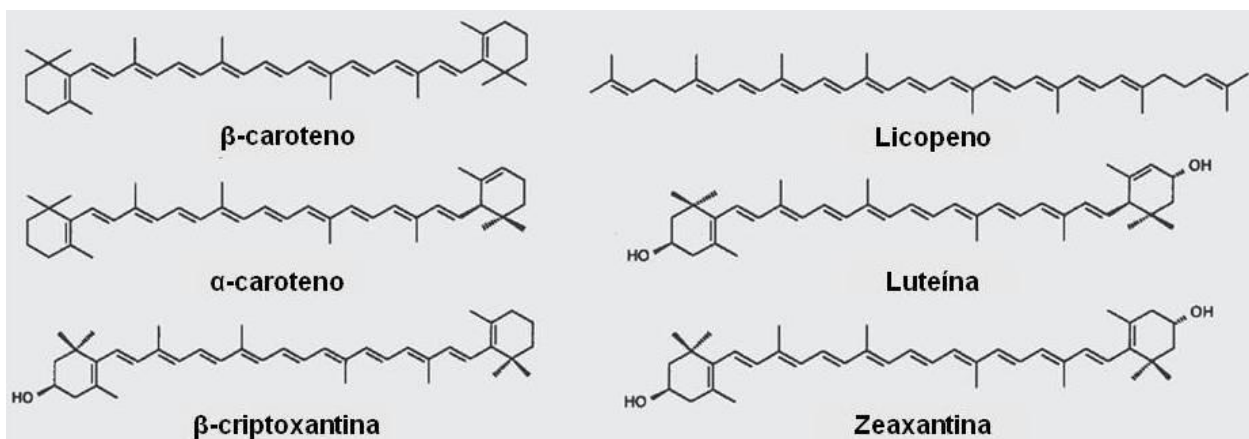


Figura 1 - Estrutura química de carotenóides comuns (Adaptado de RODRIGUEZ-AMAYA, KIMURA, 2004)

Devido a seu sistema conjugado de duplas ligações, os carotenóides apresentam características de absorção espectral ultravioleta e visível, e a maioria destes possuem absorção máxima em três longitudes de onda, resultando em um espectro de três picos. Quanto maior o número de duplas ligações conjugadas no carotenóide maior é a longitude de onda do espectro (BARUA et al, 2000). A detecção de carotenóides após separação por métodos de cromatografia líquida ocorre em uma zona de absorção característica entre 400 a 500 nm de comprimento de onda; a detecção em isômeros *cis*- ocorre normalmente entre 330 a 340 nm. A intensidade na absorção é afetada pelo solvente ou pela composição da fase móvel utilizados nas análises (EITENMILLER; LANDEN, 1999).

Nas plantas, as concentrações e biosíntese de carotenóides dependem de fatores genéticos e ambientais (MAINAI et al., 2009), incluindo o cultivar, estado de maturidade do fruto, parte da planta utilizada, práticas do cultivo, processamento e armazenamento do produto (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004).

Dos mais de 700 carotenóides atualmente identificados, cerca de 50 deles estão presentes na dieta humana e podem ser absorvidos e metabolizados pelo organismo, podendo ser precursores de vitamina A, baseando-se em considerações estruturais. O carotenóide provitamina A mais importante é o β -caroteno, tanto em termos de bioatividade, como de ampla ocorrência na natureza. Do total de carotenóides metabolizados pelo organismo, somente seis: β -caroteno, β -criptoxantina, α -caroteno, licopeno, luteína e zeaxantina representam mais de 95% dos carotenóides no sangue, associando-os com benefícios para a saúde por suas propriedades de provitamina A, melhoramento do sistema imune, redução do risco de enfermidades degenerativas como câncer, cardiovasculares e degeneração da mácula (MAIANI et al., 2009).

Uma das funções fisiológicas dos carotenóides é sua ação como precursor de vitamina A nos animais. Pelo fato de alimentos de origem animal, fornecedores de vitamina A pré-formada, serem pouco acessíveis às comunidades pobres, os alimentos vegetais ricos em carotenóides tornam-se a principal fonte de provitamina A em países em desenvolvimento, onde se registra comumente sérias deficiências desta vitamina (MILLS et al., 2009). Folhas verdes de plantas, óleo de palma, frutas tropicais vermelhas, cenoura, batata doce de polpa alaranjada, tomate, laranja e abóbora são

exemplos de alimentos considerados fontes ricas de carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

O β -caroteno é o principal precursor de vitamina A no organismo animal, além de ter funções antioxidantes. O α -caroteno e a β -criptoxantina são outros tipos de carotenóides provitamina A, com aproximadamente 50% de atividade provitamina A do β -caroteno (BALL, 2006).

A vitamina A tem sido apontada como responsável por importantes processos biológicos no organismo humano, sendo fator essencial na embriogênese, crescimento e diferenciação celular, reprodução, manutenção do sistema imune e da função visual. A deficiência dessa vitamina leva ao aumento das taxas de mortalidade infantil, causadas por enfermidades infecciosas devido à diminuição da resposta do sistema imune e a problemas de visão que podem causar cegueira permanente (BALL, 2006; STAHL; SIES, 2005). Em mulheres, além das lesões oculares, a DVA pode ser fator importante na contribuição da mortalidade maternal, falta de desenvolvimento embrionário e problemas na lactação (MAZIYA-DIXON et al., 2006). Atualmente, a DVA é considerada um dos problemas mais sérios de saúde pública no Brasil e em várias regiões do mundo (Figura 2). Da região das Américas, o Brasil é um dos países mais afetados pela DVA, atingindo principalmente as crianças e com prevalência de carência de vitamina A marginal substancialmente acima dos níveis considerados aceitáveis (MILAGRES et al., 2007).

As propriedades antioxidantes dos carotenóides são associadas à desativação de radicais livres. Estudos relatam menor incidência de enfermidades crônicas como o câncer ou doenças cardiovasculares, quando se aumenta o consumo destes compostos a partir dos alimentos, concluindo que os carotenóides podem parcialmente contribuir na proteção contra estas doenças (LEE et al., 2009; LARSSON; BERGKVIST; WOLK, 2010; FARWELL et al., 2008). A capacidade dos carotenóides para capturar o oxigênio singlete se relaciona com o sistema de duplas ligações conjugadas. Carotenóides com nove ou mais duplas ligações possuem melhores propriedades antioxidantes. Nos carotenóides sem atividade provitamina A, como o licopeno, luteína e zeaxantina, tem-se atribuído propriedades de reduzir o risco de câncer de próstata, estômago (VOGT et al., 2002; GIOVANNUCCI, 1999) e pâncreas (NKONDJOCK et al., 2005), ou são

relacionados com baixo risco de degeneração da mácula e de cataratas (DEL COURT et al., 2006).

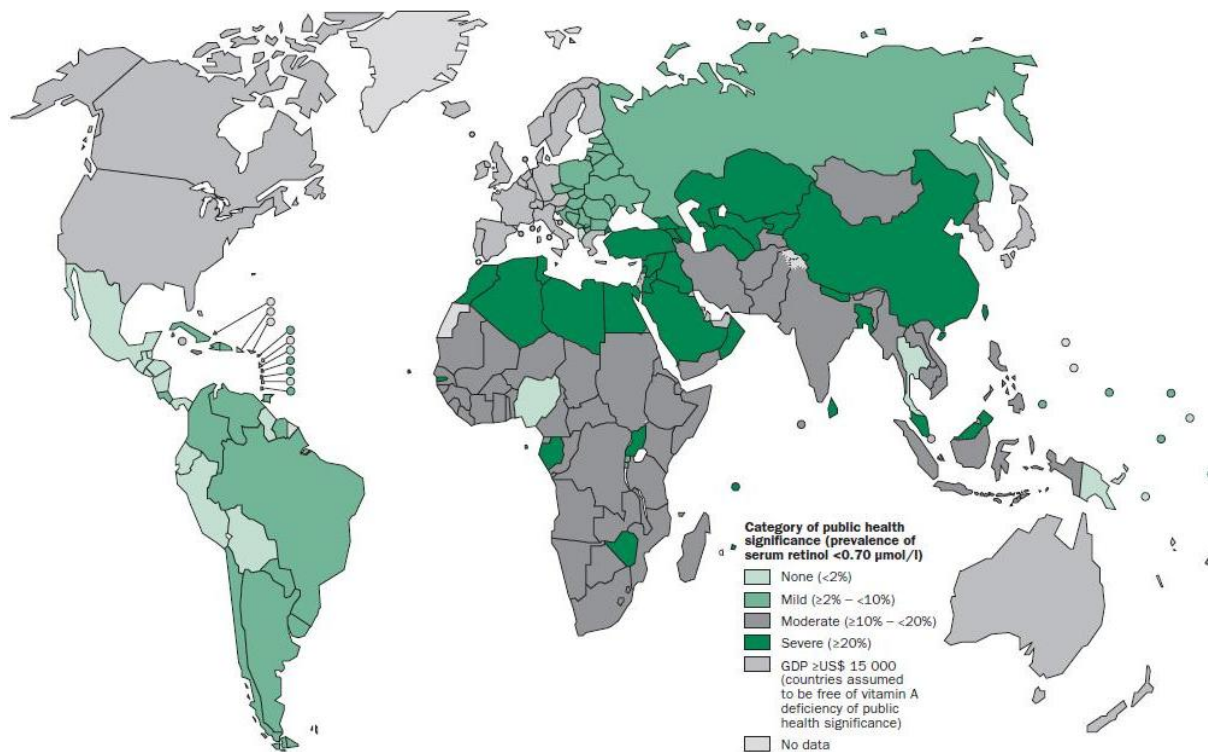


Figura 2 – Incidência da deficiência bioquímica de vitamina A em crianças em idade pré-escolar e mulheres gestantes (Adaptado de WHO, 2009)

A batata doce (*Ipomoea batatas* Lam) de polpa alaranjada é considerada um dos alimentos com as maiores contribuições de carotenóides na dieta, especialmente carotenóides provitamínicos A (BLOCK, 1994). Estudos têm determinado as concentrações de carotenóides em raízes de batata doce de cultivares de polpa alaranjada, identificando altos teores de β -caroteno, os quais são considerados como elementos importantes na contribuição das necessidades básicas de vitamina A em populações com consumo deficiente. O International Potato Center no Peru tem reproduzido cultivares de batata doce com concentrações de até $8.000 \mu\text{g}$ de β -caroteno por 100 gramas de peso fresco (HOLMES, 2000). Kidmose et al. (2006), encontraram conteúdos de $7.830 \mu\text{g}$ de β -caroteno e $50 \mu\text{g}$ de luteína por 100 gramas. Cultivares produzidos na América contém de 3.360 a $19.600 \mu\text{g}$ de β -caroteno por 100 gramas de produto fresco (WOOLFE, 1992).

O β -caroteno pode representar até 94% do total de carotenóides nestes cultivares, por sua vez, a configuração do isômero *All-trans*- β -caroteno, de alta atividade provitamina A, tem maior prevalência que o *cis*- β -caroteno, de baixa atividade, nas raízes frescas. Em cultivares coletados no Quênia, a configuração do isômero *All-trans*- β -caroteno representou do 98,7 a 99,4% do total de β -caroteno em cultivares de polpa alaranjada. Esta proporção diminuiu após processamentos comuns de consumo. Estudos citados por esta pesquisa indicam que a configuração *cis*- β -caroteno possui atividade de vitamina A de 38 a 53% do *All-trans* (KIDMOSE et al., 2007).

A forma como a batata doce é processada e consumida pela população influencia diretamente nas concentrações de carotenóides do alimento devido à natureza destes compostos, especialmente propensos à isomerização e degradação pelos tratamentos térmicos ou exposição ao ar. Recentes estudos demonstraram que existem variações nas concentrações de β -caroteno de batata doce quando submetida a diferentes métodos de processamento (BENGTSSON et al., 2008; KIDMOSE et al., 2007; JAARVELD et al., 2006).

Estudos têm avaliado as retenções ou variações de compostos carotenóides em diferentes alimentos durante o armazenamento ou processamento, com resultados contraditórios em alguns casos, para o mesmo alimento, o mesmo processamento ou armazenamento, atribuídos provavelmente aos tipos de análises realizadas e aos cálculos da retenção (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997). Após o processamento por cozimento ou qualquer outro tratamento térmico existe suposto aumento da concentração de compostos provitamina A, resultado atribuído à maior facilidade de extração dos carotenóides em amostras cozidas ou processadas em comparação com as cruas. Nas amostras cruas estes compostos estão ligados a outros componentes da matriz do alimento os quais impedem a penetração dos solventes usados nas análises e na extração. Por sua vez, pode ocorrer degradação enzimática das amostras cruas durante as análises ou perdas não contabilizadas de umidade e sólidos solúveis que aumentam o conteúdo de carotenóides por unidade de peso.

A biodisponibilidade dos carotenóides está definida como à proporção que é absorvida e disponível para a utilização em funções biológicas ou para armazenamento no organismo, sendo influenciada por uma série de fatores que podem melhorá-la ou

prejudicá-la como: espécies dos carotenóides, junções moleculares, quantidade na refeição, propriedades da matriz alimentar, efetores, estado nutricional, genética, especificidade do hospedeiro e interações entre os fatores (TANUMIHARDJO, 2002).

Neste sentido, a biodisponibilidade de carotenóides, principalmente β -caroteno, de batata doce tem sido avaliada em diferentes populações. Low et al. (2007) demonstraram que o consumo de batata doce cozida por um grupo de crianças em Moçambique aumentou significativamente as concentrações de retinol no sangue ($0,100 \mu\text{mol.L}^{-1}$) quando comparado com o controle. Da mesma forma, Jaarsveld et al. (2005) e Haskell et al. (2004) determinaram a eficácia do consumo diário de batata doce de polpa alaranjada em diferentes formas de preparo, na melhora das concentrações de vitamina A em grupos de crianças entre 5 e 10 anos na África do Sul e homens entre 18 e 35 anos em Bangladesh.

2.1.3 Fenólicos como compostos bioativos e sua ocorrência em batata doce

Raízes de batata doce são fontes ricas de proteína, carboidratos, minerais e carotenóides. Como referido anteriormente, os altos teores de β -caroteno de raízes de polpa alaranjada podem auxiliar na prevenção da DVA nos países em desenvolvimento. Além destes componentes, batata doce contém compostos fenólicos que podem atuar como antioxidantes protegendo o corpo humano de determinadas doenças crônicas como doenças cardiovasculares, alguns tipos de cânceres, enfermidades neurodegenerativas e diabetes (GAN et al., 2010; APOSTOLIDIS et al., 2011; HUANG; CAI; ZHANG, 2010). Em termos de conteúdo de fenólicos totais em relação ao peso fresco, a batata doce ocupa o oitavo lugar entre as 23 hortaliças mais consumidas no mundo, e o undécimo com a maior atividade inibitória sobre a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (VINSON et al., 1998).

Compostos fenólicos em alimentos são originários de uma das principais classes de metabólitos secundários nas plantas derivados de fenilalanina e em menor proporção de tirosina. Quimicamente, os fenólicos podem ser definidos como substâncias que possuem um anel aromático com um ou mais grupos hidroxila, incluindo seus derivados funcionais. As plantas e os alimentos contêm uma grande

variedade de derivados fenólicos, incluindo fenóis simples, fenilpropanóides, flavonóides, derivados do ácido benzóico, estilbenos, taninos, lignanas e ligninas, essenciais no crescimento e a reprodução de plantas. Os compostos fenólicos atuam como elementos antipatogênicos, protetores contra a radiação ultravioleta entre outras funções que incluem a pigmentação natural dos vegetais (SHAHIDI; NACZK, 2004).

Além dos estudos *in vitro* e *in vivo* sugerindo que os compostos fenólicos de frutas e vegetais exercem várias funções de benefício à saúde, incluindo a redução nos riscos de câncer e doenças cardíacas e neurodegenerativas, estudos epidemiológicos também mostram associações inversas entre a ingestão de frutas e legumes e uma menor incidência de doenças cardiovasculares e diferentes tipos de cânceres (ROSSI et al., 2010; LAGIOU et al., 2006; ARTS, 2008). A propriedade antioxidante dos compostos fenólicos desempenha um papel importante na proteção das células e tecidos do estresse oxidativo e outros efeitos biológicos associados com doenças crônicas (RIMBACH; De PASCUAL-TERESA, 2005)

Nesse contexto, têm sido relatados nos últimos anos diversos estudos que avaliam a composição e atividade antioxidante de fenólicos em diferentes alimentos, principalmente frutas e vegetais, incluindo a batata doce. Compostos fenólicos em batata doce têm sido avaliados em vários estudos, principalmente nos Estados Unidos e Japão. Extratos polifenólicos de folhas e raízes de batata doce são indicados por possuírem potente atividade antioxidante, antimutagênica, propriedades quimiopreventivas, efeitos antidiabéticos e reduzir os efeitos do Alzheimer por limitação do estresse oxidativo no cérebro (TRUONG et al., 2007; OKI et al., 2002; RABAH et al., 2004; KIM et al., 2011; ISLAM, 2006; NAGAI et al., 2011). No entanto, poucas informações disponíveis sobre a concentração e bioatividade antioxidante de compostos fenólicos nas raízes de cultivares de batata doce produzidas no Brasil, são encontradas na literatura.

Altos conteúdos de compostos fenólicos foram identificados em folhas de batata doce atribuindo alta atividade antioxidante. A utilização de farinha obtida a partir deste vegetal pode ser considerada um potencial ingrediente funcional para utilização em produtos alimentícios como sorvetes, sucos, refrigerantes, chá e pão (ISLAM, 2006).

Compostos fenólicos contribuem para a pigmentação natural de alimentos de origem vegetal, dessa forma sua presença em batata doce proporciona, junto com os carotenóides, as cores características da polpa em raízes de diferentes cultivares (amarelo, laranja ou roxo) (TEOW et al., 2007). Raízes de batata doce de polpa roxa foram avaliadas por serem ricas fontes de antocianinas com concentrações que variam entre 108,1 e 502,6 mg.100g⁻¹ de matéria seca (ZHU et al., 2010), dependendo dos fatores genéticos e do cultivo. A concentração de antocianinas em raízes de polpa roxa decresce desde a periferia até o centro da raiz podendo ser afetada também pelo estado de desenvolvimento e maturidade da raiz. Em alguns cultivares, as concentrações de antocianinas propiciam uma coloração semelhante à beterraba, despertando o interesse da indústria alimentícia por corantes naturais em substituição dos sintéticos. Embora alguns corantes de origem vegetal sejam menos estáveis em comparação com os sintéticos, antocianinas de batata doce fornecem maior estabilidade atribuída aos grupos acilados característicos da sua estrutura (WOOLFE, 1992).

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Produção e amostragem da matéria prima

As raízes dos quatro cultivares de batata doce biofortificados analisados foram providas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Hortaliças, Brasília-DF), cujos códigos de identificação correspondem a CNPH 1007, CNPH 1194, CNPH 1202 e CNPH 1205.

O plantio dos cultivares foi feito em solo do tipo latossolo vermelho-amarelo distrófico, na área experimental da EMBRAPA Hortaliças, localizado no núcleo rural da Ponte Alta na cidade de Brasília-DF, no dia 17 de dezembro de 2009.

A altitude da área do local do plantio é de 996 m sobre o nível do mar e sua localização geográfica é de 15°56'00" de latitude sul e 48°08'00" de longitude oeste.

No preparo do solo foram utilizados equipamentos e maquinaria agrícola de subsolador e aradora. O sistema de irrigação correspondeu à aspersão convencional com canhão e a adubação seguiu a recomendação da análise do solo, utilizando a fórmula 04-14-08 (N-P-K).

As ramas para plantio foram retiradas de plantas cultivadas em casa de vegetação com telado antiafídeo, apresentando adequada qualidade sanitária. Foram empregadas mudas com cerca de seis nós e o espaçamento foi de 80 cm entre leiras e 30 cm entre plantas.

O plantio foi realizado em parcelas sem repetições. Durante o ciclo da cultura foram realizadas três capinas e uma adubação de cobertura, além de um monitoramento de pragas e doenças. No caso de pragas houve a ocorrência de *Diabrotica speciosa*, sendo realizadas pulverizações para o seu controle. Foi detectada baixa incidência da doença causada pelo fungo *Gaeumannomyces graminis*, conhecida popularmente como o mal-do-pé. No entanto, a incidência desta doença foi mínima e não representou alterações para o desenvolvimento das plantas.

A colheita foi realizada no dia 10 de maio de 2010 aos 144 dias após o plantio e as produtividades comerciais das raízes foram de 25,85 t.ha⁻¹ para CNPH 1205; 18,12 t.ha⁻¹ para CNPH 1194; 11,10 t.ha⁻¹ para CNPH 1007; e 16,87 t.ha⁻¹ para CNPH 1202.

Para cada cultivar foram coletadas 30 raízes representativas de diferentes pontos do local de produção e de diferentes partes da raiz principal, com o objetivo de assegurar uma amostragem representativa. Depois da coleta, as raízes foram lavadas, secas e embaladas em caixas de papelão e transportadas via terrestre desde a cidade de Brasília-DF até o Laboratório de Nutrição Humana na cidade de Piracicaba – São Paulo. O material foi armazenado em câmara fria (aproximadamente 18°C) até o período seqüencial das análises.

2.2.2 Descrição da área experimental

As atividades experimentais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Humana do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, situada na cidade de

Piracicaba, São Paulo, Brasil. Atividades programadas foram realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, situada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

2.2.3 Cor instrumental

Para a análise de cor instrumental foram selecionadas quatro raízes de batata doce de cada cultivar, considerando seu tamanho e ausência de defeitos. Esta análise foi realizada no material fresco cru de batata doce visando à caracterização da matéria prima. As raízes foram lavadas, secas, descascadas e cortadas transversalmente em dois locais diferentes, na parte central e um extremo da raiz. A medida de cor foi realizada sobre a superfície de cada um dos cortes mediante uso de um espectrofotômetro portátil modelo MiniScan®XE Plus (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, VA) integrado a um sistema Universal Software V4.10 e padronizado para operar com as seguintes especificações: geometria ótica 45/0, 25 mm de diâmetro de abertura, ângulo de observação 10° e iluminante D65. Os resultados foram expressos em concordância às coordenadas CIE L*a*b*, os valores de croma (C*) e ângulo-hue (h*) foram calculados ($C^* = [(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}]$ e $h^* = \text{tg}^{-1}(b^*/a^*)$).

2.2.4 Preparação das amostras e processamentos

Para as análises dos compostos bioativos foram empregadas amostras frescas cruas e processadas de quatro raízes para cada cultivar de batata doce, descascadas, cortadas longitudinal e transversalmente em pequenas porções para posterior homogeneização em um processador de alimentos.

Os processamentos avaliados corresponderam aos métodos comuns domésticos e industriais de consumo de batata doce incluindo cozido, assado, vapor (JANGCHUD; PHIMOLSIRIPOL; HARUTHAITHANASAN, 2003) e farinha, utilizando quatro raízes de cada cultivar por tratamento.

O cozimento foi feito cobrindo as raízes de batata doce em água (aproximadamente de 1500 a 2000 mL) a 95°C aproximadamente, em utensílio devidamente tampado. O processamento de cozimento a vapor foi realizado em utensílio adaptado utilizando água a 95°C aproximadamente. O assado foi realizado em forno elétrico cobrindo as amostras de batata doce com papel alumínio. Cada processamento foi concluído quando a temperatura interna geométrica das raízes atingiu 86°C aproximadamente, indicando preparo uniforme do material (KIDMOSE et al., 2007). O tempo dos processamentos variou entre os cultivares de 30 a 50 min.

No processamento de farinha, as raízes foram lavadas com água, secas com papel absorvente, descascadas e cortadas em fatias de 2 a 3 mm de espessura utilizando processador de alimentos. Posteriormente as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 57°C por 12 horas. O material seco foi moído usando moinho de facas para a obtenção da farinha. Para todos os processamentos foi registrado o peso do material de análises antes e depois de cada processo para efeitos da estimativa na retenção de carotenóides.

Para as análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante foi utilizado o material homogeneizado obtido da preparação das amostras previamente descritas, liofilizado (Modulyo, EC Apparatus), moído mediante o uso de moinho de facas e armazenado em embalagens de polietileno laminada a -20°C até o período seqüencial das análises.

2.2.5 Análises de carotenóides

Em decorrência da natureza dos carotenóides serem degradados pela exposição à luz e oxigênio, as análises foram feitas sob condições de baixa luminosidade e em um curto tempo para evitar possível degradação e oxidação dos compostos. As etapas pré-cromatográficas foram realizadas de acordo com Mercadante e Rodriguez-Amaya (1998).

2.2.5.1 Extração

A extração dos carotenóides foi feita a partir de uma amostra fresca representativa de cinco gramas do homogeneizado obtido na preparação, utilizando acetona refrigerada (aproximadamente 200 mL), adicionada paulatinamente em almofariz até a amostra ficar desprovida de cor. O extrato foi filtrado em funil de Büchner sob vácuo utilizando papel filtro qualitativo e coletado em erlenmeyer coberto com papel alumínio.

2.2.5.2 Partição

A partição do extrato obtido foi realizada com éter de petróleo e éter etílico (50 mL 1:1) em funil de separação, adicionando água deionizada gradualmente (aproximadamente 2500-3000 mL) através das paredes do funil evitando a formação de emulsões. As fases foram separadas e a fase aquosa de acetona foi descartada. A fase de éter e carotenóides foi coletada em um erlenmeyer e as partículas dos pigmentos aderidos às paredes do funil de separação foram removidas através de lavagem sucessivas com éter de petróleo e adicionadas ao erlenmeyer.

2.2.5.3 Saponificação

Com o objetivo de hidrolisar possíveis ésteres de carotenóides e xantofilas, foi realizada a etapa de saponificação. Este procedimento foi realizado pela adição de 10% de hidróxido de potássio diluído em metanol, ao extrato etéreo de carotenóides em volume semelhante (50 mL). A solução tampada e coberta com papel alumínio foi deixada à temperatura ambiente por uma noite. Posteriormente, foi feita uma lavagem com água deionizada (aproximadamente 2000 mL), similarmente à etapa de partição, para o descarte do álcali. A lavagem foi realizada até a água de descarte ficar com pH neutro, verificado mediante o emprego de papel indicador. A fase saponificada de éter e

carotenóides foi coletada em um erlenmeyer. Com a finalidade de eliminar possíveis resíduos de água, foi adicionado (3 g) sulfato de sódio anidro.

2.2.5.4 Concentração dos carotenóides

O extrato saponificado de éter e carotenóides foi concentrado até secagem completa em um evaporador rotatório com temperatura menor de 35°C. O extrato seco de carotenóides foi rediluído em pequenas quantidades de éter de petróleo (aproximadamente 5 mL) e coletado em frasco de vidro âmbar para secagem sob N₂ e posterior armazenamento em freezer (-20°C) até injeção no sistema de cromatografia.

2.2.5.5 Identificação e quantificação de carotenóides individuais

A identificação e quantificação dos carotenóides foram realizadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), comparados com os padrões respectivos (β -caroteno, luteína e zeaxantina; Sigma-Aldrich). Todos os solventes utilizados para a separação por CLAE foram graus cromatográficos e previamente filtrados em sistema Millipore de filtração a vácuo, com membrana para solvente orgânico de 0,45 μ m (Millipore – Barueri, Brasil).

O extrato de carotenóides seco sob N₂ foi diluído em 4 mL de éter metil tert-butílico (MTBE) (J.T.Baker® - Mallinckrodt, EUA) de grau cromatográfico e filtrado utilizando seringa e membrana de polietileno (Millex PTFE) com tamanho de poro de 0,45 μ m e diâmetro de 13 mm. Uma alíquota de 100 μ L foi rediluída em diferentes volumes de MTBE variado entre 1 a 1,9 mL para as diferentes concentrações das amostras diretamente nos vials de injeção.

As análises de CLAE foram realizadas em um sistema HPLC Agilent 1100 Series equipado com sistema quaternário de bombeamento de solventes (Waters série 2695) e detector UV/Vis (Waters série 2487 Dual I). Uma coluna de fase reversa C₃₀ polimérica marca YMC foi utilizada contendo um tamanho de partícula de 3 μ m, 250 mm de comprimento e 4,6 mm de diâmetro interno. A fase móvel correspondeu a um gradiente

de água/metanol (Panreac-Barcolena, Espanha)/MTBE em uma proporção inicial 5:90:5, atingindo 0:95:5 em 12 minutos, 0:89:11 em 25 minutos, 0:75:25 em 40 minutos até concentração final de 0:50:50 em 60 minutos, vazão de 1 mL.min⁻¹ e temperatura de coluna de 33°C (ZANATTA; MERCADANTE, 2007).

Os espectros foram conduzidos entre 250 e 650 nm e os cromatogramas processados em comprimento de onda fixo de 450 nm para carotenóides. A identificação foi feita comparando os tempos de retenção dos picos obtidos para o padrão e para as amostras, analisados sob as mesmas condições.

A quantificação foi realizada através da construção de curvas padrões para os carotenóides nas seguintes faixas de concentrações: β -caroteno de 5 a 50 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, luteína de 1 a 65 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ e zeaxantina de 1 a 40 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, e expressados como micrograma por grama de base seca e úmida ($\mu\text{g.g}^{-1}$).

2.2.5.6 Derivatizações químicas para identificação de carotenóides

Algumas reações químicas específicas foram empregadas para a determinação de grupos específicos funcionais da molécula de β -caroteno.

Para verificar a presença de 1 ou 2 grupamentos epóxido na posição 5,6 foram adicionadas gotas de ácido clorídrico 0,1N ao carotenóide dissolvido em etanol (EUGSTER, 1995; DAVIES, 1976). Tal procedimento leva a um rearranjo epóxi-furanóide, que é indicado pela diminuição de 20 nm no comprimento de onda máximo de absorção, para cada grupo epóxido.

Por outro lado, com o intuito de identificar configurações geométricas *cis* da molécula de β -caroteno, foi empregada a reação de isomerização catalisada por iodo e luz. Foram adicionadas gotas de uma solução etérea de iodo ao carotenóide diluído neste mesmo solvente, seguido de exposição à luz por 3 minutos. Como resultado, o carotenóide *trans* sofre um deslocamento hipsocrômico, de 2 a 6 nm, enquanto que o isômero *cis* apresenta aumento nos comprimentos de onda de absorção (DAVIES, 1976). A quantificação dos carotenóides derivados foi feita em função da curva do padrão de β -caroteno. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram,

respectivamente, para o *All-trans*- β -caroteno e *9-cis*- β -caroteno $6,53 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$ e $10,89 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$; para luteína $6,91 \times 10^{-3}$ e $1,15 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$; para zeaxantina $9,56 \times 10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}$ e $1,59 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$, para 5,6 epóxi- β -caroteno $4,46 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$ e $7,43 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$, para 13-*cis*- β -caroteno para $4,46 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$ e $7,43 \times 10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}$.

2.2.5.7 Cálculo da retenção de carotenóides

A determinação estimada da retenção de carotenóides foi calculada de acordo com a fórmula de Murphy; Criner e Gray, (1975):

$$\%RV = \left(\frac{c_1 \times b_p}{c_2 \times b_c} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde,

c_1 : concentração de carotenóides em batata doce após processamento,

b_p : peso da amostra de batata doce após processamento,

c_2 : concentração de carotenóides em batata doce antes do processamento,

b_c : peso da amostra de batata doce antes do processamento.

2.2.6 Análises de compostos fenólicos totais

Semelhantemente às análises prévias, as análises de compostos fenólicos foram feitas sob condições de baixa luminosidade e em curto tempo para evitar possível degradação do analito.

Os compostos fenólicos totais foram quantificados por análise espectrofotométrica usando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (SWAIN; HILLIS, 1959) com ligeiras modificações e ácido gálico como padrão. Uma amostra representativa de 0,5 g do material liofilizado foi diluída em 50 mL de metanol. A solução foi submetida à agitação por 20 min e centrifugada a 230 g por 15 min. Cada extrato das amostras (0,5 mL) foi diluída em 4 mL de água ultra pura, seguida pela

adição de 0,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 minutos, foi adicionada 0,5 mL da solução saturada de Na_2CO_3 a 1N e incubado por 30 min a 37°C em banho-maria. A absorvância do complexo azulado resultante foi medida a 660 nm no espectrofotômetro (UV-mini 1240, Shimadzu). A água ultra pura foi utilizada como branco. Uma curva padrão foi elaborada usando uma escala linear das concentrações de ácido gálico (0-21 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). A absorvância medida de cada solução foi apresentada em termos de equivalentes de ácido gálico. Os compostos fenólicos totais foram expressos como miligrama de equivalente de ácido gálico por grama de peso seco ($\text{mg AG}\cdot\text{g}^{-1}$ bs).

2.2.7 Ensaio da atividade sequestrante do radical DPPH

As análises da atividade sequestrante do radical DPPH foram realizadas seguindo o procedimento desenvolvido por Brand-Williams; Cuvelier; Berset, (1995) com algumas modificações, sob condições de baixa luminosidade.

Um grama da amostra liofilizada foi diluída em 20 mL de etanol. A solução foi submetida à agitação por 10 min e centrifugada a 660 g por tempo semelhante. Cada extrato das amostras (0,5 mL) foi diluído em 3 mL de etanol, seguido pela adição de 0,3 mL da solução de DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydazyl), como fonte de radicais livres, e incubado em lugar escuro por 45 min. A redução na absorvância do DPPH foi medida a 517 nm no espectrofotômetro (UV-mini 1240, Shimadzu). O etanol foi utilizado como branco. Uma curva padrão foi elaborada usando uma escala linear de concentrações conhecidas de Trolox (6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid) e a atividade antioxidante foi apresentada em termos de milimolar de equivalentes Trolox por 100 gramas de peso seco ($\text{mM Trolox}\cdot 100\text{g}^{-1}$ bs).

2.2.8 Ensaio da atividade sequestrante do radical ABTS

As análises da atividade sequestrante do radical ABTS foram realizadas seguindo o procedimento desenvolvido por Re et al. (1999) com algumas modificações

aplicadas pela EMBRAPA Agroindústria Tropical (EMBRAPA, 2007), sob condições de baixa luminosidade.

Um grama da amostra liofilizada foi diluída em 20 mL de etanol. A solução foi submetida à agitação por 10 min e centrifugada a 660 g por tempo semelhante. Cada extrato das amostras (30 μ L) foi diluído em 3 mL da solução ABTS (2,2'-azinobis(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) como fonte de radicais livres, e incubado em lugar escuro por 6 min. A redução na absorbância do ABTS foi medida a 734 nm no espectrofotômetro (UV-mini 1240, Shimadzu). O etanol foi utilizado como branco. Uma curva padrão foi elaborada usando uma escala linear de concentrações conhecidas de Trolox (6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid) e a atividade antioxidante foi apresentada em termos de molar (M) de equivalentes Trolox por 100 gramas de peso seco (M Trolox. 100g^{-1} bs).

2.2.9 Análise estatística

Todos os resultados são uma média de três repetições e são expressos como a média \pm desvio padrão. A técnica de ANOVA foi aplicada nas repetições dos dados experimentais com o intuito de determinar diferenças significantes sobre as variáveis avaliadas nos tratamentos. Quando estas diferenças foram detectadas ($P < 0.05$), foi realizado teste de Tukey para a comparação de médias. Adicionalmente, foram realizadas correlações de Pearson entre as variáveis. As técnicas de análises estatísticas foram aplicadas usando o software SAS (Version 9.0, SAS institute Inc., Cary, NC).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Análises de cor instrumental nas raízes cruas de batata doce

Os dados obtidos pela medição de cor instrumental no sistema Hunter estão expressos na Tabela 1. Os valores de luminosidade (L^*) variaram em uma faixa de 61,0 a 65,3, diferindo estatisticamente entre os cultivares, com exceção de dois cultivares (CNP 1007 e 1194). Os valores de vermelho (a^*) que destacam um parâmetro importante na avaliação de cultivares de polpa alaranjada indicaram que não houve diferenças significativas para os cultivares CNPH 1007, 1202 e 1205 (32,4, 30,1 e 32,5 respectivamente), excetuando o cultivar CNPH 1194 que apresentou valor maior para este parâmetro (37,5). Por outro lado, valores de amarelo (b^*) e croma (C^*) não diferiram estatisticamente entre os quatro cultivares, exceto o cultivar CNPH 1194 para o valor de croma que apresentou média maior (54,0) quando comparado com os três restantes. No entanto, valores do ângulo Hue diferiram estatisticamente entre os cultivares com o maior valor atribuído ao cultivar CNPH 1202 (50,7) e o menor valor ao CNPH 1194 (46,1).

Tabela 1 – Valores médios de cor Hunter¹ de raízes cruas de quatro cultivares de batata doce²

Cultivar	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
CNP 1007	61,4 ± 0,6 ^c	32,4 ± 0,7 ^b	36,8 ± 0,9 ^a	49,0 ± 1,1 ^b	48,8 ± 0,2 ^c
CNP 1194	61,0 ± 0,3 ^c	37,5 ± 0,5 ^a	38,9 ± 0,7 ^a	54,0 ± 0,8 ^a	46,1 ± 0,1 ^d
CNP 1202	63,1 ± 0,1 ^b	30,1 ± 0,6 ^b	36,8 ± 0,7 ^a	47,6 ± 0,9 ^b	50,7 ± 0,3 ^a
CNP 1205	65,3 ± 0,0 ^a	32,5 ± 1,9 ^b	37,5 ± 2,0 ^a	49,6 ± 2,8 ^b	49,1 ± 0,1 ^b

¹ L^* : Luminosidade; a^* : intensidade de vermelho; b^* : intensidade de amarelo; C^* : croma, saturação de vermelho; h^* : ângulo Hue

² Cada valor corresponde à leitura média de quatro raízes cruas frescas para cada cultivar. Valores na mesma coluna seguida com diferentes letras (^{a-d}) são diferentes significativamente ao nível 5%

Além dos estudos ilustrando coeficientes de correlação entre valores de cor Hunter, principalmente valor de a^* , e o conteúdo de carotenóides, os parâmetros de cor em batata doce não mostraram diferenças para diversos cortes transversais da raiz.

Entretanto, foi observada diminuição nos parâmetros de L^* , a^* e alguns casos de b^* , quando as raízes foram submetidas ao cozimento (ALMEIDA; PENTEADO; FERREIRA, 1992).

Raízes de batata doce de polpa alaranjada foram recentemente introduzidas e disseminadas em alguns estados do Nordeste brasileiro com maior incidência de DVA, como parte das estratégias de biofortificação de cultivos, conduzidas pela EMBRAPA (NUTTI et al., 2010). Porém, a produção e comercialização destes cultivares não é comum no mercado nacional, de modo que o consumidor opta por raízes de polpa branca (“white-fleshed sweet potato”), com cores variando entre branco e ligeiramente amarela (ALMEIDA; PENTEADO, 1988), os quais foram avaliados por possuir valores de a^* entre 2,0 e 16,1, valores de L^* entre 78,0 e 85,1 e valor de b^* entre 22,1 e 33,8 para cortes internas de raízes cruas (AMENY; WILSON, 1997).

2.3.2 Análises de carotenóides em raízes cruas de batata doce

Na Figura 3 é observado um cromatograma característico de um extrato saponificado das raízes cruas de um cultivar de batata doce com os principais carotenóides identificados em diferentes tempos de retenção (18, 20, 30, 35, 42, 44 min). A eluição precoce das xantofilas (luteína em 18 minutos e zeaxantina em 20 minutos), explica a natureza mais polar destes carotenóides. Durante uma fase reversa cromatográfica não aquosa, nas xantofilas ocorre uma partição preferencialmente na fase móvel polar e, portanto, a eluição acontece antecipadamente do que nos carotenóides menos polares (CRAFT, 2001). Na Tabela 2 estão expressos os teores dos principais carotenóides dos quatro cultivares de batata doce avaliados. Todos apresentaram altos teores de carotenóides (entre 284,1 e 458,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de base fresca), com predominância do β -caroteno. As xantofilas, luteína e zeaxantina, representam quantidades menores em relação aos carotenóides totais identificados.

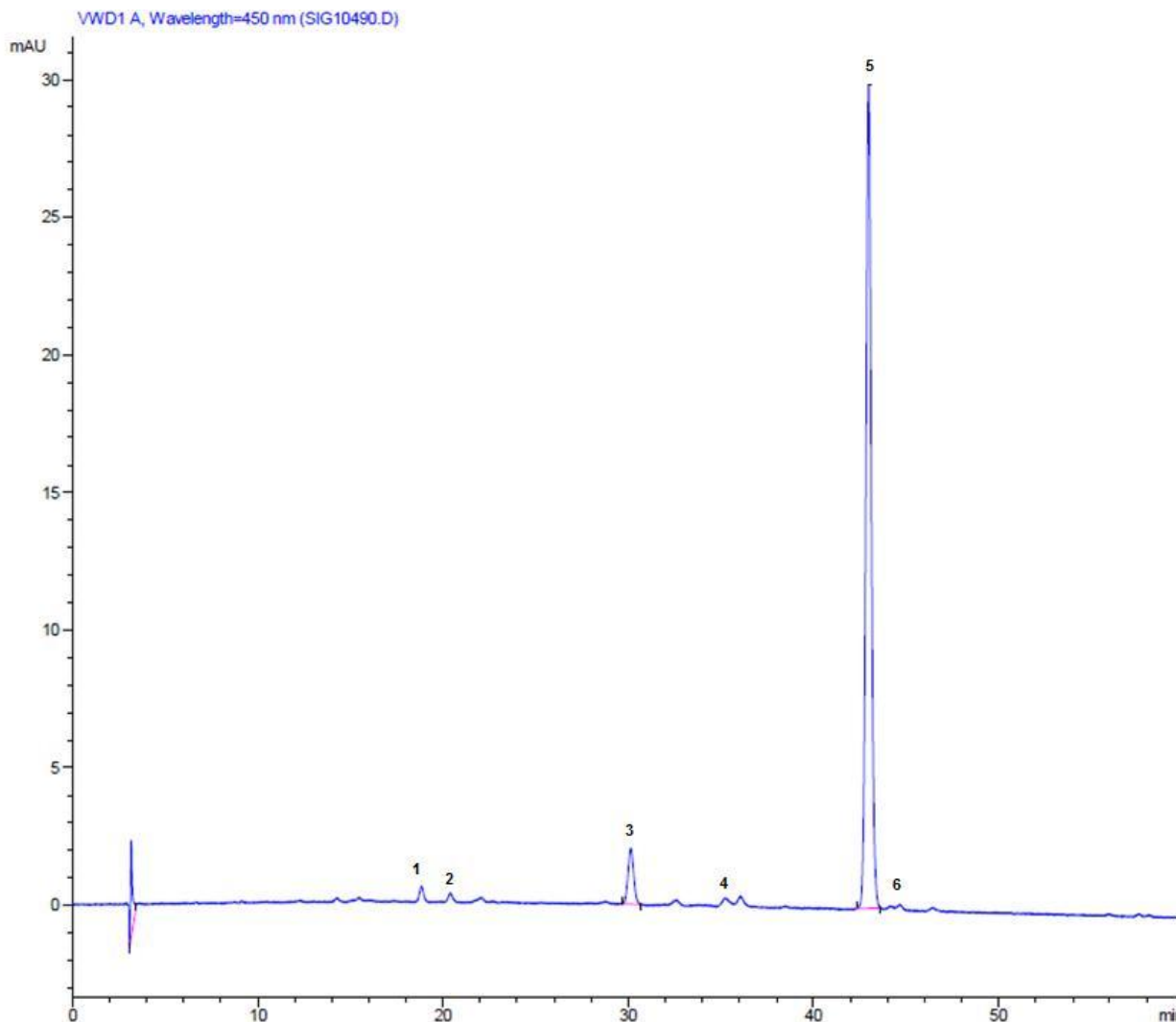


Figura 3 – Cromatograma, obtido por CLAE, dos carotenóides do extrato saponificado de raízes de batata doce cultivar CNPH 1007. Condições cromatográficas: coluna de fase reversa C₃₀ polimérica marca YMC (3 μ m x 250 mm x 4,6 mm). Fase móvel: gradiente de água/metanol/éter metil tert-butil (MTBE) proporção inicial 5:90:5, atingindo 0:95:5 em 12 minutos, 0:89:11 em 25 minutos, 0:75:25 em 40 minutos até concentração final de 0:50:50 em 60 minutos, vazão de 1mL.min⁻¹, a 33°C. 1. Luteína; 2. Zeaxantina; 3. 5,6- epóxi- β -caroteno; 4. 13-*cis*- β -caroteno; 5. All-*trans*- β -caroteno; 6. 9-*cis*- β -caroteno

Os teores de β -caroteno em três cultivares (CNPH 1007, CNPH 1202, CNPH 1205) não variaram significativamente entre si. No entanto o cultivar CNPH 1194 apresentou alto teor de β -caroteno (456,4 μ g.g⁻¹) quando comparado aos outros cultivares, demonstrando o alto potencial para seu desenvolvimento e disseminação como aliado na prevenção e redução de risco de DVA. Este cultivar também apresentou os maiores valores para os outros carotenóides identificados (luteína e zeaxantina).

Nestes compostos xantofílicos não existiram diferenças significativas nos teores dos outros cultivares avaliados.

Tabela 2 – Teores de compostos carotenóides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ bf) em raízes cruas de cultivares de batata doce biofortificados¹

Cultivar	β -caroteno total	Luteína	Zeaxantina	Carotenóides Totais
CNPH 1007	290,1 \pm 14,5 ^b	0,3 \pm 0,1 ^b	0,2 \pm 0,0 ^b	290,7 \pm 14,5 ^b
CNPH 1194	456,4 \pm 6,6 ^a	1,3 \pm 0,2 ^a	0,6 \pm 0,1 ^a	458,2 \pm 6,6 ^a
CNPH 1202	283,3 \pm 3,0 ^b	0,5 \pm 0,0 ^b	0,3 \pm 0,0 ^b	284,1 \pm 3,0 ^b
CNPH 1205	295,8 \pm 19,0 ^b	0,3 \pm 0,1 ^b	0,2 \pm 0,0 ^b	296,3 \pm 19,1 ^b

¹ Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas para cada cultivar. Valores na mesma coluna seguida com diferentes letras (^{a-b}) são diferentes significativamente ao nível 5%

Quando analisado as diferentes configurações estruturais da molécula de β -caroteno, observa-se que a forma *All-trans*- β -caroteno é predominante em todos os cultivares avaliados (Tabela 3). Estes resultados sugerem alta atividade provitamina A dos cultivares em razão às formas do β -caroteno presentes nas amostras, que indicam uma atividade de 100% para o *All-trans*- β -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

Tabela 3 – Teores de compostos carotenóides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ bf) derivados do β -caroteno em raízes cruas de cultivares de batata doce biofortificados¹

Cultivar	<i>All-trans</i> - β -caroteno	9- <i>cis</i> - β -caroteno	13- <i>cis</i> - β -caroteno	5, 6 epoxi- β -caroteno
CNPH 1007	228,9 \pm 13,3 ^b	14,3 \pm 0,2 ^b	26,8 \pm 0,6 ^a	20,2 \pm 0,6 ^c
CNPH 1194	377,9 \pm 6,5 ^a	17,0 \pm 0,2 ^a	28,1 \pm 1,2 ^a	33,3 \pm 0,6 ^a
CNPH 1202	223,4 \pm 4,3 ^b	14,5 \pm 0,2 ^b	23,3 \pm 1,4 ^b	22,1 \pm 0,3 ^b
CNPH 1205	238,9 \pm 18,1 ^b	14,2 \pm 0,2 ^b	22,0 \pm 0,8 ^b	20,8 \pm 1,0 ^{bc}

¹ Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas para cada cultivar. Valores na mesma coluna seguida com diferentes letras (^{a-c}) são diferentes significativamente ao nível 5%

Os grupos funcionais de carotenóides identificados das derivações químicas foram quantificados em função da curva do padrão de β -caroteno. A identificação dos isômeros 13- e 9-*cis*- β -caroteno foram designados tentativamente sobre prévios estudos com batata doce (LIU; TIN; YANG, 2009; BECHOFF et al., 2009). O pico aparecendo após o All-*trans*- β -caroteno foi provavelmente 9-*cis*- β -caroteno (Figura 4) (LESSIN; CATIGANI; SCHWARTZ, 1997). O grupamento 5,6-epóxi- β -caroteno foi detectado nas amostras, após reação de isomerização catalisada por solução etérea de iodo e exposição à luz e por adição de HCL 0,1 N respectivamente (Figura 5).

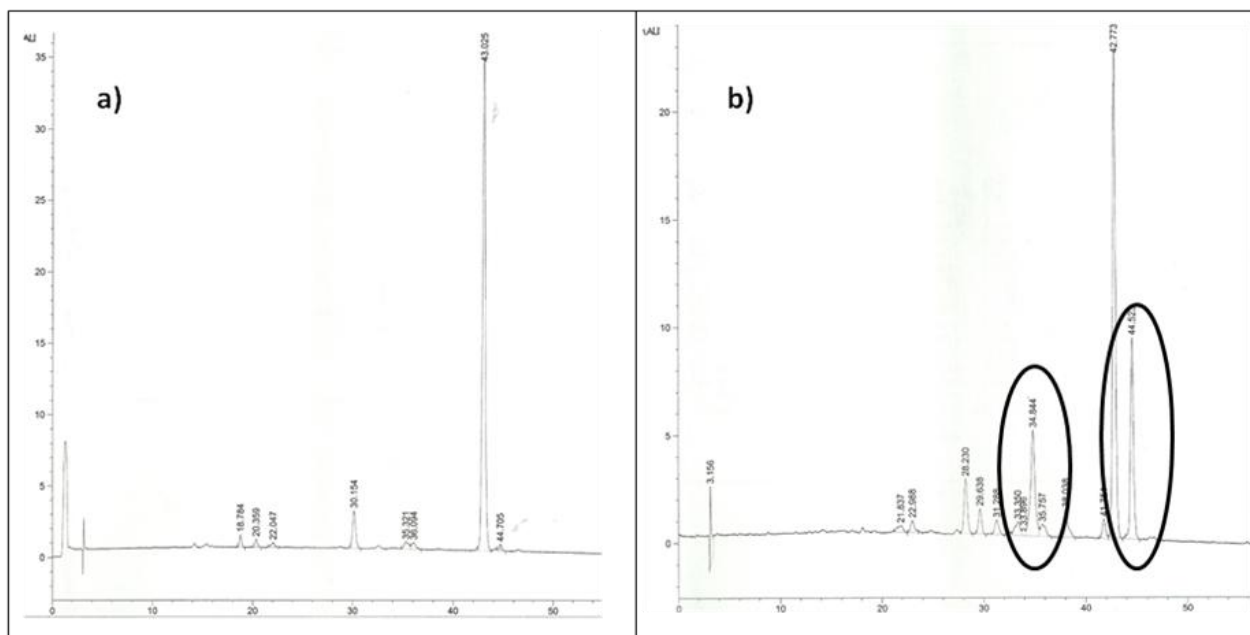


Figura 4 – Cromatograma obtido por CLAE dos carotenóides presentes em batata doce a) cromatograma típico de um extrato saponificado de batata doce b) cromatograma de um extrato saponificado de batata doce adicionado de uma solução etérea de iodo, seguido de exposição à luz por 3 min. Percebe-se o aumento dos picos dos isômeros de 13-*cis* e 9-*cis* de β -caroteno

Os resultados encontrados neste estudo enfatizam a importância de cultivares biofortificados de batata doce de polpa alaranjada. A predominância do All-*trans*- β -caroteno nesses cultivares (223,4 – 377,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de raiz fresca) foi superior aos valores encontrados em outros estudos avaliando raízes de polpa alaranjada (OFSP, Orange-fleshed sweet potato) (BENGTSSON et al., 2008; KIDMOSE et al., 2007; KIMURA et al., 2007; JAARSVELD et al., 2006), que relataram valores máximos variando entre 108 e 194 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de raiz fresca de cultivares OFSP.

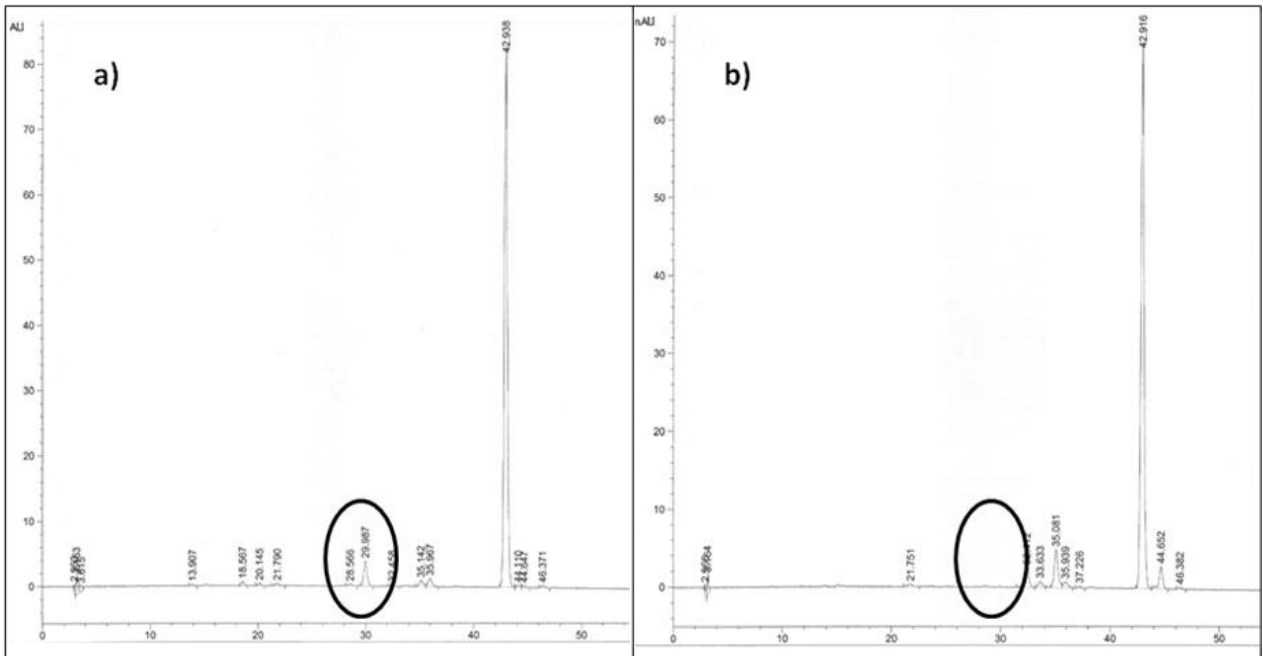


Figura 5 – Cromatograma obtido por CLAE dos carotenóides presentes em batata doce a) cromatograma típico de um extrato saponificado de batata doce com possível grupo epóxi ressaltado em círculo b) cromatograma de um extrato saponificado de batata doce adicionado de uma solução de HCL 0,1N em etanol. Percebe-se a diminuição do comprimento de onda máximo de absorção no grupo epóxi

Em relação aos cultivares CNPH 1007, CNPH 1202 e CNPH 1205, os resultados assemelham-se aos obtidos por Teow et al. (2007) e Wu et al. (2008), que para cultivares OFSP encontraram teores de *All-trans*- β -caroteno variando entre $226 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $231 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de raiz fresca. Porém, apresentaram valores inferiores a outros estudos (MILLS et al., 2009; FAILLA; THAKKAR; KIM, 2009; TAKAHATA et al., 1993) que relataram valores entre 266 e $281 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de raiz fresca.

No entanto, os valores encontrados por estes autores previamente citados avaliando cultivares OFSP, foram inferiores ao encontrado no cultivar CNPH 1194 ($377,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) avaliado no presente estudo, representando alto valor de *All-trans*- β -caroteno quando comparado com os encontrados na literatura, de um total de carotenóides totais identificados de $458,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para este cultivar. Raízes sadias de batata doce do cultivar “Porto Rico” apresentaram valores de carotenóides totais de $500 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de raiz fresca (THOMPSON, 1979).

Diversos autores discutem amplamente que a biossíntese de carotenóides e sua concentração nas plantas e, conseqüentemente nos alimentos, representa um conjunto

de fatores genéticos e/ou ambientais. Os teores destes compostos podem ser afetados pela variedade, genótipo, estação, localização geográfica, estado de maturidade, condições ou práticas do cultivo, processamento, armazenamento (MAIANI et al., 2009; MIGNONE et al., 2009; LIU et al., 2009; BALL, 2006; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004).

Em batata doce, o mecanismo para sintetizar carotenóides aparenta ser um fator genético, presente ou ausente no cultivar (WOOLFE, 1992), sendo o fator mais influente na acumulação de carotenóides. Estudos relatam que diferentes cultivares plantados em um mesmo local de produção apresentam variações dos conteúdos de carotenóides. Kidmose et al. (2007) indicaram que cultivares de polpa alaranjada e amarela coletadas na Quênia, apresentaram maiores conteúdos de β -caroteno em comparação aos cultivares de polpa branca, encontrando teores de 10,800 μg e 1,240 μg de *All-trans*- β -caroteno por 100 gramas de tecido fresco, respectivamente. Esse fato incentiva o desenvolvimento de pesquisas no melhoramento convencional e genético de cultivares com altos teores de carotenóides (WOOLFE, 1992).

No mesmo sentido, se deve considerar que fatores com menor influência, mas com igual significância, como o local de produção, idade de maturação, condições durante a produção agrônômica, parte da planta utilizada, tempo de colheita, entre outros, também afetam o conteúdo dos compostos carotenóides. Liu et al, (2009) determinaram que o tempo de colheita foi um fator crucial na influência do conteúdo de carotenóides em batata doce, sugerindo que o outono é a época ótima para a colheita devido à presença de maiores teores destes componentes.

Os altos valores obtidos no estudo, também podem ser atribuídos à biossíntese de carotenóides após colheita. Rodriguez-Amaya (1997) detalha que a biossíntese pode continuar em frutas, vegetais e raízes mesmo depois da colheita devido à influência da atividade das enzimas responsáveis pela carotenogênese.

2.3.3 Relação entre valores de cor Hunter e carotenóides de batata doce

As correlações entre os parâmetros de cor e os carotenóides individuais e totais identificadas em batata doce são apresentados na Tabela 4. Os valores de a^* , croma

(C*), e ângulo Hue (h*) mostraram, para a maioria dos carotenóides avaliados, forte correlação ($\pm 0,7-0,8$) com os carotenóides de batata doce. A melhor correlação foi observada entre o ângulo Hue e carotenóides totais ($R = -0,888$).

O aumento do valor de a* foi associado diretamente com o teor de *All-trans*- β -caroteno, sendo um parâmetro apropriado como ferramenta na estimativa dos teores do principal carotenóide em OFSP (Figura 6). Por outro lado, o decréscimo do ângulo Hue (h*) foi inversa e fortemente associado com o teor de *All-trans*- β -caroteno (Figura 7).

Tabela 4 – Coeficientes de correlação¹ entre carotenóides e parâmetros de cor Hunter² de raízes cruas de batata doce

	L*	a*	b*	C*	h*
<i>All-trans</i> - β -caroteno	-0,519*	0,863**	0,556*	0,792**	-0,886**
Luteína	-0,604*	0,770**	0,542*	0,726**	-0,764**
Zeaxantina	-0,547*	0,725**	0,542*	0,695**	-0,701**
5,6 epoxi- β -caroteno	-0,556*	0,820**	0,578*	0,771**	-0,812**
13- <i>cis</i> - β -caroteno	-0,875**	0,647*	0,267 ^{ns}	0,540*	-0,764**
9- <i>cis</i> - β -caroteno	-0,592*	0,854**	0,623*	0,811**	-0,837**
Carotenóides totais	-0,544*	0,864**	0,556*	0,793**	-0,888**

¹ Coeficientes de correlação de Pearson. *, **, significantes ao $P \leq 0,05$ ou $0,01$ respectivamente, ^{ns}, não significativa

² L*: Luminosidade; a*: intensidade de vermelho; b*: intensidade de amarelo; C*: croma, saturação de vermelho; h*: ângulo Hue

As características de transmitância de luz têm sido descritas como úteis na avaliação de maturidade de colheita em diferentes frutas e vegetais (JHA; CHOPRA; KINGSLEY, 2007; SUBEDI; WALSH; OWENS, 2007). Em alimentos como batata doce, manga e tomate, o aumento do valor de a* esteve relacionado com a síntese de β -caroteno e licopeno respectivamente (BENGTSSON et al., 2008; ORNELAS-PAZ; YAHIA; GARDEA, 2008; ARIAS et al., 2000).

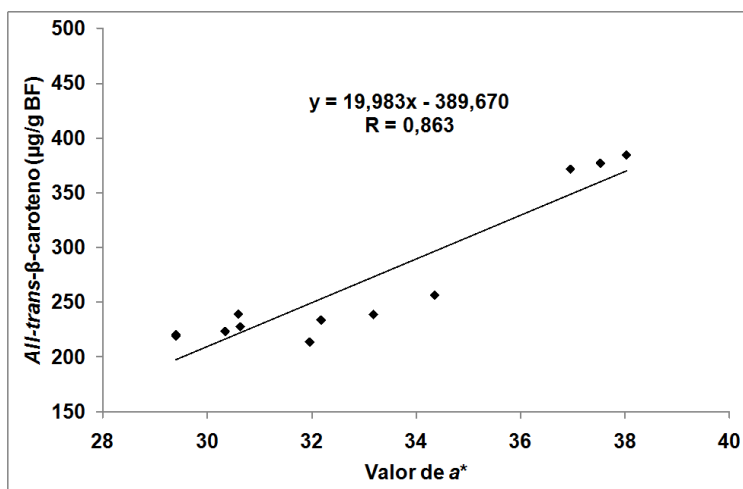


Figura 6 – Correlação entre o conteúdo de All-trans-β-caroteno ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de base fresca) e valor de cor a^* de quatro cultivares de batata doce

A cor de cultivares de batata doce foi relacionada positivamente aos teores de β-caroteno. Cultivares de polpa laranja apresentaram maior teor de β-caroteno do que cultivares de polpa amarela ou branca (KIDMOSE et al., 2007; AMENY, WILSON, 1997). Em batata doce ou em outros frutos e vegetais, a cor instrumental do alimento pode ser usada para estimar o conteúdo de All-trans-β-caroteno, o principal carotenóide provitamina A na natureza, ou outros tipos de carotenóides (BENGTSSON et al., 2008; RUIZ et al., 2005), definindo um mecanismo viável para a estimativa rápida em lugares e situações onde equipamentos específicos para a quantificação destes pigmentos possam estar indisponíveis.

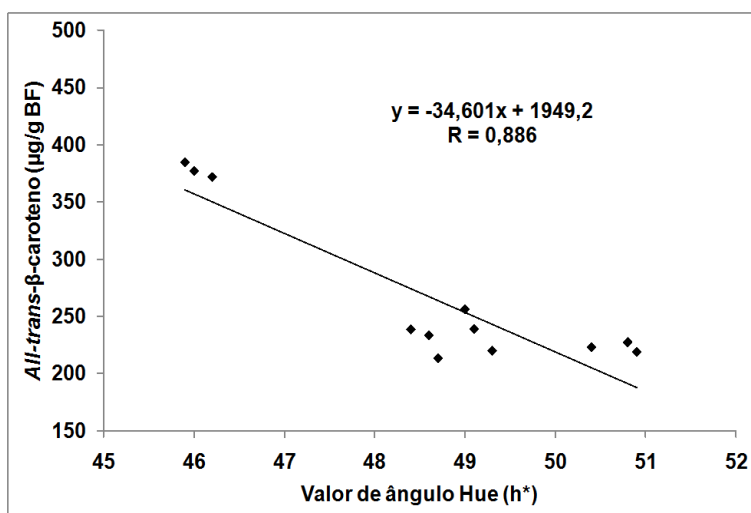


Figura 7 – Correlação entre o conteúdo de All-trans-β-caroteno ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de base fresca) e valor do ângulo Hue (h^*) de quatro cultivares de batata doce

2.3.4 Efeitos dos processamentos sobre carotenóides de raízes de batata doce

Nas Tabelas 5 a 10 estão expressos os teores em base seca dos carotenóides identificados nos quatro cultivares de batata doce submetidos a diferentes processamentos. No geral, houve incidência significativa dos diferentes processamentos sobre o teor de *All-trans-β*-caroteno (Tabela 5), o principal carotenóide de batata doce, observando-se diminuição nos teores em decorrência do processamento quando comparado com o material cru em cultivares como CNPH 1007, CNPH 1202 e CNPH 1205.

O cultivar CNPH 1194 apresentou o maior teor de *All-trans-β*-caroteno nos diferentes processamentos. Neste cultivar, os resultados indicam que os teores deste pigmento apresentaram um suposto aumento, não estatisticamente significativo, devido aos tratamentos térmicos aplicados no cozido e vapor. No cultivar CNPH 1205 este efeito foi observado no processamento de vapor. Este comportamento pode ser atribuído à maior facilidade de extração dos carotenóides nas amostras processadas. Nas amostras cruas estes compostos estão ligados a outros componentes da matriz do alimento os quais impedem a penetração dos solventes usados na extração (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Tabela 5 – Teores de *All-trans-β*-caroteno ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	79,1 ± 4,6 ^{cx}	68,9 ± 4,5 ^{by}	64,6 ± 1,6 ^{cy}	69,4 ± 1,2 ^{cy}	45,4 ± 2,8 ^{cz}
CNPH 1194	128,5 ± 2,2 ^{ax}	133,3 ± 5,0 ^{ax}	127,0 ± 7,9 ^{ax}	131,0 ± 1,9 ^{ax}	79,7 ± 5,5 ^{ay}
CNPH 1202	84,6 ± 1,6 ^{cw}	70,6 ± 2,7 ^{bxy}	66,5 ± 5,2 ^{cyz}	77,1 ± 1,8 ^{cwx}	59,2 ± 2,3 ^{bz}
CNPH 1205	102,1 ± 7,7 ^{bx}	76,9 ± 4,4 ^{by}	94,5 ± 7,7 ^{bxy}	103,0 ± 9,0 ^{bx}	56,3 ± 3,5 ^{bz}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Os tratamentos térmicos desnaturam proteínas de ligação que liberam de certa forma os carotenóides, sendo mais facilmente extraíveis. Por outro lado, o tratamento

térmico pode favorecer a inativação da enzima lipoxigenase que, nos tecidos vegetais, catalisa a peroxidação lipídica, dando origem a hidroperóxidos que se descompõem nas formas radicais peroxil e alcoxil responsáveis pela degradação de carotenóides (BALL, 2006). Nesse contexto, estudos prévios igualmente relataram aumentos nas concentrações de carotenóides após tratamentos térmicos em diferentes alimentos incluindo batata doce (KIDMOSE et al., 2007), brócolis (PELLEGRINI et al., 2010), e espinafre (PUUPPONEN-PIMIÄ et al., 2003).

Entre os processamentos, a farinha apresentou as maiores perdas de *All-trans-β*-caroteno para todos os cultivares avaliados, favorecido provavelmente pelas condições de maior tempo de exposição ao tratamento térmico e ao ar de circulação que promove a degradação e oxidação dos carotenóides.

O tratamento térmico reduziu os teores de *All-trans-β*-caroteno nos cultivares CNPH 1007, CNPH 1202 e CNPH 1205, com exceção do processamento a vapor neste último cultivar. Usualmente, o tratamento térmico pode diminuir os conteúdos de carotenóides nos alimentos pela sua natureza propensa à degradação ou isomerização, mas ao mesmo tempo pode ser benéfico no rompimento da matriz alimentar, facilitando a liberação e solubilização dos carotenóides, resultando em aumento da sua biodisponibilidade (MAIANI et al., 2009).

As alterações estruturais de carotenóides durante o processamento e/ou armazenamento são atribuídas à isomerização geométrica da molécula ou à oxidação enzimática ou não enzimática. Sendo altamente insaturados, os carotenóides são propensos à isomerização *trans-cis* e oxidação. Estas alterações resultam, comumente, em perda de cor e na redução da atividade provitamina A da batata doce. Chandler e Schwartz (1988) estudaram a isomerização e degradação de *All-trans-β*-caroteno na batata doce em diferentes tratamentos térmicos. Estes autores concluíram que o tratamento térmico induziu a formação de *13-cis-β*-caroteno e a quantidade formada foi relacionada à severidade e duração do tratamento térmico. Reduções nos teores de *All-trans-β*-caroteno de batata doce foram encontrados em estudos de Jaarsveld et al., (2006) e Bengtsson et al., (2008) após processamentos térmicos.

As xantofilas, luteína e zeaxantina (Tabela 6 e 7), identificadas no presente estudo, representaram concentrações menores (0,1 a 0,7%, e 0,1 a 0,5%,

respectivamente) em relação aos carotenóides totais (Tabela 11). Diferenças foram observadas entre os cultivares, com maiores teores destas xantofilas no cultivar CNPH 1194 para as raízes cruas, preparadas no vapor e farinha. Porém, processamentos como o cozido e o assado favoreceram os aumentos nas concentrações de luteína no cultivar CNPH 1007 e de zeaxantina no cultivar CNPH 1202, respectivamente, favorecidas possivelmente pela facilidade na extração como previamente discutido. Efeito semelhante foi observado para o carotenóide luteína em cenoura após o cozimento (MIGLIO et al., 2008).

Tabela 6 – Teores de luteína ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,4 \pm 0,0^{\text{ay}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$
CNPH 1194	$0,4 \pm 0,1^{\text{az}}$	$0,4 \pm 0,1^{\text{az}}$	$0,3 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$1,1 \pm 0,0^{\text{ay}}$	$0,3 \pm 0,0^{\text{az}}$
CNPH 1202	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,6 \pm 0,1^{\text{ay}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$
CNPH 1205	$0,1 \pm 0,0^{\text{byz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{by}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{byz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$

¹Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Discrepâncias sobre a presença de xantofilas em batata doce são freqüentemente encontradas na literatura. Kidmose et al. (2006) determinaram teores de luteína de $50 \mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de base fresca em raízes de batata doce, porém em uma avaliação de frutas e vegetais realizada na Inglaterra, presença de luteína não foi relatada em raízes originárias dos Estados Unidos (BURNS; FRASER; BRAMLEY, 2003). Ben-Amotz e Fishler (1998), encontraram ambas, luteína e zeaxantina, em raízes de batata doce, em concentrações de $0,2 \mu\text{g}\cdot \text{g}^{-1}$ de base seca para ambos carotenóides. As xantofilas são consideradas como “carotenóides cloroplastos”, portanto, sua presença em raízes e tuberosas é mínima (GROSS, 1991). Luteína foi determinada em folhas de batata doce em concentrações de até $7,5 \text{mg}\cdot 100 \text{g}^{-1}$ de base fresca (HUE, BOYCE, SOMASUNDRAM, 2011). Esta xantofila contribui com uma quantidade representativa dos carotenóides no aparato fotossintético das plantas,

representando até 40% dos carotenóides totais em folhas (DALL'OSTO et al., 2006). A luteína é uma importante fonte nutricional no âmbito do grupo de carotenóides estando somente disponível através da ingestão dietética em humanos.

Tabela 7 – Teores de zeaxantina ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,3 \pm 0,0^{\text{ay}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$
CNPH 1194	$0,2 \pm 0,0^{\text{az}}$	$0,2 \pm 0,1^{\text{bcz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,6 \pm 0,0^{\text{ay}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{az}}$
CNPH 1202	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$	$0,4 \pm 0,0^{\text{ay}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{abz}}$
CNPH 1205	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,2 \pm 0,0^{\text{by}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{cz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$	$0,1 \pm 0,0^{\text{bz}}$

¹Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Algumas evidências sugerem que a luteína e a zeaxantina são associadas com incidência reduzida de degeneração da mácula e cataratas, conforme concluído por estudos epidemiológicos e de intervenção (OBANA et al., 2008; CHIU; TAYLOR, 2007; RICHER et al., 2004; GALE et al., 2003). O mecanismo pelo qual estes carotenóides possuem esta propriedade está relacionado com o aumento da pigmentação macular de tecidos oculares, o que ajuda a filtrar a luz azul prejudicial, evitando os danos de oxidação que eventualmente levam às lesões nos tecidos (ALVES-RODRIGUES; SHAO, 2004; STRINGHAM; HAMMOND, 2005; BERENDSCHOT et al., 2000).

Adicionalmente, luteína e zeaxantina têm sido relacionadas com outras condições de saúde como a redução dos fatores de risco para doenças coronárias do coração e cérebro, atividade anti-proliferativa de células cancerígenas e melhoramento da saúde da pele, embora as pesquisas nessas áreas sejam limitadas (SUN; YAO, 2007; ALVES-RODRIGUES; SHAO, 2004; JOHNSON, 2000).

As derivações estruturais nas formas 5,6 epóxi e *cis* da molécula de β -caroteno representaram os outros principais carotenóides identificados nos cultivares de batata doce. Com referência ao grupamento epóxi (Tabela 8), diferenças foram observadas entres os cultivares, com maiores teores no cultivar CNPH 1194 em todos os

processamentos exceto no assado, onde este cultivar não deferiu dos cultivares CNPH 1202 e CNPH 1202. Processamentos como o cozido e o vapor favoreceram os aumentos significativos do 5,6 epóxi- β -caroteno em cultivares como CNPH 1007 e CNPH 1194, porém não foram observadas diferenças estatísticas para os outros processamentos em cada cultivar, excetuando os valores encontrados na farinha, ocasionados provavelmente pelas condições próprias do processamento, onde existe maior tempo de exposição ao tratamento térmico e ao ar de circulação que favorecem a degradação e oxidação dos carotenóides.

Tabela 8 – Teores de 5,6 epóxi- β -caroteno ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	$7,0 \pm 0,2^{\text{cy}}$	$8,0 \pm 0,1^{\text{bcx}}$	$7,0 \pm 0,5^{\text{by}}$	$7,6 \pm 0,1^{\text{dxy}}$	$3,8 \pm 0,3^{\text{cz}}$
CNPH 1194	$11,3 \pm 0,2^{\text{ax}}$	$13,1 \pm 0,4^{\text{aw}}$	$9,6 \pm 0,6^{\text{ay}}$	$15,4 \pm 0,2^{\text{av}}$	$6,5 \pm 0,5^{\text{az}}$
CNPH 1202	$8,4 \pm 0,1^{\text{by}}$	$8,6 \pm 0,5^{\text{by}}$	$8,4 \pm 0,5^{\text{aby}}$	$8,9 \pm 0,2^{\text{cy}}$	$5,3 \pm 0,1^{\text{bz}}$
CNPH 1205	$8,9 \pm 0,4^{\text{bxy}}$	$7,8 \pm 0,1^{\text{cy}}$	$8,8 \pm 0,9^{\text{axy}}$	$9,5 \pm 0,3^{\text{bx}}$	$3,8 \pm 0,1^{\text{cz}}$

¹Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-d}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{v-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Estudos prévios identificaram derivados de epóxi de β -caroteno como um dos principais carotenóides em batata doce (ALMEIDA-MURADIAN; PENTEADO, 1988; K'OSAMBO et al., 1998). A ocorrência deste grupamento é associada à degradação oxidativa do β -caroteno em produtos, mas também pode formar-se durante o período das análises (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997). Sobre um mecanismo de isomerização, os *trans*-carotenóides são convertidos a *cis*-carotenóides os quais são mais rapidamente oxidados a epóxi carotenóides, apocarotenóides e hidroxicarotenóides (UKOM; OJIMELUKWE; ALAMU, 2011). Os epóxidos de tipo 5,6- correspondem a configurações químicas de carotenóides distribuídas amplamente na natureza e em alguns alimentos constituem os maiores carotenóides (BARUA; OLSON, 2001). Manga e outros tipos de vegetais possuem acumulações importantes de 5,6-epóxi- β -caroteno, que são absorvidos pelo organismo humano e convertido a 5,6 epoxiretinil palmitato no sangue.

Este fato tem estimulado o interesse no seu metabolismo e atividade biológica. Duitsman et al. (1999) avaliaram a atividade de 5,6-epóxi- β -caroteno em células leucêmicas do tipo NB4, encontrando alta atividade de diferenciação celular em NB4 quando comparado com o β -caroteno.

Embora os tratamentos térmicos favoreçam a isomerização dos carotenóides das formas *trans* a *cis*, um aumento significativo dos carotenóides *cis* somente foi observado no cultivar CNPH 1194 após processamentos de assado para 13-*cis*- β -caroteno (Tabela 9) e de vapor para 9-*cis*- β -caroteno (Tabela 10). As quantidades de 13-*cis*- β -caroteno e 9-*cis*- β -caroteno encontradas nas amostras processadas variaram entre 2,7 e 11,1 e entre 1,2 e 7,4 mg.100g⁻¹ de base seca respectivamente, correspondentes a 4,2-7,2% e 1,9-4,8% do total de carotenóides (Tabela 11). A presença tanto dos grupamentos *cis* e epóxi nas amostras cruas pode ser explicado pelo período de armazenamento das raízes até o início das análises experimentais. Kidmose et al., (2006) relataram aumentos nos conteúdos de *cis*-isômeros após 3 min de fritura de batata doce quando comparada com 1 min. Além de 13-*cis* e 9-*cis*, estes autores detectaram isômeros de tipo 15-*cis*- β -caroteno.

Tabela 9 – Teores de 13-*cis*- β -caroteno (mg.100g⁻¹ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	9,3 ± 0,2 ^{aw}	4,3 ± 0,1 ^{dy}	6,9 ± 0,2 ^{cx}	7,1 ± 0,4 ^{cx}	3,2 ± 0,2 ^{cz}
CNPH 1194	9,6 ± 0,4 ^{ay}	8,6 ± 0,5 ^{ay}	11,1 ± 0,9 ^{ax}	8,5 ± 0,2 ^{ay}	4,7 ± 0,1 ^{az}
CNPH 1202	8,8 ± 0,5 ^{ax}	7,4 ± 0,5 ^{by}	4,3 ± 0,4 ^{dz}	7,9 ± 0,2 ^{bxy}	3,6 ± 0,2 ^{bz}
CNPH 1205	9,4 ± 0,4 ^{ax}	5,6 ± 0,1 ^{cy}	9,2 ± 0,9 ^{bx}	8,3 ± 0,1 ^{abx}	2,7 ± 0,0 ^{dz}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-d}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Os isômeros *cis* do β -caroteno possuem baixa atividade provitamina A quando comparado com a configuração *trans*, porém, pesquisas contínuas sob as configurações *cis* atribuem importante papel quimiopreventivo (NAGAO; OLSON, 1994), atuando como inibidores da proliferação celular e mutagenicidade (FONSECA et al.,

2005; BEN-AMOTZ; FISHLER, 1998; SULTANA et al., 2004). Contudo, ainda existem algumas controvérsias sob seu papel quimiopreventivo (PAPADIMITRAKOPOULOU et al., 2009).

O tratamento térmico nesta pesquisa não favoreceu a isomerização do β -caroteno e o conseqüente aumento nos teores de 13 e 9-*cis* nos cultivares. Uma avaliação determinou que o tratamento térmico de carotenóides na presença de oxigênio resulta na formação de compostos voláteis e não voláteis (BOON et al., 2010; BONNIE; CHOO, 1999). Uma seqüência de degradação do β -caroteno foi proposta baseado nos produtos encontrados durante o aquecimento do β -caroteno a 97°C por até três horas na presença de ar, conforme determinado por métodos de cromatografia gasosa acoplado a um sistema de espectrofotometria de massa e de absorção. Os resultados sugeriram que o β -caroteno reage com o oxigênio para formar 5,6-epóxi- β -caroteno que pode se converter a mutacromo, 5,6,5',6'-diepóxi- β -caroteno ou luteocromo. O luteocromo pode ser convertido a aurocromo, que pode ser clivado para formar dihidroactinidiolide. Por sua vez, o 2,5,6-epóxi- β -caroteno pode se descompor na forma 5,6-epóxi- β -ionona e ser convertido para β -ionona, 2-hidroxi-2,6,6-trimetilciclohexanona, 2,6,6-trimetilciclohexanona e 2-hidroxi-2,6,6-trimetilciclohexanona-1-carboxaldeído. Este último composto pode formar β -ciclocitral entanto 2-hidroxi-2,6,6-trimetilciclohexanona pode formar 2,6,6-trimetil-2-ciclohexano-1-uno (KANASAWUD; CROUZET, 1990).

Tabela 10 – Teores de 9-*cis*- β -caroteno (mg.100g⁻¹ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	4,9 ± 0,1 ^{dw}	3,9 ± 0,0 ^{cy}	4,7 ± 0,0 ^{bcx}	5,2 ± 0,1 ^{dw}	1,5 ± 0,2 ^{bcz}
CNPH 1194	5,8 ± 0,1 ^{by}	6,0 ± 0,7 ^{ay}	5,5 ± 0,4 ^{aby}	7,4 ± 0,1 ^{ax}	2,1 ± 0,1 ^{az}
CNPH 1202	5,5 ± 0,1 ^{cx}	5,8 ± 0,6 ^{abx}	3,8 ± 0,3 ^{cy}	5,5 ± 0,1 ^{cx}	1,9 ± 0,1 ^{abz}
CNPH 1205	6,1 ± 0,1 ^{ax}	4,8 ± 0,0 ^{bcy}	6,1 ± 0,6 ^{ax}	6,4 ± 0,1 ^{bx}	1,2 ± 0,0 ^{cz}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-d}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

O aquecimento do β -caroteno puro a 180°C por duas horas resultou na formação de uma série de isômeros *cis*, assim como produtos da oxidação. O nível de circulação de ar nas amostras aumentou a degradação de β -caroteno devido à maior interação entre β -caroteno e oxigênio. Os compostos resultantes encontrados neste estudo levaram aos pesquisadores a concluir que as ligações duplas do β -caroteno podem ser susceptíveis à oxidação, e as quebras destas ligações provavelmente aconteçam a partir do final da molécula e prosseguirem em direção ao centro da molécula (MARTY; BERSET, 1990). Um estudo com β -caroteno, conduzido a 60°C com oxigênio resultou em uma mistura complexa de produtos, incluindo, mas não limitado a epóxidos e *cis*. Os pesquisadores deste estudo concluíram que nestas condições de oxidação, várias espécies radicais são formadas, as quais podem sofrer reações de propagação com carotenóides adicionais (HANDELMAN et al., 1991).

Na Tabela 11 estão expressos os teores dos carotenóides totais dos cultivares de batata doce cruas e processadas. Observa-se comportamento semelhante dos efeitos dos processamentos para o *All-trans*- β -caroteno (Tabela 6), estando associado à predominância deste carotenóide em batata doce, representando de 76,2 a 87,9% do total de carotenóides.

Tabela 11 – Teores de carotenóides totais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	100,4 ± 5,0 ^{cx}	86,0 ± 4,8 ^{by}	83,4 ± 1,9 ^{cy}	89,6 ± 1,7 ^{cy}	54,1 ± 3,6 ^{cz}
CNPH 1194	155,9 ± 2,3 ^{ay}	161,6 ± 6,3 ^{ay}	153,8 ± 9,7 ^{ay}	163,9 ± 2,1 ^{ay}	93,5 ± 6,2 ^{az}
CNPH 1202	107,6 ± 1,1 ^{cw}	92,8 ± 1,9 ^{bxy}	84,0 ± 6,4 ^{cy}	99,7 ± 1,5 ^{cwx}	70,3 ± 2,4 ^{bz}
CNPH 1205	126,6 ± 8,2 ^{bx}	95,5 ± 4,7 ^{by}	118,7 ± 10,0 ^{bx}	127,4 ± 9,5 ^{bx}	64,1 ± 3,7 ^{bcz}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

A retenção dos carotenóides variou entre 46 e 105% entre os processamentos e cultivares (Figura 8). O processamento mais favorável foi o vapor em cultivares como CNPH 1007, CNPH 1194 e CNPH 1205, considerando as mudanças no peso e a

concentração de carotenóides segundo Murphy; Criner e Gray (1975). A produção de farinha resultou em perda substancial dos carotenóides em todos os cultivares. Os valores de retenção superiores a 100% como observado nos cultivares CNPH 1194 e CNPH 1205, após processamentos de cozido e vapor, podem estar associados a uma maior extração química dos carotenóides, devido a mudanças na estrutura da parede celular durante o tratamento térmico. A estabilidade dos carotenóides e conseqüentemente da porcentagem de retenção aparentam serem fatores dependentes do cultivar segundo os resultados observados na Figura 8.

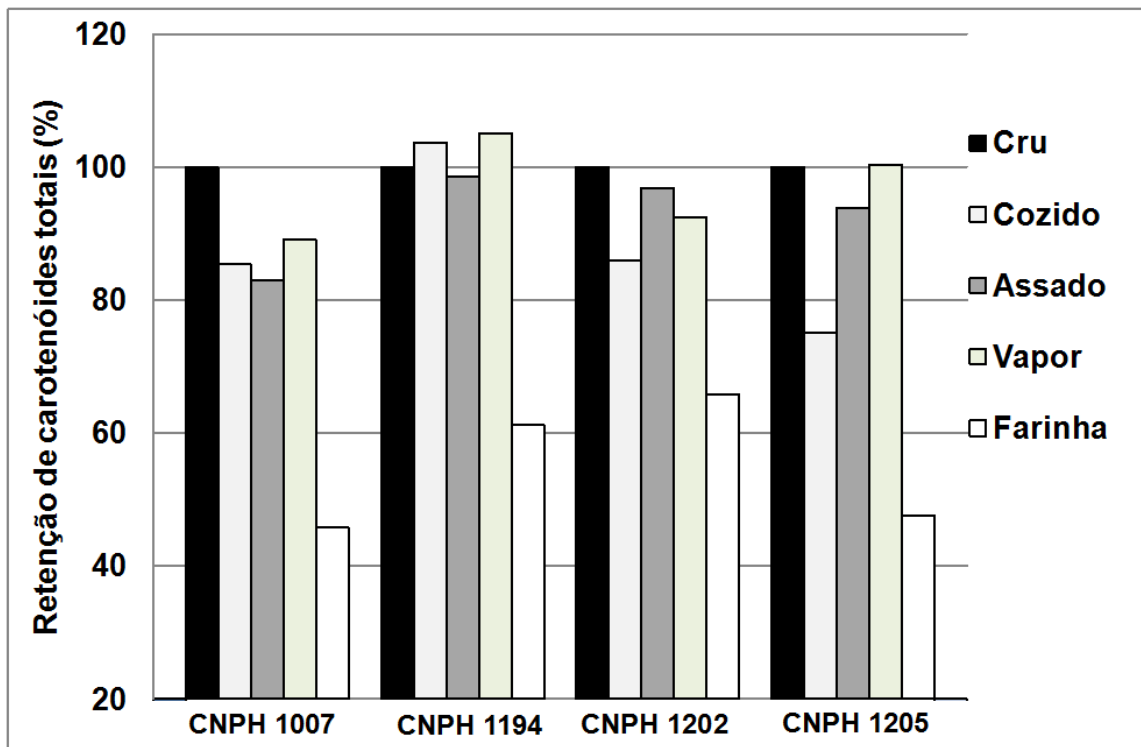


Figura 8 – Retenção de carotenóides totais em cultivares de batata doce após processamentos comuns domésticos e industrial

2.3.5 Valores estimados de atividade de vitamina A dos cultivares de batata doce submetidos a processamentos comuns domésticos

Na Tabela 12 estão expressos os teores dos principais carotenóides dos quatro cultivares de batata doce crus e processados em base fresca e a atividade estimada de vitamina A. A forma como a batata doce é processada e consumida pela população

influencia diretamente nas concentrações dos carotenóides e sua atividade provitamínica. Desta forma a estimativa do valor de atividade de vitamina A foi limitada aos processamentos comuns domésticos onde se obteve produto pronto para consumo. A farinha obtida do processamento industrial de batata doce é considerada um ingrediente funcional de alto valor nutricional e alguns estudos têm relatado seu uso na preparação principalmente de produtos de padaria e outros (SINGH; RIAR; SAXENA, 2008; TRUONG; AVULA, 2010). Resultados previamente relatados demonstram as altas concentrações de carotenóides em farinha de batata doce, apesar das perdas substanciais após processamento.

A atividade de vitamina A foi calculada assumindo o fator de bioconversão de batata doce proposto por Haskell et al. (2004). Esta informação corresponde a um fator de equivalência de 13 μg de *All-trans*- β -caroteno:1 μg de retinol. No referente às configurações estruturais identificadas de β -caroteno, o fator de equivalência foi estimado como 53, 38 e 21% da bioatividade provitamina A do *All-trans*- β -caroteno, para 13-*cis*- β -caroteno, 9-*cis*- β -caroteno e 5,6 epóxi- β -caroteno respectivamente (BAUERNFEIND, 1972).

A atividade estimada de vitamina A variou entre 1.364,6 e 3.239,1 de equivalentes de retinol por 100 g de base fresca de batata doce processada. Nos cultivares, o processamento de assado favoreceu maior atividade de vitamina A, exceto no cultivar CNPH 1202, quando comparado com os outros processamentos. De acordo com os resultados, a atividade estimada de vitamina A decresce geralmente no seguinte ordem: cru, assado, vapor e cozido.

As concentrações substanciais de β -caroteno presentes nos cultivares de batata doce avaliados nessa pesquisa indicam que seu consumo regular provavelmente contribua para a melhora do estado de vitamina A em populações (LOW et al., 2007; JAARVELD et al., 2005; HASKELL et al., 2004). Um cultivar de batata doce originário da África do Sul apresentou entre 1.170 e 1.620 equivalentes de retinol por 100 g após processamento de cozido, e isto foi estimado por prover entre 25 a 35% da dose diária recomendada para crianças em idade pré-escolar (SASSON, 2005).

Tabela 12 – Atividade estimada de vitamina A de raízes processadas de batata doce baseada nos conteúdos de carotenóides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ base fresca)¹

Cultivar	All- <i>trans</i> - β -caroteno	13- <i>cis</i> - β -caroteno	9- <i>cis</i> - β -caroteno	5,6 epóxi- β -caroteno	Atividade estimada de vitamina A (ER.100g ⁻¹ base fresca) ²
CNPH 1007					
Crua	228,9 \pm 13,3	26,8 \pm 0,6	14,3 \pm 0,2	20,2 \pm 0,6	1944,1
Cozida	177,0 \pm 11,7	11,2 \pm 0,3	10,1 \pm 0,1	20,7 \pm 0,4	1469,8
Assada	191,4 \pm 4,8	20,4 \pm 0,5	13,9 \pm 0,1	20,8 \pm 1,4	1630,1
Vapor	185,9 \pm 3,3	19,0 \pm 0,9	13,9 \pm 0,2	20,4 \pm 0,4	1581,2
CNPH 1194					
Crua	377,9 \pm 6,5	28,1 \pm 1,2	17,0 \pm 0,2	33,3 \pm 0,6	3125,1
Cozida	327,6 \pm 12,3	21,0 \pm 1,1	14,8 \pm 1,7	32,3 \pm 0,9	2701,2
Assada	390,3 \pm 24,3	34,2 \pm 2,8	16,9 \pm 1,3	29,6 \pm 1,8	3239,1
Vapor	363,4 \pm 5,3	23,5 \pm 0,5	20,5 \pm 0,3	42,8 \pm 0,5	3020,3
CNPH 1202					
Crua	223,4 \pm 4,3	23,3 \pm 1,4	14,5 \pm 0,2	22,1 \pm 0,3	1891,7
Cozida	175,9 \pm 6,7	18,4 \pm 1,2	14,5 \pm 1,5	21,5 \pm 1,2	1505,2
Assada	181,0 \pm 14,1	11,7 \pm 1,0	10,3 \pm 0,9	22,7 \pm 1,2	1506,9
Vapor	193,5 \pm 4,5	19,7 \pm 0,5	13,9 \pm 0,1	22,3 \pm 0,4	1645,1
CNPH 1205					
Crua	238,9 \pm 18,1	22,0 \pm 0,8	14,2 \pm 0,2	20,8 \pm 1,0	2002,0
Cozida	163,7 \pm 9,4	11,9 \pm 0,3	10,3 \pm 0,0	16,6 \pm 0,2	1364,6
Assada	228,7 \pm 18,5	22,2 \pm 2,2	14,7 \pm 1,5	21,2 \pm 2,2	1927,2
Vapor	222,5 \pm 19,5	17,9 \pm 0,1	13,8 \pm 0,2	20,6 \pm 0,7	1857,6

¹ Cada valor corresponde à média \pm DP de três extrações feitas de quatro raízes frescas cruas e processadas para cada cultivar

² 13 μg All-*trans*- β -caroteno:1 μg equivalentes de retinol (ER) (HASKELL et al., 2004) e para os outros carotenóides provitamina A a atividade foi estimada em 53, 38 e 21% do All-*trans*- β -caroteno para 13-*cis*, 9-*cis* e 5,6 epóxi- β -caroteno, respectivamente (BAUERNFEIND, 1972)

2.3.6 Análises de compostos fenólicos totais em raízes cruas e processadas de batata doce

Na Tabela 13 estão expressos os teores em base seca dos compostos fenólicos totais nos quatro cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos.

Tabela 13 – Teores de compostos fenólicos totais (mg.g^{-1} base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	$1,75 \pm 0,00^{\text{ax}}$	$2,05 \pm 0,07^{\text{ax}}$	$1,70 \pm 0,17^{\text{axy}}$	$1,33 \pm 0,14^{\text{abyz}}$	$1,17 \pm 0,20^{\text{bz}}$
CNPH 1194	$1,43 \pm 0,07^{\text{by}}$	$1,33 \pm 0,10^{\text{by}}$	$1,38 \pm 0,10^{\text{aby}}$	$1,12 \pm 0,02^{\text{bcz}}$	$1,00 \pm 0,03^{\text{bz}}$
CNPH 1202	$1,30 \pm 0,01^{\text{by}}$	$1,33 \pm 0,06^{\text{by}}$	$1,07 \pm 0,19^{\text{byz}}$	$1,05 \pm 0,08^{\text{cz}}$	$0,96 \pm 0,17^{\text{bz}}$
CNPH 1205	$1,93 \pm 0,15^{\text{ax}}$	$1,88 \pm 0,02^{\text{axy}}$	$1,66 \pm 0,10^{\text{ayz}}$	$1,56 \pm 0,06^{\text{az}}$	$1,56 \pm 0,11^{\text{az}}$

¹Cada valor corresponde à média \pm DP de três repetições feitas de quatro raízes liofilizadas e moídas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

As diferenças nos teores de compostos fenólicos totais foram significantes ($P < 0,05$) entre os cultivares crus e processados. Os cultivares CNPH 1007 e CNPH 1205 apresentaram os maiores teores nas formas cruas e processadas, com diferenças significativas nas raízes cruas e cozidas quando comparados com os outros cultivares. Assim como em carotenóides, a produção de farinha favoreceu diminuição significativa dos compostos fenólicos totais. Este efeito também foi observado no processamento a vapor para estes compostos.

Aumento, não significativo, nos conteúdos de fenólicos foi observado no cozido dos cultivares CNPH 1007 e CNPH 1202 com referência aos materiais crus. Este efeito pode ser atribuível à liberação de compostos fenólicos ligados a outros componentes da matriz alimentar, bem como a inativação da enzima polifenoloxidase favorecida pelo tratamento térmico. Os ácidos fenólicos podem ser degradados pela polifenoloxidase durante o corte e homogeneizado dos tecidos da amostra de batata doce crua (TRUONG et al., 2007). Adicionalmente, a isomerização de compostos fenólicos pelo

tratamento térmico pode aumentar sua estabilidade (INAMI et al., 1996). Desta forma, aumentos nos compostos fenólicos após tratamentos térmicos foram observados em casca de frutas cítricas (JEONG et al., 2004) e em córtex de raízes de batata doce (PADDA; PICHA, 2008a).

As diferenças entre os cultivares podem estar associadas aos fatores genéticos que desempenham papel importante na formação de metabólitos secundários, incluindo ácidos fenólicos. A constituição genética de genótipos diferentes leva a diferentes níveis de expressão fenólica. Embora os cultivares avaliados no presente estudo sejam originários do mesmo local de produção, fatores ambientais também influenciam na biossíntese de compostos bioativos como o estresse abiótico suscetível nos cultivares, nutrientes, abastecimento de água e outras condições de crescimento (REYES, CISNEROS-ZEVALLOS, 2003; WU et al., 2004).

Entre os processamentos, o cozido e o assado favoreceram as melhores retenções de compostos fenólicos nos cultivares, os quais não apresentaram diferenças significativas em comparação com o material cru, excetuando raízes assadas do cultivar CNPH 1205. A tendência da diminuição, significativa ou não, dos fenólicos totais está associada à natureza e as propriedades termolábeis destes compostos. Em batata doce, o ácido clorogênico foi o principal composto fenólico detectado em genótipos de diferentes cores de polpa (PADDA; PICHA, 2008b). Este fenólico teve redução substancial após processamentos térmicos de cenoura onde, do mesmo modo, foi detectada a predominância do ácido clorogênico (MIGLIO et al., 2008).

Os ácidos fenólicos estão presentes nos vacúolos e apoplastos da estrutura celular dos tecidos vegetais (KALT, 2005) e o processamento térmico de vegetais incide no amolecimento e quebra dos componentes celulares com a conseqüente liberação destas moléculas, facilitando a hidrólise do ácido clorogênico (MIGLIO et al., 2008).

Tem sido sugerido que o processamento pode promover a oxidação de compostos fenólicos (NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999). Desta forma, sua diminuição também pode estar associada à ligação covalente entre fenólicos oxidados e proteínas ou aminoácidos, bem como à polimerização destes (FRIEDMAN et al., 1996).

2.3.7 Análises da atividade antioxidante em raízes cruas e processadas de batata doce

Assim como nos compostos bioativos de batata doce, a atividade antioxidante determinada pelo ensaio da atividade sequestrante do radical DPPH, mostrou tendência decrescente nos diferentes processamentos para todos os cultivares (Tabela 14). As raízes do cultivar CNPH 1202 apresentaram a maior atividade antioxidante para este ensaio como matéria prima seguido pelo cultivar CNPH 1007. Após processamentos comuns houve perdas significantes da atividade com concentrações equivalentes Trolox iguais estatisticamente dos cultivares CNPH 1194 e CNPH 1007 no cozido, assado e vapor. Como nas análises prévias, a farinha se caracterizou por perda substancial da atividade antioxidante em todos os cultivares.

Tabela 14 – Atividade sequestrante do radical DPPH (mM Trolox.100g⁻¹ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	17,7 ± 0,6 ^{bw}	13,6 ± 1,0 ^{ax}	12,0 ± 0,4 ^{abxy}	10,9 ± 0,7 ^{aby}	2,5 ± 1,1 ^{bz}
CNPH 1194	14,3 ± 0,4 ^{cy}	14,1 ± 1,1 ^{ay}	11,2 ± 0,5 ^{abyz}	12,9 ± 1,6 ^{ay}	7,6 ± 2,3 ^{az}
CNPH 1202	20,0 ± 1,1 ^{ax}	13,5 ± 0,5 ^{ay}	13,0 ± 1,4 ^{ay}	14,1 ± 0,4 ^{ay}	5,6 ± 0,8 ^{abz}
CNPH 1205	13,3 ± 0,5 ^{cy}	10,5 ± 1,4 ^{byz}	10,1 ± 1,0 ^{byz}	7,8 ± 2,0 ^{bz}	7,1 ± 1,1 ^{az}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três repetições feitas de quatro raízes liofilizadas e moídas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

Na Tabela 15 estão expressos os valores da atividade sequestrante do radical ABTS. As raízes dos cultivares CNPH 1205 e CNPH 1202 apresentaram as maiores atividades antioxidantes neste ensaio. Igualmente, os resultados indicam que os tratamentos térmicos induzidos favoreceram a diminuição na atividade antioxidante dos compostos bioativos. As Figuras 9 e 10 ilustram o comportamento da atividade antioxidante pelas duas metodologias com base nos dados das Tabelas 15 e 16 para fins comparativos. Na metodologia de ABTS, a farinha produzida do cultivar CNPH 1205

não mostrou diminuição significativa quando comparado com os outros tratamentos térmicos.

Tabela 15 – Atividade sequestrante do radical ABTS (M Trolox.100g⁻¹ base seca) em raízes de cultivares de batata doce cruas e submetidas a diferentes processamentos¹

Cultivar	Cru	Cozido	Assado	Vapor	Farinha
CNPH 1007	38,2 ± 0,7 ^{abx}	36,6 ± 2,2 ^{abxy}	30,3 ± 1,7 ^{abyz}	29,4 ± 2,0 ^{abyz}	23,6 ± 5,1 ^{bz}
CNPH 1194	36,8 ± 3,8 ^{bx}	32,2 ± 2,2 ^{bxy}	25,2 ± 5,1 ^{bcyz}	24,2 ± 1,5 ^{bcyz}	21,5 ± 1,3 ^{bz}
CNPH 1202	43,4 ± 2,8 ^{abw}	35,8 ± 3,8 ^{abx}	20,4 ± 2,4 ^{cy}	21,1 ± 0,7 ^{cy}	13,0 ± 0,1 ^{cz}
CNPH 1205	45,3 ± 3,0 ^{ay}	39,8 ± 2,1 ^{ayz}	34,7 ± 3,1 ^{az}	32,4 ± 4,3 ^{az}	34,7 ± 2,9 ^{az}

¹Cada valor corresponde à média ± DP de três repetições feitas de quatro raízes liofilizadas e moídas cruas e processadas para cada cultivar

(^{a-c}) Valores na coluna seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

(^{w-z}) Valores na linha seguida com diferentes letras são diferentes significativamente ao nível 5%

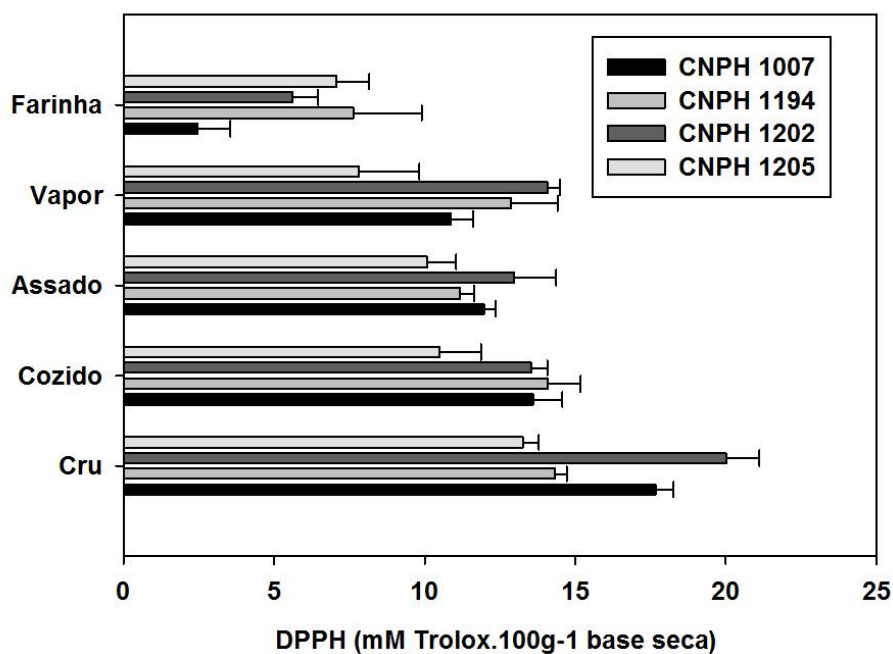


Figura 9 – Atividade antioxidante DPPH dos cultivares de batata doce crus e após processamentos térmicos

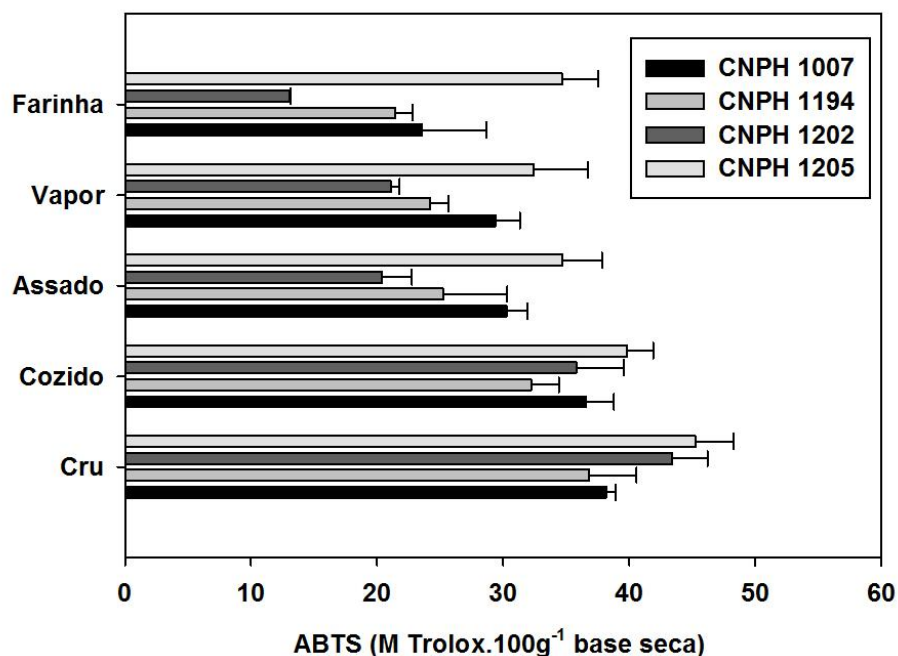


Figura 10 – Atividade antioxidante ABTS dos cultivares de batata doce crus e após processamentos térmicos

A presença dos compostos bioativos avaliados nesta pesquisa pode ter contribuído à atividade antioxidante resultante. Essa bioatividade pode estar associada com as estruturas de duplas ligações dos carotenóides identificados no presente estudo que possuem a propriedade de seqüestrar o radical livre. Carotenóides, como luteína, zeaxantina, *All-trans*- β -caroteno e seus derivados estruturais possuem nove ou até mais duplas ligações, sugerindo melhores propriedades antioxidantes quando comparados com outros compostos. Dessa forma, tem-se atribuído aos carotenóides as propriedades de reduzir o risco de diferentes tipos de cânceres, doenças cardiovasculares, ou problemas degenerativos da visão (VOGT et al., 2002; GIOVANNUCCI, 1999; LEE et al., 2009; LARSSON et al., 2010; FARWELL et al., 2008; DELCOURT et al., 2006).

Alguns estudos relatam que os carotenóides contribuem à atividade antioxidante de alimentos (DEWANTO et al., 2002; GLISZCZYŃSKA-ŚWIGŁO et al., 2006; GRASSMANN; SCHNITZLER; HABEGGER, 2007; SÁNCHEZ-MORENO et al., 2003; ZANFINI et al., 2010), porém, controvérsias são freqüentemente atribuídas a pesquisas que não definem correlações entre estas variáveis (CHOI; JEONG; LEE, 2007; LAVELLI et al., 2009)

Da mesma forma, a presença de ácidos fenólicos na batata doce pode ter contribuído na atividade antioxidante dos cultivares, como previamente avaliado por um estudo com este alimento (PADDA; PICHA, 2008a). Estudos provêm evidências que sugerem que os compostos fenólicos de folhas e raízes de batata doce podem ajudar a diminuir a incidência de doenças crônicas (RABAH et al., 2004; NAGAI et al., 2011). Os resultados do presente estudo indicam que o desenvolvimento dos cultivares de batata doce biofortificados, além da estratégia enfocada no papel como aliado na solução de problemas de DVA, podem atuar como potenciais fontes de antioxidantes conferindo benefícios adicionais à saúde dos consumidores prevenindo ou reduzindo o risco de doenças crônicas.

Dos resultados expressos observam-se diferenças entre cultivares e processamentos para a atividade sequestrante dos radicais DPPH e ABTS. Nicoli, Anese e Parpinel (1999) relataram em um estudo de revisão que o aumento ou diminuição das propriedades antioxidantes de alimentos contendo compostos fenólicos são conseqüências das próprias reações de oxidação, sejam de tipos enzimáticos ou químicos, podendo variar amplamente dependendo do tempo e da forma consumida. Sobre a base destas considerações, a falta de uma clara evidência científica para o papel dos fenólicos como compostos saudáveis pode ser parcialmente atribuído à flutuação de suas propriedades antioxidantes.

Nas raízes cruas do cultivar CNPH 1202, foi observada uma das maiores atividades antioxidantes entre os cultivares para ambas as metodologias. Embora este cultivar não tenha apresentado os maiores resultados para os compostos bioativos avaliados nesta pesquisa, este efeito pode ser atribuído a outros compostos com propriedades antioxidantes não objeto deste estudo e que foram identificados em batata doce. Um estudo realizado no Taiwan demonstrou que proteínas de armazenamento em cultivares de batata doce apresentam atividade antioxidante *in vitro*. Estas proteínas, conhecidas como inibidores de tripsina, presentes principalmente na forma esporamina em batata doce, representando cerca de 80% da proteína total nas raízes, foram identificadas pelas suas capacidades antioxidantes e potenciais propriedades anticâncer (HOU et al., 2005; CAMBIE, FERGUSON, 2003)..

Por outro lado, saponinas triterpenos foram isoladas, caracterizadas, quantificadas e testadas pelas suas propriedades antioxidantes em batata doce. Neste estudo, os autores concluíram que as saponinas podem contribuir significativamente no papel da batata doce como alimento fonte de antioxidantes, antidiabético e antiviral. Confirmando a hipótese de que os benefícios à saúde de frutas e vegetais são atribuíveis a uma mistura complexa de fitoquímicos (DINI; TENORE; DINI, 2009). A batata doce também foi identificada como alimento rico em ácido ascórbico e tocoferol, reconhecidas moléculas antioxidantes, e minerais como zinco, cobre, manganês e selênio (NIWA, TAJIRI; HIGASHINO, 2011). Cultivares de polpas laranjadas foram caracterizadas por possuírem altas concentrações de ácido ascórbico e proteínas (AINA et al., 2009)

Quando avaliados comparativamente os resultados das metodologias de atividade antioxidante, percebe-se dependência dos cultivares e dos processamentos sobre atividade sequestrante das duas fontes de radicais livres (DPPH⁺ e ABTS⁺), atribuídos possivelmente aos diferentes mecanismos de reações químicas nos ensaios. Desta forma, resultados discrepantes são freqüentemente encontrados na literatura sobre os valores de atividade antioxidante por diferentes metodologias inclusive para o mesmo alimento, dificultando a validação da informação obtida.

2.3.8 Relação entre compostos bioativos e atividade antioxidante de raízes cruas e processadas de batata doce

As correlações entre os teores dos compostos bioativos avaliados e a atividade antioxidante de cada um dos cultivares de batata doce são ilustradas nas Figuras 11 a 14. Exceto para as correlações entre carotenóides totais e atividade antioxidante ABTS no cultivar CNPH 1194, e atividade antioxidante DPPH e ABTS no cultivar CNPH 1205, os compostos bioativos avaliados apresentaram correlações significativas ($P \leq 0,05$ e $0,01$) com as atividades sequestrante de radicais livres. No cultivar CNPH 1007 houve uma forte correlação ($R = 0,9316$) entres os carotenóides e a atividade antioxidante DPPH (Figura 11b).

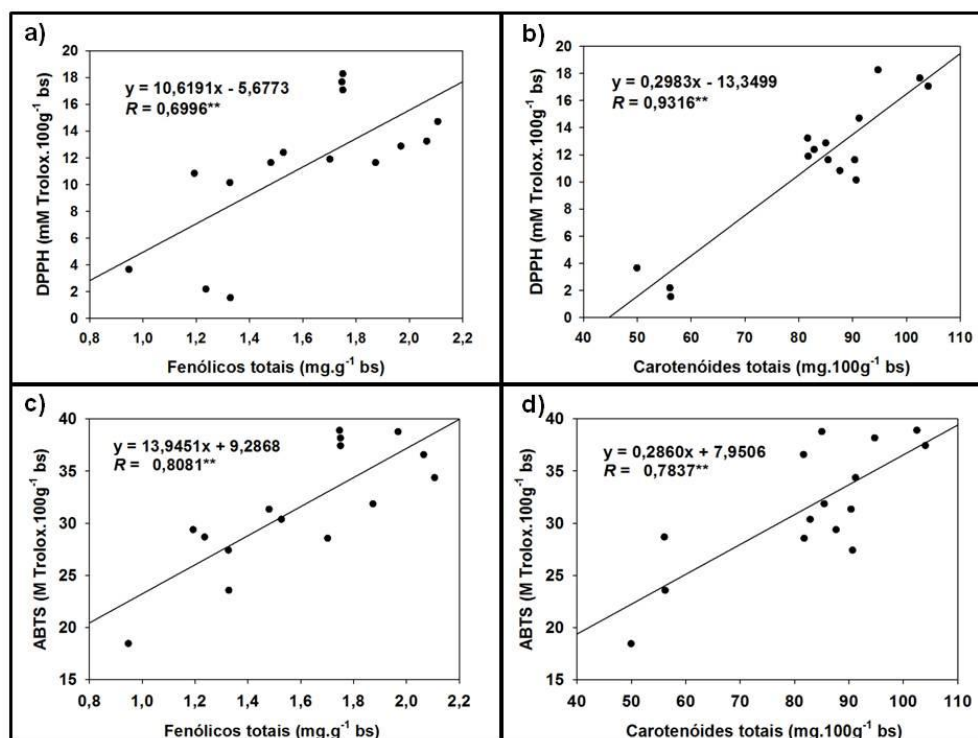


Figura 11 – Correlações entre os teores de compostos fenólicos, carotenóides e a atividade sequestrante dos radicais DPPH e ABTS no cultivar CNPH 1007 nos diferentes tratamentos. Coeficientes de Pearson (R) *, **, significantes ao $P \leq 0,05$ ou $0,01$, respectivamente

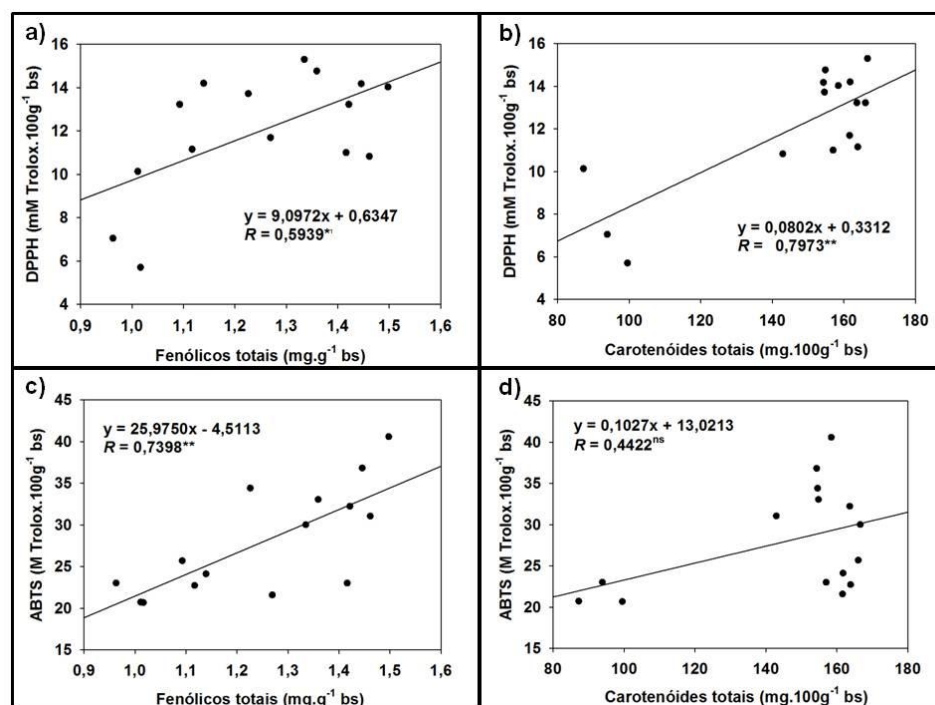


Figura 12 – Correlações entre os teores de compostos fenólicos, carotenóides e a atividade sequestrante dos radicais DPPH e ABTS no cultivar CNPH 1194 nos diferentes tratamentos. Coeficientes de Pearson (R) *, **, significantes ao $P \leq 0,05$ ou $0,01$, respectivamente, ^{ns}, não significante

Dos resultados obtidos, observam-se melhores correlações entre os compostos carotenóides e atividade antioxidante DPPH do que quando se compara com os compostos fenólicos nos cultivares CNPH 1007, CNPH 1194 e CNPH 1202. Efeito contrário foi observado no cultivar CNPH 1205. Por outro lado, quando foram avaliados pelo método ABTS, se observaram melhores correlações entre compostos fenólicos e esta metodologia antioxidante nos cultivares, exceto no cultivar CNPH 1202. Os fortes coeficientes de correlação indicam que a atividade antioxidante de raízes de batata doce biofortificadas aumenta com o aumento nos teores de seus compostos bioativos. Por conseguinte, estes podem ser usados como indicador na avaliação antioxidante de frutas e vegetais, incluindo batata doce.

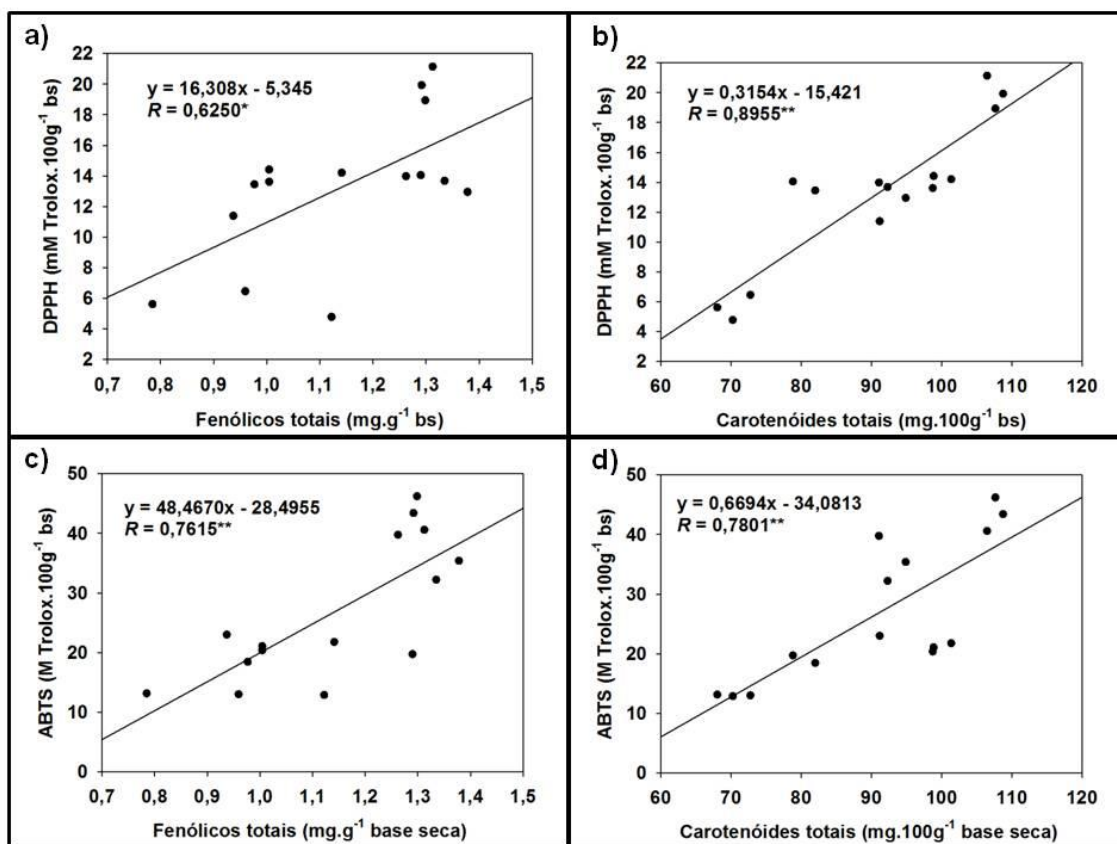


Figura 13 – Correlações entre os teores de compostos fenólicos, carotenóides e a atividade sequestrante dos radicais DPPH e ABTS no cultivar CNPH 1202 nos diferentes tratamentos. Coeficientes de Pearson (R) *, **, significantes ao $P \leq 0,05$ ou $0,01$, respectivamente

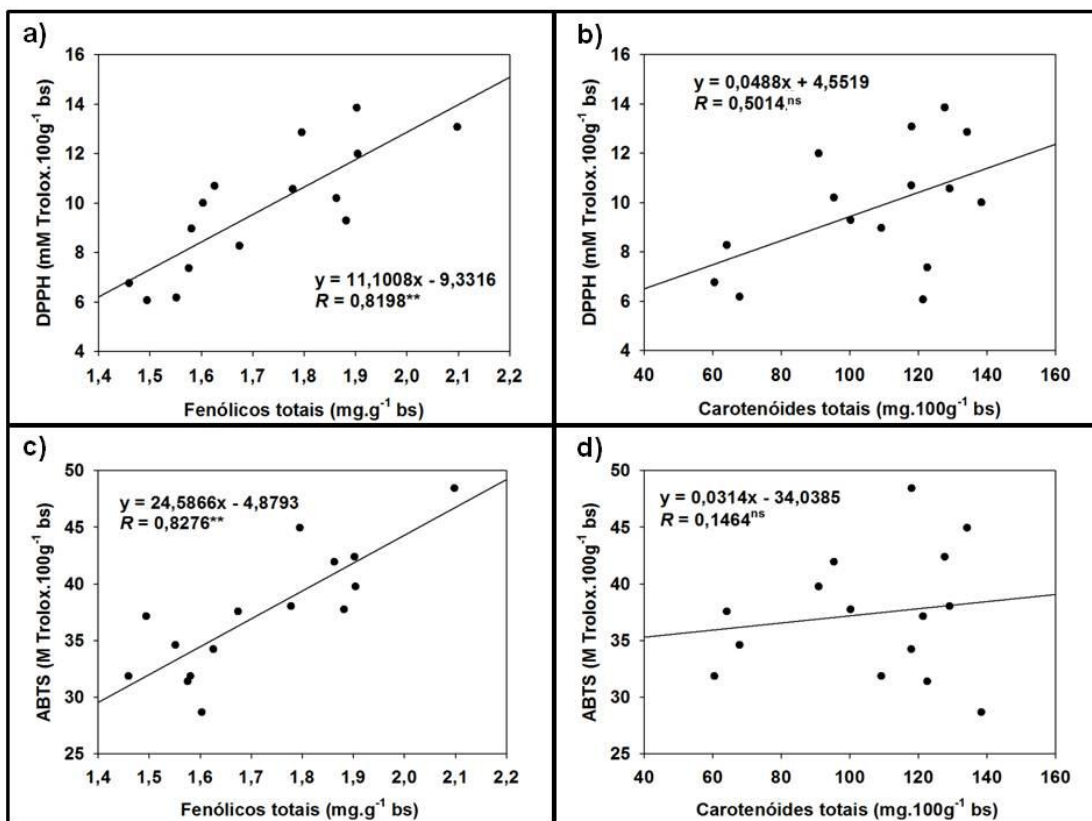


Figura 14 – Correlações entre os teores de compostos fenólicos, carotenóides e a atividade sequestrante dos radicais DPPH e ABTS no cultivar CNPH 1205 nos diferentes tratamentos. Coeficientes de Pearson (R) *, **, significantes ao $P \leq 0,05$ ou $0,01$, respectivamente, ^{ns}, não significante

Como ilustrado na Figura 15, os valores de atividade antioxidante DPPH foram correlacionados significativamente com os valores de atividade antioxidante ABTS ($p \leq 0,01$). Os resultados sugerem que os dois métodos são indicados para previsões da capacidade antioxidante em batata doce. No entanto, segundo Leong e Shui (2002), as correlações das metodologias em batata doce foram relativamente menores que as encontradas para outros alimentos.

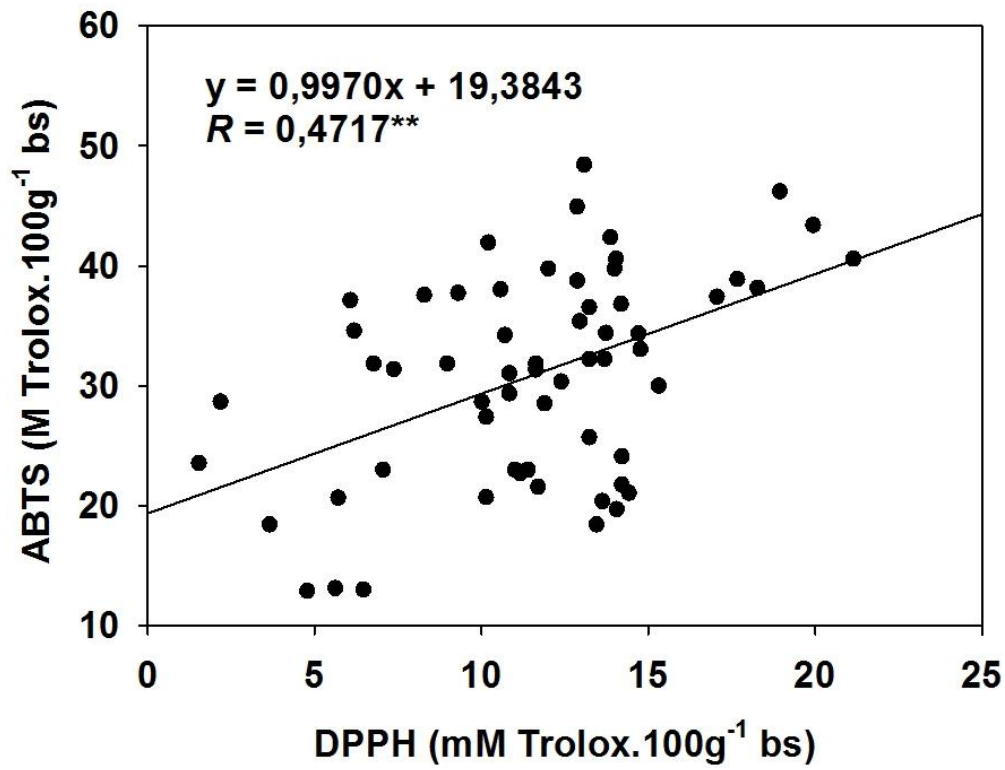


Figura 15 – Correlação as atividades sequestrante dos radicais DPPH e ABTS nos tratamentos (n = 60). Coeficiente de Pearson (R) **, significante ao $P \leq 0,01$

3 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do presente trabalho foram sugeridas as seguintes conclusões:

Cultivares de batata doce biofortificados contêm altas concentrações de carotenóides provitamina A.

Dos carotenóides identificados, predomina o *All-trans-β*-caroteno em consideráveis quantidades.

Há correlação significativa entres valores de cor instrumental e teores de carotenóides.

Tratamentos térmicos afetam as concentrações de carotenóides. Embora a tendência fosse descrente, supostos aumentos não significantes foram identificados.

Farinha de batata doce proporciona a maior redução de carotenóides, compostos fenólicos e atividade antioxidante.

O processamento térmico mais favorável para a retenção dos carotenóides é o vapor.

Estabilidade e conseqüente retenção dos carotenóides são fatores dependentes do cultivar.

Raízes processadas e prontas para consumo apresentam alta atividade estimada de vitamina A.

A atividade estimada de vitamina A decresce comumente na seguinte ordem: cru, assado, vapor e cozido.

Há diferenças significativas nos teores de compostos fenólicos totais entre os cultivares crus e processados.

Entre os processamentos, o cozido e o assado favoreceram as melhores retenções de compostos fenólicos nos cultivares.

A capacidade antioxidante determinada pelos ensaios das atividades sequestrante dos radicais DPPH e ABTS, mostrou uma tendência decrescente nos diferentes processamentos para todos os cultivares.

Futuras pesquisas devem orientar-se a avaliar as diferentes funções biológicas dos compostos bioativos em batata doce, isolada e/ou sinergicamente, assim como o estudo dos mecanismos de ação na comprovação das propriedades funcionais de seus componentes bioativos.

REFERÊNCIAS

- AINA, A.J.; FALADE, K.O.; AKINGBALA, J.O.; TITUS, P. Physicochemical properties of twenty-one Caribbean sweet potato cultivars. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, p. 1696-1704, Sept. 2009.
- ALMEIDA, L.B.; PENTEADO, M.V.C. Carotenoids and pro-vitamin A value of White fleshed Brazilian sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Lam.). **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 1, p. 341-352, Nov. 1988.
- ALMEIDA, L.B.; PENTEADO, M.V.C.; FERREIRA, V.L.P. Relationship between carotenoid content and Hunter color parameters of Brazilian sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.). **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 32, p. 611-619, nov./dic. 1992.
- ALVES-RODRIGUES, A.; SHAO, A. The science behind lutein. **Toxicology Letters**, Amsterdam, v. 150, p. 57-83, Apr. 2004.
- AMENY, M.A.; WILSON, P.W. Relationship between Hunter color values and β -carotene contents in white-fleshed African sweetpotatoes (*Ipomoea batatas* Lam). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 73, p. 301-306, Mar. 1997.
- APOSTOLIDIS, E.; LI, L.; LEE, C.; SEERAM, N.P. *In vitro* evaluation of phenolics-enriched maple syrup extracts for inhibition of carbohydrate hydrolyzing enzymes relevant to type 2 diabetes management. **Journal of Functional Foods**, Amsterdam, v. 3, p. 100-106, Apr. 2011.
- ARIAS, R.; LEE, T.C.; LOGENDRA, L.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L^* ; a^* . b^* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, p. 1697-1702, May 2000.
- ARTS, I.C.W. A review of the epidemiological evidence on tea, flavonoids, and lung cancer. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 138, suppl., p. 1561S-1566S, Aug. 2008.
- BALL, G.F.M. **Vitamins in foods: analysis, bioavailability, and stability**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 785 p.
- BARUA, A.B.; OLSON, J.A. Xanthophyll epoxides, unlike β -carotene monoepoxides, are not detectably absorbed by humans. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, p. 3212-3215, Dec. 2001.

BARUA, A.B.; OLSON, J.A.; FURR, H.C.; van BREEMEN R.B. Vitamin A and Carotenoids. In: De LEENHEER, A.P.; LAMBERT W.E.; Van BOCXLAER, J.F. (Ed.). **Modern chromatographic analysis of vitamins**. New York: Marcel Dekker, 2000. chap. 1, p. 1-74.

BASTIANETTO, S.; QUIRION, R. Phytochemicals and the aging brain. In: MESKIN, M.S.; BIDLACK, W.R.; RANDOLPH, R.E. (Ed.). **Phytochemicals: aging and health**. Boca Raton: CRC Press, 2008. chap. 6, p. 107-117.

BAUERNFEIND, J.C. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 20, p. 456-473, May 1972.

BECHOFF, A.; DUFOUR, D.; DHUIQUE-MAYER, C.; MAROUZÉ, C.; REYNES, M.; WESTBY A. Effect of hot air, solar and sun drying treatments on provitamin A retention in orange-fleshed sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, London, v. 92, p. 164-171, May 2009.

BEN-AMOTZ, A.; FISHER, R. Analysis of carotenoids with emphasis on 9-cis β -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel. **Food Chemistry**, Barking, v. 62, p. 515-520, Aug. 1998.

BENGTSSON, A.; NAMUTEBI, A.; ALMINGER, M.L.; SVANBERG, U. Effects of various traditional processing methods on the all-*trans*- β -carotene content of orange-fleshed sweet potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 21, p. 134-143, Mar. 2008.

BERENDSCHOT, T.T.J.M.; GOLDBOHM, R.A.; KLÖPPING, W.A.A.; van de KRAATS, J.; van NOREL, J.; van NORREN, D. Influence of lutein supplementation on macular pigment, assessed with two objective techniques. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, Philadelphia, v. 41, p. 3322-3326, Oct. 2000.

BETTERIDGE, D.J. What is oxidative stress?. **Metabolism**, Philadelphia, v. 49, suppl. 1, p. 3-8, 2000.

BLOCK, G. Nutrient sources of provitamin A carotenoids in the American diet. **American Journal of Epidemiology**, Baltimore, v. 139, p. 290-293, Feb. 1994.

BONNIE, T.Y.; CHOO, Y. Oxidation and thermal degradation of carotenoids. **Journal of Oil Palm Research**, Kuala Lumpur, v. 2, p. 62-78, Jun. 1999.

BOON, C.S.; MCCLEMENTS, D.J.; WEISS, J. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 50, p. 515-532, Jun. 2010.

BOVELL-BENJAMIN, A.C. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 52, p. 1-59, 2007.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, London, v- 28, p. 25-30, 1995.

BURNS, J.; FRASER, P.D.; BRAMLEY, P.M. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. **Phytochemistry**, Oxford, v. 62, p. 939-947, Mar. 2003.

CAMBIE, R.C.; FERGUSON, L.R. Potential functional foods in the traditional Maori diet. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 523-524, p. 109-117, Feb./Mar. 2003.

CHANDLER, L.A.; SCHWARTZ S.J. Isomerization and losses of *trans*- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 36, p. 129-133, Jan. 1988.

CHIU, C.J.; TAYLOR, A. Nutritional antioxidants and age-related cataract and maculopathy. **Experimental Eye Research**, London, v. 84, p.229-245, Jul. 2007.

CHOI, Y.; JEONG, H.S.; LEE, J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**, Barking, v. 103, p. 130-138, Jan. 2007.

CRAFT, N.E. Chromatographic techniques for carotenoid separation. In: WROLSTAD, R.E; ACREE, T.E.; AN, H.; DECKER, E.A.; PENNER, M.H.; REID, D.S.; SCHWARTZ, S.J.; SHOEMAKER, C.F.; SPORNS, P. (Ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2001. F2.3.1-F2.3.15.

DALL'OSTO, L.; LICO, C.; ALRIC, J.; GIULIANO, G.; HAVAUX, M.; BASSI, R. Lutein is needed for efficient chlorophyll triplet quenching in the major LHCII antenna complex of higher plants and effective photoprotection *in vivo* under strong light. **BMC Plant Biology**, London, v. 6, p. 32-52, Dec. 2006.

DAVIES, B.H. Carotenoids. In: GOODWIN, T.W. (Ed.). **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. London: Academic Press, 1976. chap. 2, p. 38-165.

DELCOURT, C.; CARRIÈRE, I.; DELAGE, M.; BARBERGER-GATEAU, P.; SCHALCH, W.; POLA STUDY GROUP. Plasma lutein and zeaxanthin and other carotenoids as modifiable risk factors for age-related maculopathy and cataract: the POLA study. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, Philadelphia, v. 47, p. 2329-2335, Jun. 2006.

DENISOV, E.T.; AFANAS'EV I.B. **Oxidation and antioxidants in organic chemistry and biology**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 981 p.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 3010-3014, May 2002.

DINI, I.; TENORE, G.C.; DINI, A. Saponins in *Ipomoea batatas* tubers: isolation, characterization, quantification and antioxidant properties. **Food Chemistry**, Barking, v. 113, p. 411-419, Mar. 2009.

DUITSMAN, P.K.; BARUA, A.B.; BECKER, B.; OLSON, J.A. Effects of epoxy-carotenoids, β -carotene, and retinoic acid on the differentiation and viability of the leukemia cell line NB4 in vitro. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, Berne, v. 69, p. 303-308, Sept. 1999.

EITENMILLER, R.R.; LANDEN, W.O. Jr. **Vitamin analysis for the health and food sciences**. Boca Raton: CRC Press, 1999. 518 p.

EMBRAPA. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{•+}. Comunicado Técnico online, 2007. Disponível em: <http://www.cnpq.br/cnpq/cd/jss/acervo/Ct_127.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2011.

EUGSTER, C.H. Chemical derivatization: microscale tests for the presence of common functional groups in carotenoids. In: Britton, G.; Liaaen-Jensen, S.; Pfander, H. (Ed.). **Carotenoids: isolation and analysis**. Basel: Birkhäuser, 1995. v. 1A, p. 71-80.

FAILLA, M.L.; THAKKAR, S.K.; KIM, J.Y. *In vitro* bioaccessibility of β -carotene in orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, p. 10922-10927, Nov. 2009.

FAOstat. Food Agriculture Organization. Statistical database Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

FARWELL, W.R.; GAZIANO, J.M.; NORKUS, E.P.; SESSO, H.D. The relationship between total plasma carotenoids and risk factors for chronic disease among middle-aged and older men. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 100, p. 883-889, Mar. 2008.

FONSECA, E.M.A.V.; CHAGAS, C.E.A.; MAZZANTINI, R.P.; HEIDOR, R.; ONG, T.P.; MORENO, F.S. All-*trans* and 9-*cis* retinoic acids, retinol and β -carotene chemopreventive activities during the initial phases of hepatocarcinogenesis involve distinct actions on glutathione S-transferase positive preneoplastic lesions remodeling and DNA damage. **Carcinogenesis**, London, v. 26, p. 1940-1946, Jun. 2005.

FRIEDMAN, M. Food browning and its prevention: an overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 44, p. 631-653, Mar. 1996.

FUHRMAN, B.; AVIRAM, M. Polyphenols and flavonoids protect LDL against atherogenic modifications. In: CADENAS, E.; PACKER, L. (Ed.). **Handbook of antioxidants**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2002. chap. 16, p. 303-336.

GALE, C.R.; HALL, N.F.; PHILLIPS, D.I.W.; MARTYN, C.N. Lutein and zeaxanthin status and risk of age-related macular degeneration. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, Philadelphia, v. 44, p. 2461-2465, Jun. 2003.

GAN, R.; XU, X.; SONG, F.; KUANG, L.; LI, H. Antioxidant activity and total phenolics content of medicinal plants associated with prevention and treatment of cardiovascular and cerebrovascular diseases. **Journal of Medicinal Plants Research**, Nairobi, v. 2, p. 2438-2444, Nov. 2010.

GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. **Journal of the National Cancer Institute**, Washington, DC., v. 91, p. 317-331, Feb., 1999.

GLISZCZYŃSKA-ŚWIGŁO, A.; CISKA, E.; PAWLAK-LEMAŃSKA, K.; CHMIELEWSKI, J.; BORKOWSKI, T.; TYRAKOWSKA, B. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 23, p. 1088-1098, Nov. 2006.

GRAEBNER, I.T.; SIQUEIRA, E.M.A.; ARRUDA, S.F.; SOUZA E.M.T. de. Carotenoids from native Brazilian dark-green vegetables are bioavailable: a study in rats. **Nutrition Research**, New York, v. 24, p. 671-679, Aug. 2004.

GRASSMANN, J.; SCHNITZLER, W.H.; HABEGGER, R. Evaluation of different coloured carrot cultivars on antioxidant capacity based on their carotenoid and phenolic contents. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Basingstoke, v. 58, p. 603-611, Dec. 2007.

GROSS, J. **Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 351 p.

HANDELMAN, G.J.; van KUIJK, F.J.G.M; CHATTERJEE, A.; KRINSKY, N.I. Characterization of products formed during the autoxidation of β -carotene. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 10, p. 427-437, 1991.

HASKELL, M.J.; JAMIL, K.M.; HASSAN, F.; PEERSON, J.M.; HOSSAIN, M.I.; FUCHS, G.J.; BROWN, K.H. Daily consumption of Indian spinach (*Basella alba*) or sweet potatoes has a positive effect on total-body vitamin A stores in Bangladeshi men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 80, p. 705-714, Sept. 2004.

HOLMES, K. New high-beta carotene sweet potato varieties fight blindness, save the lives of African children. **Diversity**, Bethesda, v. 16, p. 7, 2000.

HOU, W.C.; HAN, C.H.; CHEN, H.J.; WEN, C.L.; LIN, Y.H. Storage proteins of two cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and their protease hydrolysates exhibited antioxidant in vitro. **Plant Science**, Amsterdam, v. 168, p. 449-456, Feb. 2005.

HUANG, W.; CAI, Y.; ZHANG, Y. Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: potential use for cancer prevention. **Nutrition and Cancer**, London, v. 62, p. 1-20, Jan. 2010.

HUE, S.M.; BOYCE, A.N.; SOMASUNDRAM, C. Influence of growth stage and variety on the pigment levels in *Ipomoea batatas* (sweet potato) leaves. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 6, p. 2379-2385, May 2011.

INAMI, O.; TAMURA, I.; KIKUZAKI, H.; NAKATANI, N. Stability of anthocyanins of *Sambucus canadensis* and *Sambucus nigra*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 44, p. 3090-3096, Oct. 1972.

ISLAM, S. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaf: its potential effect on human health and nutrition. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, p. R13-R21, Mar. 2006.

JAARVELD, P. J. van; MARAIS, D.W.; HARMSE, E.; NESTEL, P.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Retention of β -carotene in boiled, mashed orange-fleshed sweet potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, p. 321-329, Jun. 2006.

JAARVELD, P. J. van; FABER, M.; TANUMIHARDJO, S.A.; NESTEL, P.; LOMBARD, C.J.; BENADÉ, A.J.S. β -carotene-RICH orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, p. 1080-1087, May 2005.

JANGCHUD, K.; PHIMOLSIRIPOL, Y.; HARUTHAITHANASAN, V. Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 55, p. 258-264, Jun. 2003.

JEONG, S.M.; KIM, S.Y.; KIM, D.R.; JO, S.C.; NAM, K.C.; AHN, D.U.; LEE, S.C. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 3389-3393, Jun. 2004.

JHA, S.N. Colour measurements and modeling. In: _____ (Ed.). **Nondestructive evaluation of food quality**. Berlin: Springer-Verlag, 2010. chap. 2, p. 17-40.

JHA, S.N.; CHOPRA, S.; KINGSLY, A.R.P. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. **Journal of Food Engineering**, London, v. 78, p. 22-26, Jan. 2007.

JOHNSON, E.J. The role of lutein in disease prevention. **Nutrition in Clinical Care**, Washington, v. 3, p. 289-296, Oct. 2000.

K'OSAMBO, L.M.; CAREY, E.E.; MISRA, A.K.; WILKES, J.; HAGENIMANA, V. Influence of age, farming site, and boiling on pro-vitamin A content in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) storage roots. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 11, p. 305-321, Dec. 1998.

KALT, W. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. R11-R19, Jan. 2005.

KANASAWUD, P.; CROUZET, J.C. Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoids in aqueous medium. 1. β -carotene degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, p. 237-243, Jan. 1990.

KIDMOSE, U.; CHRISTENSEN, L.P.; AGILI, S.M.; THILSTED, S.H. Effect of home preparation practices on the content of provitamin A carotenoids in coloured sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* Lam.) from Kenya. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Wageningen, v. 8, p. 399-406, Sept. 2007.

KIDMOSE, U.; YANG, R-Y.; THILSTED, S.H.; CHRISTENSEN, L.P.; BRANDT, K. Content of carotenoids in commonly consumed Asian vegetables and stability and extractability during frying. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, p. 562-571, Jun. 2006.

KIM, J.K.; CHOI, S.J.; CHO, H.Y.; KIM, Y.J.; LIM, S.T.; KIM, C.J.; KIM, E.K.; KIM, H.K.; PETERSON, S.; SHIN, D.H. *Ipomoea batatas* attenuates amyloid β peptide-induced neurotoxicity in ICR mice. **Journal of Medicinal Food**, New Rochelle, v. 14, p. 304-309, Mar. 2011.

KIMURA, M.; KOBORI, C.N.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; NESTEL, P. Screening and HPLC methods for carotenoids in sweetpotato, cassava and maize for plant breeding trials. **Food Chemistry**, Barking, v. 100, p. 1734-1746, Jan. 2007.

KOH, E.; MITCHELL A.E. Trends in the analysis of phytochemicals. Flavonoids and Carotenoids. In: MESKIN, M.S.; BIDLACK, W.R.; RANDOLPH, R.E. (Ed.). **Phytochemicals: aging and health**. Boca Raton: CRC Press, 2008. chap. 3, p. 39-76.

LAGIOU, P.; SAMOLI, E.; LAGIOU, A.; SKALKIDIS, Y.; KATSOUYANNI, K.; PETRIDOU, E.; TRICHOPOULOS, D. Flavonoids classes and risk of peripheral arterial occlusive disease: a case-control study in Greece. **European Journal of Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 60, p. 214-219, Feb. 2006.

LARSSON, S.C.; BERGKVIST, L.; WOLK, A. Dietary carotenoids and risk of hormone receptor-defined breast cancer in a prospective cohort of Swedish women. **European Journal of Cancer**, Oxford, v. 46, p. 1079-1085, Apr. 2010.

LAVELLI, V.; HIDALGO, A.; POMPEI, C.; BRANDOLINI, A. Radical scavenging activity of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) wholemeal flour and its relationship to soluble phenolic and lipophilic antioxidant content. **Journal of Cereal Science**, London, v. 49, p. 319-321, Mar. 2009.

LEE, J.E.; MÄNNISTÖ, S.; SPIEGELMAN, D.; HUNTER, D.J.; BERNSTEIN, L.; van den BRANDT, P.A.; BURING, J.E.; CHO, E.; ENGLISH, D.R.; FLOOD, A.; FREUDENHEIM, J.L.; GILES, G.G.; GIOVANNUCCI, E.; HÅKANSSON, N.; HORN-ROSS, P.L.; JACOBS, E.J.; LEITZMANN, M.F.; MARSHALL, J.R.; McCULLOUGH, M.L.; MILLER, A.B.; ROHAN, T.E.; ROSS, J.A.; SCHATZKIN, A.; SCHOUTEN, L.J.; VIRTAMO, J.; WOLK, A.; ZHANG, S.M.; SMITH-WARNER, S.A. Intakes of fruit, vegetables, and carotenoids and renal cell cancer risk: a pooled analysis of 13 prospective studies. **Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention**, Denville, v. 18, p. 1730-1739, Jun. 2009.

LEONG, L.P.; SHUI, G. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. **Food Chemistry**, Barking, v. 76, p. 69-75, Jan. 2002.

LESSIN, W.J.; CATIGANI, G.L.; SCHWARTZ, S.J. Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, p. 3728-3732, Oct. 1997.

LIU, R.H. The potential health benefits of phytochemicals in berries for protecting against cancer and coronary heart disease. In: ZHAO, Y. (Ed.). **Berry fruit: value-added products for health promotion**. Boca Raton: CRC Press, 2007. chap. 6, p. 187-203.

LIU, S.; TIN, J.; YANG, D. Determination of *cis-* and *trans-* α - and β -carotenoids in Taiwanese sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) harvested at various times. **Food Chemistry**, Barking, v. 116, p. 605-610. Oct. 2009.

LOW, J.W.; ARIMOND, M.; OSMAN, N.; CUNGUARA, B.; ZANO, F.; TSCHIRLEY, D. A food-based approach introducing orange-fleshed sweet potatoes increased vitamin A intake and serum retinol concentrations in young children in Mozambique. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 137, p. 1320-1327, May 2007.

MAIANI, G.; PERIAGO, C.M.J.; CATASTA, G.; TOTI, E.; GOÑI, C.I.; BYSTED, A.; GRANADO-LORENCIO, F.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; KNUTHSEN, P.; VALOTI, M.; BÖHM, V.; MAYER-MIEBACH, E.; BEHSNILIAN, D.; SCHLEMMER, U. Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. **Molecular Nutrition and Food Research**, Weinheim, v. 53, suppl. 2, p. S194-S218, Sept. 2009.

MANDELKER, L. Introduction to oxidative stress and mitochondrial dysfunction. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, Philadelphia, v. 38, p. 1-30, Jan. 2008.

MARTY, C.; BERSET, C. Factors affecting the thermal degradation of *all-trans*- β -carotene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, p. 1063-1067, Jan. 1990.

MAZIYA-DIXON, B.; AKINYELE, I.O.; SANUSI, R.A.; OGUNTONA, T.E.; NOKOE, S.K.; HARRIS, E.W. Vitamin A deficiency is prevalent in children less than 5 y of age in Nigeria. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 136, p. 2255-2261, Aug. 2006.

MERCADANTE, A.Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 128-130, Jan. 1998.

MIGLIO, C.; CHIAVARO, E.; VISCONTI, A.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, p. 139-147, Dec. 2008.

MIGNONE, L.I.; GIOVANNUCCI, E.; NEWCOMB, P.A.; TITUS-ERNSTOFF, L.; TRENTAM-DIETZ, A.; HAMPTON, J.M.; WILLETT, W.C.; EGAN, K.M. Dietary carotenoids and the risk of invasive breast cancer. **International Journal of Cancer**, New York, v. 124, p. 2929-2937, Jun. 2009.

MILAGRES, R.C.R.M; NUNES, L.C.; PINHEIRO-SANT'ANA H.M. A deficiência de vitamina A em crianças no Brasil e no mundo. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 1253-1266, out. 2007.

MILLS, J.P.; TUMUHIMBISE, G.A.; JAMIL, K.M.; THAKKAR, S.K.; FAILLA, M.L.; TANUMIHARDJO, S.A. Sweet potato β -carotene bioefficacy is enhanced by dietary fat and not reduced by soluble fiber intake in Mongolian gerbils. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 139, p. 44-50, Jan. 2009.

MOORTHY, S. N. Tropical sources of starch. In: ELIASSON, A. (Ed.). **Starch in food: structure, function and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. chap. 11, p. 321-359.

MURPHY, E.W.; CRINER, P.E.; GRAY, B.C. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 23, p. 1153-1157, Nov-Dec. 1975.

NAGAI, M.; TANI, M.; KISHIMOTO, Y.; IIZUKA, M.; SAITA, E.; TOYOZAKI, M.; KAMIYA, T.; Ikeguchi, M.; KONDO, K. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves suppressed oxidation of low density lipoprotein (LDL) *in vitro* and in human subjects. **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, Kyoto, v. 48, p. 203-208, May 2011.

NAGAO, A.; OLSON, J.A. Enzymatic formation of 9-*cis*, 13-*cis*, and all-*trans* retinals from isomers of β -caroteno. **FASEB**, Bethesda, v. 8, p. 968-973, Sept. 1994.

NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 10, p. 96-100, Mar. 1999.

NIWA, A.; TAJIRI, T.; HIGASHINO, H. *Ipomoea batatas* and *Agaricus blazei* ameliorate diabetic disorders with therapeutic antioxidant potential in streptozotocin-induced diabetic rats. **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, Kyoto, v. 48, p. 194-202, May 2011.

NKONDJOCK, A.; GHADIRIAN, P.; JOHNSON, K.C.; KREWSKI, D.; CANADIAN CANCER REGISTRIES EPIDEMIOLOGY RESEARCH GROUP. Dietary intake of lycopene is associated with reduced pancreatic cancer risk. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 135, p. 592-597, Mar. 2005.

NUTTI, M.R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J.L.V. de; FUKUDA, W.; SILVA J.B.C. da; Del PELOSO, M.J.; BASSINELLO, P.Z.; NEVES P.C.F.; ROCHA, M.M.; SCHAFFERT, R.E.; SHEEREN, P.L.; RAMOS, S.R.R.; CARVALHO, H.W.L. de; CURADO, F.F.; FIGUEIREDO, R.; SALVADOR, L.; SILVA, E.M.M. da; RANGEL, C.N.; BOUIS, H. Strategies for biofortification in Brazil. In: SERAGELDIN, J.; MASOOD, E.; EL-FAHAM, M.; EL-WAKIL, M. (Ed.). **From promises to practice: applications of science and technology in food, healthcare, energy and environment**. Alexandria: BioVision Alexandria, 2010. chap. 15, p. 177-193.

OBANA, A.; HIRAMITSU, T.; GOHTO, Y.; OHIRA, A.; MIZUNO, S.; HIRANO, T.; BERNSTEIN, P.S.; FUJII, H.; ISEKI, K.; TANITO, M.; HOTTA, Y. Macular carotenoid levels of normal subjects and age-related maculopathy patients in a Japanese population. **Ophthalmology**, Hagerstown, v. 115, p. 147-157, Jan. 2008.

OKI, T.; MASUDA, M.; FURUTA, S.; NISHIDA, Y.; TERAHARA, N.; SUDA, I. Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweet potato cultivars. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, p. 1752-1756, Jun. 2002.

ORNELAS-PAZ J.J.; YAHIA, E.M.; GARDEA A.A. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCl⁺-time-of-flight mass spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 50, p. 145-152, Nov. 2008.

PADDA, M.S.; PICHA, D.H. Phenolic composition and antioxidant capacity of different heat-processed forms of sweetpotato cv. 'Beauregard'. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 43, p. 1404-1409, Aug. 2008a.

PADDA, M.S.; PICHA, D.H. Quantification of phenolic acids and antioxidant activity in sweetpotato genotypes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 119, p. 17-20, Dec. 2008b.

PAPADIMITRAKOPOULOU, V.A.; LEE, J.J.; WILLIAM Jr., W.N.; MARTIN, J.W.; THOMAS, M.; KIM, E.S.; KHURI, F.R.; SHIN, D.M.; FENG, L.; HONG, W.K.; LIPPMAN, S.M. Randomized trial of 13-*cis* retinoic acid compared with retinyl palmitate with or without beta-carotene in oral premalignancy. **Journal of Clinical Oncology**, Philadelphia, v. 27, p. 599-604, Feb. 2009.

PELLEGRINI, N.; CHIAVARO, E.; GARDANA, C.; MAZZEO, T.; CONTINO, D.; GALLO, M.; RISO, P.; FOGLIANO, V.; PORRINI, M. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen *Brassica* vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 4310-4321, Apr. 2010.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R.; HÄKKINEN, S.T.; AARNI, M.; SUORTTI, T.; LAMPI, A.M.; EUROLA, M.; PIIRONEN, V.; NUUTILA, A.M.; OKSMAN-CALDENTEY, K.M. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. London, v. 83, p. 1389-1402, Nov. 2003.

RABAH, I.O.; HOU, D.X.; KOMINE, S.; FUJII, M. Potential chemopreventive properties of extract from baked sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam. Cv. Koganesengan). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 7152-7157, Nov. 2004.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 26, p. 1231-1237, May 1999.

REYES, L.F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 5296-5300, Aug. 2003.

RICHER, S.; STILES, W.; STATKUTE, L.; PULIDO, J.; FRANKOWSKI, J.F.; RUDY, D.; PEI, K.; TSIPURSKY, M.; NYLAND, J. Double-masked, placebo-controlled, randomized trial of lutein and antioxidant supplementation in the intervention of atrophic age-related macular degeneration: the veterans LAST study (lutein antioxidant supplementation trial). **Optometry**, New York, v. 75, p. 216-230, Apr. 2004.

RIMBACH, G.; PASCUAL-TERESA, S. De. Application of nutrigenomics tools to analyze the role of oxidants and antioxidants in gene expression. In: _____; FUCHS, J.; PACKER, L. (Ed.). **Nutrigenomics**. Boca Raton: CRC Press, 2005. chap. 1, p. 1-12.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **Carotenoids and food preparation**: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods. Washington, DC: OMNI, 1997. 93 p.

_____. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington, DC: OMNI Research/ILSI Press, 2001. 64 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington, DC: HarvestPlus, 2004. 58 p.

ROSSI, M.; BOSETTI, C.; NEGRI, E.; LAGIOU, P.; La VECCHIA, C. Flavonoids, proanthocyanidins, and cancer risk: a network of case-control studies from Italy. **Nutrition and Cancer**, London, v. 62, p. 871-877, Oct. 2010.

RUIZ, D.; EGEA, J.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; GIL, M.I. Carotenoids from new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties and their relationship whit flesh and skin color. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 6368-6374, Aug. 2005.

SÁNCHEZ-MORENO, C.; PLAZA, L.; ANCOS, B. de; CANO, M.P. Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 83, p. 430-439, Apr. 2003.

SASSON, A. **Food and nutrition biotechnology: achievements, prospects, and perceptions**. Yokohama: United Nations University Institute of Advanced Studies, 2005. 32 p.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Phenolics in food and nutraceuticals**. Boca Raton: CRC Press, 2004. 576 p.

SINGH, S.; RIAR, C.S.; SAXENA D.C. Effect of incorporating sweetpotato flour to wheat flour on the quality characteristics of cookies. **African Journal of Food Science**, Victoria Island, v. 2, p. 65-72, Jun. 2008.

STAHL, W.; SIES, H. Bioactivity and protective effects of natural carotenoides. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1740, p. 101-107, May 2005.

STRINGHAM, J.M.; HAMMOND, B.R. Dietary lutein and zeaxantina: possible effects on visual function. **Nutrition Reviews**, New York, v. 63, p. 59-64, Feb. 2005.

SUBEDI, P.P.; WALSH, K.B.; OWENS, G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 43, p. 326-334, Mar. 2007.

SUDA, I.; YOSHIMOTO, M.; YAMAKAWA, P. Sweetpotato potentiality: prevention for life style-related disease induced by recent food habits in Japan. **Foods & Food Ingredients Journal of Japan**, Osaka, v. 181, p. 59-69, 1999.

SULTANA, S.; ALAM, A.; SHARMA, S.; KHAN, N. 13-*cis* retinoic acid ameliorates benzoyl peroxide-induced oxidative stress and hyperproliferative response in murine skin: a chemopreventive study. **Cancer Detection and Prevention**, Shannon, v. 28, p. 200-207, Jul. 2004.

SUN, Z.; YAO, H. The influence of di-acetylation of the hydroxyl groups on the anti-tumor-proliferation activity of lutein and zeaxanthin. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, Taiwan, v. 16, suppl. 1, p. 447-452, 2007.

SWAIN, T.; HILLIS, W.E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 10, p. 63-68, Jan. 1959.

TAKAHATA Y., NODA T., NAGATA T. HPLC determination of β -carotene content of sweet potato cultivars and its relationship with color values. **Japanese Journal of Breeding**, Tokyo, v. 43, p. 421-427, 1993.

TANG, G. Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 91, suppl., p. 1468S-1473S, May 2010.

TANUMIHARDJO, S.A. Factors influencing the conversion of carotenoids to retinol: bioavailability to bioconversion to bioefficacy. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, Berne, v. 72, p. 40-45, Jan. 2002.

TEOW, C.C.; TRUONG, V.; McFEETERS, R.F.; THOMPSON, R.L.; PECOTA, K.V.; YENCHO, G.C. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry**, Barking, v. 103, p. 829-838, 2007.

THOMPSON, D.P. Phenols, carotene and ascorbic acid of sweet potato roots infected with *rhizopus stolonifer*. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 59, p. 1177-1179, Oct. 1979.

THOTTAPPILLY, G. Introductory remarks. In: LOEBENSTEIN, G.; _____ (Ed.). **The sweetpotato**. New York: Springer, 2009. chap. 1, p. 3-7.

TRUONG, V.D.; AVULA, R.Y. Sweet potato purees and powders for functional food ingredients. In: RAY, R.C.; TOMLINS, H.I. **Sweet potato: post harvest aspects in food**. New York: Nova Science Publisher, 2010. chap. 5, p117-161.

TRUONG, V.D.; McFEETERS, R.F.; THOMPSON, R.T.; DEAN, L.L.; SHOFRAN, B. Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars in the United States. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, p. C343-C349, Aug. 2007.

UKOM, A.N.; OJIMELUKWE, P.C.; ALAMU, E.O. All trans-cis β -carotene content of selected sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) varieties as influenced by different levels of nitrogen fertilizer application. **African Journal of Food Science**, Victoria Island, v. 5, p. 131-137, Mar. 2011

UNICEF. **Progreso para la infancia: un balance sobre la nutrición**. New York: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2006. 33 p.

VINSON, J.A.; HAO, Y.; SU, X.; ZUBIK, L. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 3630-3634, Aug. 1998.

VOGT, T.M.; MAYNE, S.T.; GRAUBARD, B.I.; SWANSON, C.A.; SOWELL, A.L.; SCHOENBERG, J.B.; SWANSON, G.M.; GREENBERG, R.S.; HOOVER, R.N.; HAYES, R.B.; ZIEGLER, R.G. Serum lycopene, other serum carotenoids, and risk of prostate cancer in US blacks and whites. **American Journal of Epidemiology**, Baltimore, v. 155, p. 1023-1032, Jun. 2002.

WATSON, T.A.; CALLISTER, R.; GARG, M.L. Oxidative stress and antioxidant requirements in trained athletes. In: WILDMAN, R.E.C. (Ed.). **Handbook nutraceuticals and functional foods**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. chap. 22, p. 421-442.

WELCH, R.M. Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 132, suppl., p. 495S-499S, Mar. 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005**. Geneva, 2009. 55 p.

WOOLFE J. A. **Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 643 p.

WU, X.; SUN, C.; YANG, L.; ZENG, G.; LIU, Z.; LI, Y. β -carotene content in sweet potato varieties from China and the effect of preparation on β -carotene retention in the Yanshu No. 5. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Wageningen, v. 9, p. 581-586, Oct. 2008.

WU, X.; GU, L.; HOLDEN, J.; HAYTOWITZ, D.B.; GEBHARDT, S.E.; BEECHER, G.; PRIOR, R.L. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacity of common foods in the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 4026-4037, Jun. 2004.

ZANATTA, C.F.; MERCADANTE, A.Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, Barking, v. 101, p. 1543-1549, Jan. 2007.

ZANFINI, A.; CORBINI, G.; ROSA, C. La.; DREASSI, E. Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and α -tocopherol in synthetic mixtures. **LWT – Food Science and Technology**, London, v. 43, p. 67-72, Jan. 2010.

ZHU, F.; CAI, Y.Z.; YANG, X.; KE, J.; CORKE, H. Anthocyanins, hydroxycinnamic acid derivatives, and antioxidant activity in roots of different Chinese purple-fleshed sweetpotato genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 7588-7596, Jul. 2010.