

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE BETALAÍNAS EM EXTRATO DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) COM α -, β - e γ -CICLODEXTRINAS¹

DEISY ALESSANDRA DRUNKLER*

ROSEANE FETT**

MARILDE T. BORDIGNON LUIZ**

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de α -, β - e γ - ciclodextrinas na estabilidade de betalainas em extrato de beterraba (*Beta vulgaris* L.) etanólico (70%). O estudo da estabilidade foi realizado utilizando-se concentrações das ciclodextrinas avaliadas de 0,925 g/100 mL e 0,462 g/100 mL em atmosfera com oxigênio e fluxo de nitrogênio, na presença e ausência de luz, em temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e pH do extrato de $6,80 \pm 0,05$. A adição das ciclodextrinas em extrato de beterraba etanólico 70% (nas condições e concentrações estudadas) não aumentou a estabilidade dos pigmentos avaliados. Tratamentos submetidos ao fluxo de nitrogênio e mantidos em ausência de luz apresentaram maior estabilidade.

PALAVRAS-CHAVES: BETALAÍNAS; BETERRABA VERMELHA; CICLODEXTRINA.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da UFSC para receber o grau de mestre.

* Mestre em Ciência dos Alimentos, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina (CAL/CCA/UFSC), Profa. Assistente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus de Cascavel/PR (e-mail: dadrunkler@unioeste.br).

** Professora Adjunta, Doutora em Química, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, CAL/CCA/UFSC, Florianópolis/SC (e-mail: rfett@cca.ufsc.br; bordign@cca.ufsc.br).

1 INTRODUÇÃO

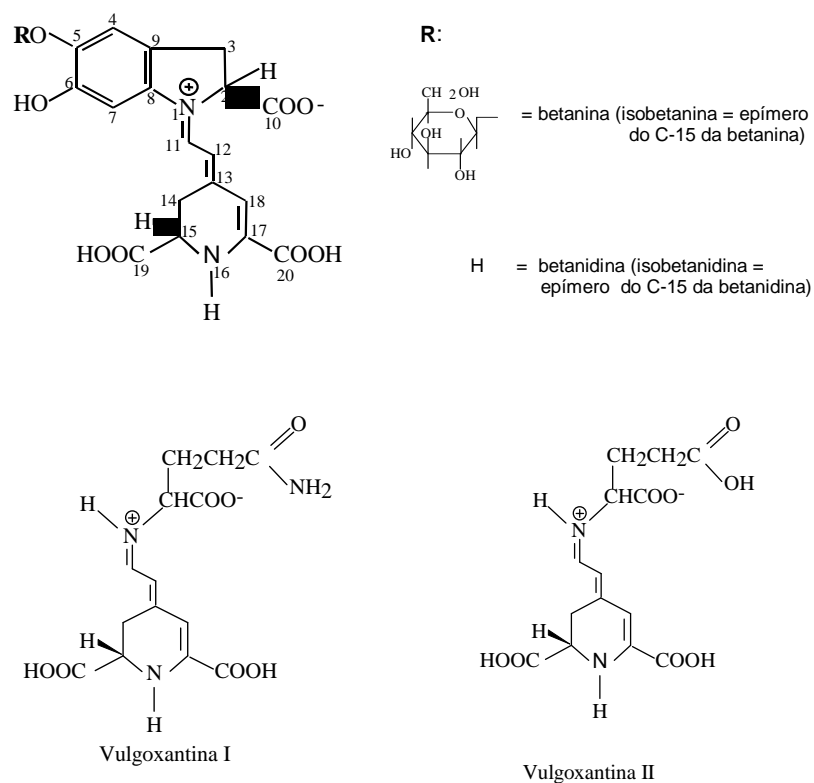
As betalaínas, classe de pigmentos naturais, compreendem as betacianinas (vermelhos) e as betaxantinas (amarelas). Ocorrem, principalmente, nas *Centrospermae* com destaque especial para a beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.). Dentre as betacianinas, os pigmentos que apresentam maior percentagem (75-95 %) na beterraba vermelha e se destacam como corante em alimentos são a betanina e seu diastereoisômero isobetanina. As betaxantinas aparecem em menor percentagem na beterraba vermelha, das quais as principais são vulgoxantina I e II (JACKMAN e SMITH, 1992; MEGARD, 1993; STRACK, VOGT e SCHLIEMANN, 2003) (Figura 1).

As betalaínas podem ser empregadas como corante em alimentos (CONSTANT, STRINGUETA e SANDI, 2002; DRUNKLER, FETT e LUIZ, 2003; STIMTZING e CARLE, 2004), no entanto, fatores que afetam sua estabilidade restringem seu uso. Tais fatores incluem valores de pH e temperatura (PÁTKAI e BARTA, 1996; SAGUY, 1979), oxigênio molecular (ATTOE e VON ELBE, 1985), luz (SALGADO, 1997), atividade de água (DRDÁK et al., 1990) e metais (CZAPSKI, 1990), entre outros.

A inclusão molecular, também conhecida como encapsulamento molecular e complexo de inclusão, usa ciclodextrinas (CD) para complexar moléculas (DRUNKLER, FETT e LUIZ, 1999; JACKSON e LEE, 1991; MARTÍN et al. 2003; SINGH, SHARMA e BANERJEE, 2002) e difere dos outros processos por ocorrer em nível molecular (RISCH, 1995 e SHAHIDI e HAN, 1993). Pesquisas mostrando a utilização das CD na inclusão molecular de corantes empregados na área de alimentos e avaliando sua estabilidade têm merecido destaque (DANGLES et al., 1992; LEWIS, WALKER e LANCASTER, 1995; LING, PASSOS e FONTANA, 2005; MANSILLA, 1998; O'BOYLE et al., 1992; TAWARA e KHOURI, 1993 e 2000; UKAI et al., 1996).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de α -, β - e γ -CD na estabilidade de betalaínas em extrato de beterraba (*Beta vulgaris* L.) etanólico a 70% na presença e/ou ausência de luz e oxigênio, a temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e pH do extrato de $6,80 \pm 0,05$.

FIGURA 1 – ESTRUTURAS QUÍMICAS DAS PRINCIPAIS BETACIANINAS E BETAXANTINAS PRESENTES NA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.)



Fonte: Adaptado de JACKMAN e SMITH (1992).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Utilizou-se beterraba vermelha de mesa (*Beta vulgaris* L., variedade Asgrow Wonder), cedida pelo Centro de Treinamento da EPAGRI de Florianópolis (SC). As amostras de beterraba foram selecionadas

(eliminando-se as unidades que apresentaram danos mecânicos e microbiológicos), lavadas com água e escova para eliminar resíduos de sujidades e para reduzir a contaminação microbiana. Depois de cortadas em pedaços de 1 cm³, aproximadamente, foram submetidas ao branqueamento por 10 minutos, sob vapor, conforme proposto por ABEYSEKERE, SAMPATHU e SHANKARANARAYANA (1990). Rapidamente resfriadas, as amostras foram embaladas em sacos plásticos de polietileno e armazenadas a temperatura de $-18,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$. Utilizaram-se álcool etílico absoluto, ácido cítrico monoidratado e fosfato de sódio dibásico heptahidratado da marca Nuclear, qualidade p.a., e sorbato de potássio de qualidade comercial. Para os testes de inclusão molecular foram empregadas α -, β - e γ -CD, cedidas pela Cerestar (Indiana, EUA).

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Preparo do extrato

Para a extração do pigmento com solução de etanol a 70% (v/v) usou-se proporção de 1:2 p/v, relação peso de beterraba por volume de solvente. Homogeneizou-se a mistura durante cerca de 1 minuto e o material permaneceu em maceração pelo período de 12-24 horas ao abrigo da luz e sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$). Após a maceração, o material foi prensado manualmente em pano fino (com o intuito de eliminar os resíduos sólidos) e filtrado em papel filtro Whatman nº1, usando-se funil de Büchner. Para cada 10 mL de extrato foram adicionados 0,05 mL de sorbato de potássio a 5% (p/v) com o objetivo de prevenir desenvolvimento fúngico. Armazenou-se o extrato obtido em frasco âmbar, sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$), para ser utilizado nas análises posteriores.

2.2.2 Estudo da estabilidade

Realizou-se a escolha das concentrações de acordo com a solubilidade das CD no extrato de beterraba e na ocorrência de alterações espectrais na região visível, conforme proposto por PROVENZI (2001). As quatro concentrações para cada CD em estudo (α -, β - e γ) foram 1,850 g/100 mL, 0,925 g/100 mL, 0,462 g/100 mL e 0,231 g/100 mL (peso de CD por volume de extrato de beterraba etanólico a 70%).

As CD (concentrações acima especificadas) foram pesadas em balança analítica (Sartorius®) e transferidas para balão volumétrico de 10 mL, completando-se os volumes dos balões com extrato de beterraba preparado de acordo com o item 2.2.1. As soluções foram mantidas em repouso por duas horas ao abrigo da luz e temperatura de $25,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, supondo que esse seria o tempo necessário para que o equilíbrio fosse atingido conforme PROVENZI (2001). Alíquotas foram retiradas dos tratamentos e dissolvidas em solução tampão citrato-fosfato pH $6,80 \pm 0,05$ (pH do extrato) de forma a obter absorvância inicial entre 1,0 – 1,1. A seguir, foram realizadas leituras em espectrofotômetro Ultravioleta Visível (UV-VIS) (Hewlett Packard 8452 - diode array spectrophotometer) nos comprimentos de onda de máxima absorção para as betaxantinas (482 nm) e betacianinas (536 nm).

Utilizou-se técnica adaptada de SALGADO (1997) para avaliar a estabilidade de betalainas em extrato de beterraba etanólico a 70% na ausência e presença de α -, β - e γ -CD, em presença e/ou ausência de luz, fluxo de nitrogênio ou presença de oxigênio, a temperatura de $25,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e pH do extrato de $6,80 \pm 0,05$. As concentrações de CD usadas foram 0,925 g/100 mL (α -, β - e γ -CD1) e 0,462 g/100 mL (α -, β - e γ -CD2).

Foram empregados tubos transparentes e tubos envoltos em papel alumínio, com capacidade para 25 mL. Adicionaram-se a cada frasco 10 mL de extrato de beterraba etanólico a 70% e CD nas concentrações acima especificadas. Tubos contendo somente o extrato de beterraba etanólico a 70% serviram como controle. Todos os tubos foram deixados em repouso por 2 horas na ausência de luz e em temperatura ambiente para garantir que o equilíbrio fosse atingido (PROVENZI, 2001). A seguir, mediu-se a absorvância no tempo zero pela retirada de alíquotas e posterior diluição em solução tampão citrato-fosfato pH $6,80 \pm 0,05$ de forma que a absorvância inicial permanecesse entre 1,0 - 1,1. Para avaliar a influência do oxigênio, metade dos tubos foi submetida a fluxo de nitrogênio por 15 segundos e a outra metade permaneceu sob a ação do ar atmosférico. Da mesma forma, metade dos tubos foi deixada na ausência de luz (revestidos com papel alumínio) e a outra exposta à luz de lâmpadas fluorescentes de 40 W, 2500 lux, tomando-se cuidado para que não houvesse nenhuma outra fonte de luz.

2.2.3 Condições do experimento

Os espectros foram determinados por espectrometria de absorção UV-VIS (Hewlett Packard 8452 - diode array spectrophotometer), em célula de quartzo com caminho óptico de 1,0 cm e volume de amostra de 3,0 mL. A leitura das absorvâncias foi realizada em todos os tubos, em intervalos de tempo variáveis, no comprimento de onda de máxima absorção para as betaxantinas (482 nm) e betacianinas (536 nm) na extensão de 390 a 610 nm. O experimento foi interrompido quando 60% ou mais dos pigmentos estavam degradados. O estudo de estabilidade envolveu redução da absorvância em função do tempo, bem como o cálculo do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) (MARTINEZ e GUEDES, 1998). Nos frascos em que houve fluxo de nitrogênio substitui-se o volume de amostra, retirado para leitura, com igual volume de nitrogênio, mediante seringa comum de injeção. Conduziu-se o experimento com delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 7 x 2 x 2 e três repetições, em duplicata, para cada tratamento.

2.2.4 Análise estatística

Realizou-se a análise de variância (Anova/ Manova) para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos e aplicou-se o Teste de Tukey *studentized* (HSD) ao nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) para analisar as diferenças entre as médias. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa *Statistica* (STATSOFT, 1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 e a Figura 2 mostram o efeito das CD (α -, β - e γ -) sobre o espectro de absorção das betalaínas em extrato de beterraba etanólico a 70% nos comprimentos de onda de máxima absorção para betaxantina (482 nm) e betacianina (536 nm). A adição das CD α -, β - e γ - na estabilidade dos pigmentos betaxantina e betacianina foi avaliada mediante alterações no espectro desses pigmentos. Segundo LI e PURDY (1992), a alta densidade eletrônica no interior da cavidade da ciclodextrina pode mobilizar os elétrons da molécula hóspede inclusa. Isso provoca mudanças nas várias propriedades espectrais da CD e/ou molécula hóspede, representadas geralmente

por efeito batocrômico e mudança na absorvância (aumento ou diminuição).

A avaliação das absorvâncias nos comprimentos de onda de máxima absorção dos espectros dos pigmentos não evidenciou efeito batocrômico após a adição das ciclodextrinas, nem qualquer alteração significativa no que diz respeito à intensidade da absorção (hipocrômico ou hiperocrômico). As pequenas variações observadas na absorvância devem-se, provavelmente, às diluições realizadas para leitura. Estudos mostram que algumas substâncias que formam complexos de inclusão com ciclodextrinas não promovem alterações espectrais significativas que possam ser observadas pelo método espectroscópico direto. É necessário aplicar o método espectroscópico competitivo como no estudo de inclusão entre os ácidos graxos cáprico e caprílico com β - e γ -CD, efetuado por MEIER (2000).

Como a formação de complexo de inclusão usualmente causa diminuição no processo de degradação, a estabilidade dos pigmentos foi avaliada em atmosfera de oxigênio e de fluxo de nitrogênio, na presença e ausência de luz, a $25,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$ e pH do extrato de $6,80 \pm 0,05$. Os resultados foram apresentados pela redução da absorvância em função do tempo nas Figuras 3 e 4.

TABELA 1 - ABSORBÂNCIAS DAS BETALAÍNAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE α -, β - γ -CICLODEXTRINAS (CD) NOS COMPRIMENTOS DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO PARA BETAXANTINA (482 nm) E BETACIANINA (536 nm)

(g%)	α -CD (a)		β -CD (b)		γ -CD (c)	
	Betaxantina (482 nm)	Betacianina (536 nm)	Betaxantina (482nm)	Betacianina (536nm)	Betaxantina (482nm)	Betacianina (536nm)
0	0,96661	1,1580	0,96661	1,1580	0,94992	1,1667
1,850	--	--	--	--	0,97588	1,1813
0,925	0,91815	1,1034	0,95921	1,1540	0,95490	1,1676
0,462	0,92714	1,1141	0,95848	1,1524	0,95955	1,1711
0,231	0,93791	1,1257	0,96123	1,1556	0,97305	1,1840

FIGURA 2 – EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE α - (A), β (B) E γ -CD (C) NO ESPECTRO DE ABSORÇÃO DAS BETALAÍNAS EM EXTRATO DE BETERRABA ETANÓLICO (70%), VARIEDADE ASGROW WONDER

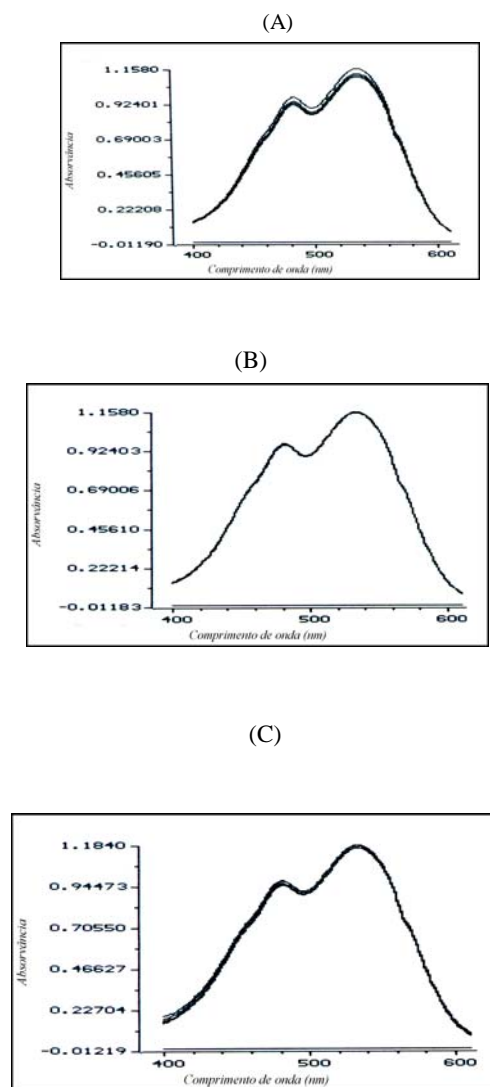
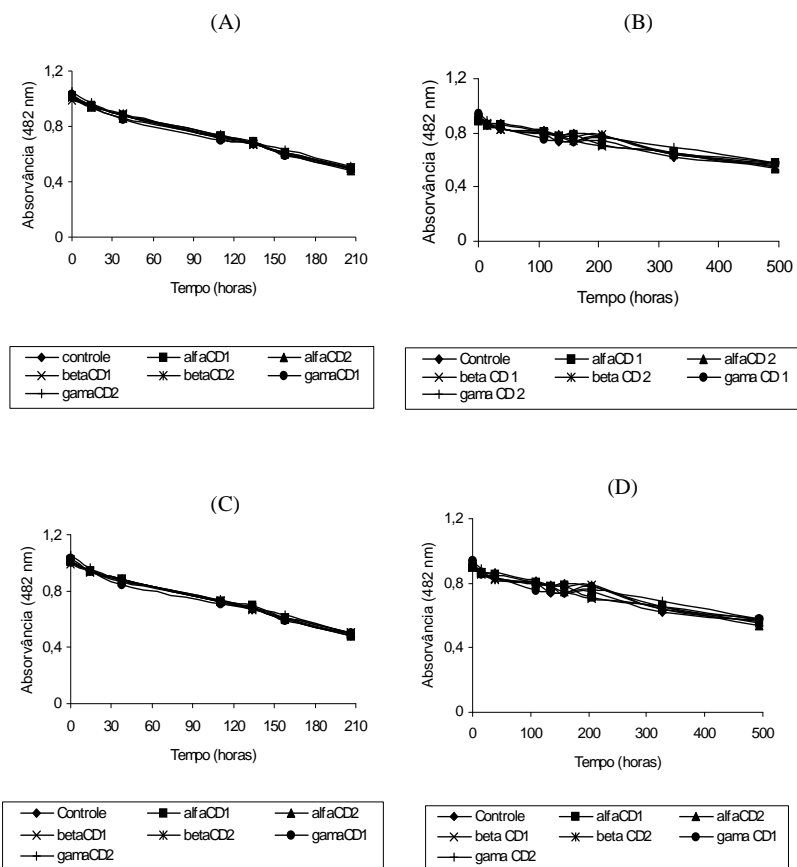
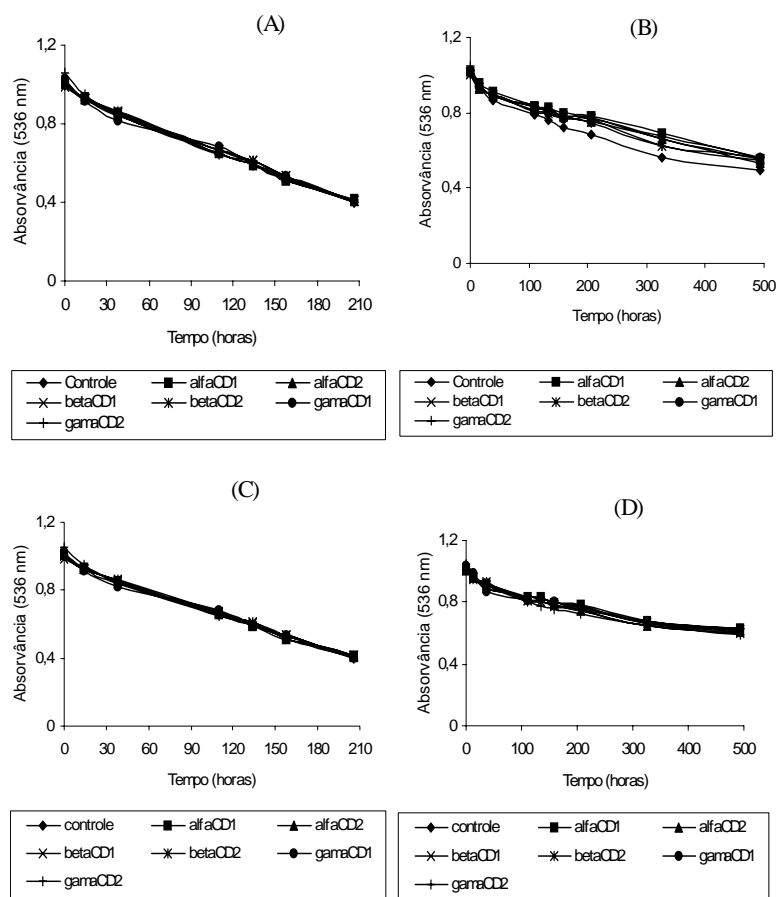


FIGURA 3 - EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE α -, β - E γ -CICLODEXTRINAS NA ABSORVÂNCIA DE BETAXANTINAS EM EXTRATO DE BETERRABA ETANÓLICO (70%), VARIEDADE ASGROW WONDER, EM FUNÇÃO DO TEMPO



CD1 = 0,925 g/100 mL; CD2 = 0,462 g/100 mL; (A) = luz/ oxigênio; (B) = luz/ fluxo de nitrogênio; (C) = ausência de luz/ oxigênio; (D) = ausência de luz/ fluxo de nitrogênio. Temperatura = $25 \pm 1^\circ\text{C}$, pH = $6,80 \pm 0,05$.

FIGURA 4 - EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE α -, β - E γ -CICLODEXTRINAS NA ABSORVÂNCIA DE BETACIANINAS EM EXTRATO DE BETERRABA ETANÓLICO (70%), VARIEDADE ASGROW WONDER, EM FUNÇÃO DO TEMPO



CD1 = 0,925 g/100 mL; CD2 = 0,462 g/100 mL; (A) = luz/ oxigênio; (B) = luz/ fluxo de nitrogênio; (C) = ausência de luz/ oxigênio; (D) = ausência de luz/ fluxo de nitrogênio. Temperatura = $25 \pm 1^\circ\text{C}$, pH = $6,80 \pm 0,05$.

Pela avaliação dos gráficos e conforme análise estatística dos valores do tempo de meia-vida de betaxantina e betacianina (Figura 5) é possível verificar que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com e sem adição das ciclodextrinas para ambos os pigmentos.

As condições ambientais (luz e ausência de luz) e as condições de atmosfera (oxigênio e fluxo de nitrogênio) interferiram significativamente ($p < 0,05$) na estabilidade dos pigmentos avaliados, independentemente da presença ou ausência das ciclodextrinas.

Os resultados obtidos demonstraram que a adição das CD (α -, β - e γ -) nas concentrações e condições avaliadas não alterou a estabilidade das betacianinas (aumento ou redução). HAMBURG e HAMBURG (1991) observaram que a adição de β -CD na concentração de 5 g/100 mL de água em extrato aquoso de beterraba, diluído 1:2 e submetido liofilização, após o período de 1 ano aumentou em 10% a retenção dos pigmentos.

O solvente extrator utilizado (solução etanólica 70%) e meio da reação de inclusão molecular pode ter contribuído para os resultados observados. Segundo CONNORS (1997) existem evidências de que a natureza do solvente na qual a reação ocorre pode influenciar ou controlar a formação e estrutura do complexo, indicando que são menos estáveis em solventes orgânicos (puros ou em mistura) e em água do que na água pura.

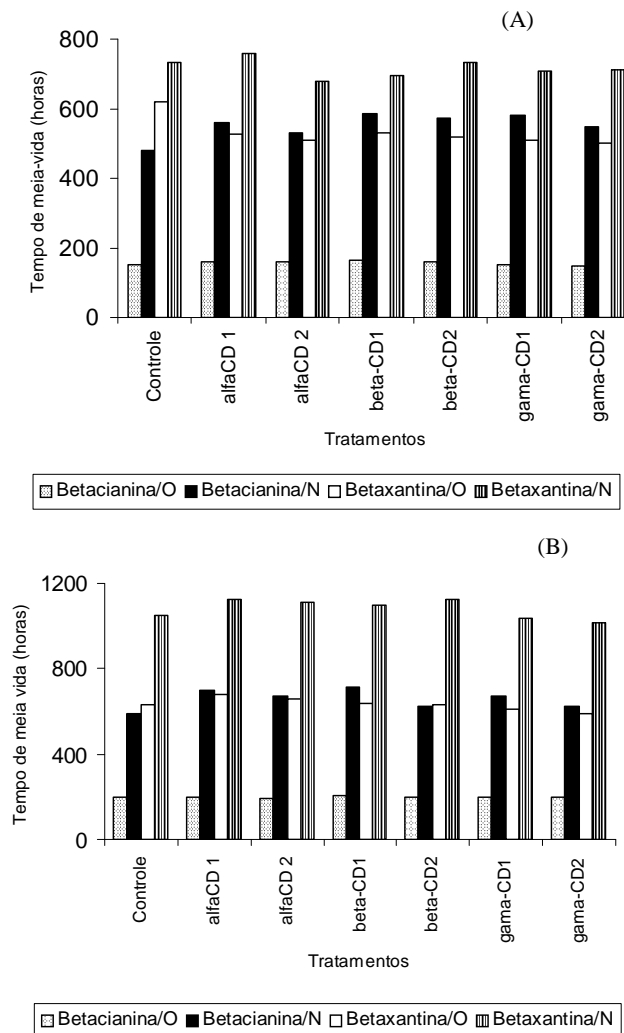
DEL VALLE (2004) ressaltou que a substância a ser encapsulada deve ser capaz de deslocar o solvente da cavidade da ciclodextrina. A água, por exemplo, é facilmente deslocada e, portanto, o meio reacional mais empregado. A influência do meio reacional na formação do complexo de inclusão foi destacada por JUNQUERA e AICART (1997) que avaliaram a formação de complexo molecular entre cetoprofeno e hidroxipropil- β CD em diferentes alcoóis (metanol, etanol, propanol e butanol) e concentrações em solução aquosa. Verificaram que conforme a polaridade diminuía (quer pelo aumento da cadeia e/ou da concentração do alcoóis) ocorria menor interação entre a droga e a CD. Tais autores observaram que concentrações elevadas de metanol e etanol podem chegar a inibir a formação de complexo de inclusão.

AREE e CHAICHIT (2003) constataram a formação de complexo de inclusão entre beta-ciclodextrina e etanol na tentativa de cristalizar fenol e beta-ciclodextrina em solução aquosa de etanol a 50%, em pH 3,3 e temperatura de 60°C. Nessas condições o complexo não se mostrou estável, pois promoveu a substituição do fenol pelo álcool na cavidade da ciclodextrina. Outros trabalhos destacam que a afinidade hóspede-hospedeiro depende do meio em que a reação é realizada (MIYAKE et al., 1999; ORSTAIN e WOJCIK, 1988; PERLOVICH, SKAR e BAUER-BRANDL, 2003; REINECCIUS, REINECCIS e PEPPARD, 2005; TØNNENSEN, MÁSSON e LOFTSSON, 2002). Assim, a concentração de etanol utilizada pode ter contribuído para os resultados obtidos.

Deve-se ressaltar que foi utilizado extrato bruto de beterraba e, portanto, nas condições de extração empregadas é possível que substâncias como compostos fenólicos sejam extraídas (BOKERN et al., 1991; KUJALA et al., 2000). Estudos têm demonstrado que compostos fenólicos são bons substratos para inclusão molecular com CD (IRWING, KING E HICKS, 1996; KOKKINOU, MAKEDONOPOULOU e MENTZAFOS, 2000) e poderiam competir com os pigmentos betalaínas nas condições avaliadas, prevalecendo sua inclusão.

Aplicou-se o Teste de Tukey *studentized* (HSD) ($p < 0,05$) para verificar a influência da atmosfera x ambiente para o pigmento betacianina. Os tratamentos submetidos à condição de fluxo de nitrogênio/ausência de luz mostraram-se mais estáveis do que os com fluxo de nitrogênio/presença de luz, seguidos pelos tratamentos submetidos à atmosfera de oxigênio em ausência de luz e atmosfera de oxigênio em presença de luz. No entanto, ATTOE e VON ELBE (1981) verificaram que em atmosfera de nitrogênio, a luz não influenciou a degradação de betanina. O pigmento betaxantina apresentou comportamento diferenciado da betacianina, sendo os tratamentos submetidos à condição de fluxo de nitrogênio/ausência de luz mais estáveis que os com fluxo de nitrogênio/presença de luz. Esse último não diferiu dos tratamentos em atmosfera de oxigênio, presença ou ausência de luz. Constatou-se efeito sinérgico entre a atmosfera com fluxo de nitrogênio e ausência de luz, reforçando que a presença de fluxo de nitrogênio foi o principal responsável pela estabilidade desses pigmentos.

FIGURA 5 - VALORES DO TEMPO DE MEIA-VIDA DOS PIGMENTOS BETACIANINA E BETAXANTINA EM EXTRATO DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) ETANÓLICO (70%), VARIEDADE ASGROW WONDER



CD1 = 0,925 g/100 mL; CD2 = 0,462 g/100 mL; (A) = luz; (B)= escuro.
Temperatura = 25 ± 1°C; pH = 6,80 ± 0,05.

4 CONCLUSÃO

Ciclodextrinas α -, β - e γ - nas concentrações e condições avaliadas não foram eficazes na estabilização do corante betalaína em extrato de beterraba (*Beta vulgaris* L.) etanólico a 70%. Os tratamentos submetidos ao fluxo de nitrogênio e mantidos sob o abrigo da luz resultaram em maior estabilidade para as betalaínas (betacianina e betaxantina).

Abstract

THE EVALUATION OF STABILITY OF BETALAINS IN BEETROOT (*Beta vulgaris* L.) EXTRACT ADD TO OF α -, β - AND γ -CYCLODEXTRINS

The goal of this work was to evaluate the betalain stability of beet 70% aq. ethanol extract added of cyclodextrins (α -, β - and γ -CD). The concentrations of 0.925g/100mL and 0.462g/100mL was evaluated on an atmosphere with oxygen and nitrogen flow, ambient with or without light, temperature of the $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ and extract pH 6.80 ± 0.05 . CDs' addition in the beet 70% aq. ethanol extract, in the concentrations and evaluated conditions, didn't improve betalains stability increase. The treatments submitted to the nitrogen flow and kept in light absence had presented higher stability.

KEY-WORDS: BETALAINS; BEETROOT; CYCLODEXTRINS.

REFERÊNCIAS

- 1 ABEYSEKERE, M.; SAMPATHU, S. R.; SHANKARANARAYANA, M. L. Studies on different methods of extraction of betalaines from red beet (*Beta vulgaris*). **J. Food Sci. and Techn.**, v. 27, n. 6, p. 336-339, Nov./Dec. 1990.
- 2 AREE, T.; CHAICHIT, N. A new crystal form of β -cyclodextrin-ethanol inclusion complex: channel type structure without long guest molecules. **Carbohydr. Res.**, v. 338, p. 1581-1589, 2003.
- 3 ATTOE, E. L.; VON ELBE, J. H. Oxygen involvement in betanine degradation: effect of antioxidants. **J. Food Sci.**, v. 50, p. 106-110, 1985.
- 4 ATTOE, E. L.; VON ELBE, J. H. Photochemical degradation of betanine and selected anthocyanins. **J. Food Sci.**, v. 46, p. 1934-1937, 1981.
- 5 BOKERN, M. *et al.* Ferulic acid conjugates and betacyanins from cell cultures of *Beta vulgaris*. **Phytochemistry**, v. 30, n. 10, p. 3261-3265, 1991.

- 6 CONNORS, K. A. The stability of cyclodextrin complexes in solution. **Chem. Rev.**, v. 97, n. 5, p. 1325-1357, 1997.
- 7 CONSTANT, P. B. L.; STRINGUETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim do CEPPA**, v. 20, n. 2, p. 203-220, jul./dez. 2002.
- 8 CZAPSKI, J. Heat stability of betacyanins in red beet juice and in betanin solutions. **Lebensm. Unters. Forsch.**, v. 191, p. 275-278, 1990.
- 9 DANGLES, O. et al. Two very distinct types of anthocyanin complexation: copigmentation and inclusion. **Tetrahedron Letter**, v. 33, n. 36, p. 5227-5230, 1992.
- 10 DEL VALLE, E. M. M. Cyclodextrins and their uses: a review. **Process Biochemistry**, v. 39, p. 1033-1046, 2004.
- 11 DRDÁK, M. et al. Influence of water activity on the stability of betanine. **Lebensm. Unters. Forsch.**, v. 190, n. 2, p. 121-122, 1990.
- 12 DRUNKLER, D. A.; FETT, R.; LUIZ, M. T. B. Betalaínas extraídas da beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.). **Boletim da SBCTA**, v. 37, n. 1, p. 14-21, 2003.
- 13 DRUNKLER, D. A.; FETT, R.; LUIZ, M. T. B. Polímeros de ciclodextrina: características, formação de complexos de inclusão e aplicações industriais. **Boletim do CEPPA**, v. 17, n. 1, p. 21-32, 1999.
- 14 HAMBURG, A.; HAMBURG, A. The stability properties of red beet pigments: influence of pH, temperature and some stabilizers. **Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent**, v. 56, n. 4b, p. 1693-1695, 1991.
- 15 IRWING, P. L.; KING, G.; HICKS, K. B. Polymerized cyclomaltoheptose (β -cyclodextrin, β -CD_n) inclusion complex formation with chlorogenic acid: solvent effects on thermochemistry and enthalpy-entropy compensation. **Carbohydr. Res.**, v. 282, p. 65-79, 1996.
- 16 JACKMAN, R. L.; SMITH, J. L. Anthocyanins and betalains. In: HENDRY, G.A.F.; HOUGHTON, J.D. (ed). **Natural food colorant**. 4th ed. New York, USA: AVI, 1992. p. 183-241.
- 17 JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.
- 18 JUNQUERA, E.; AICART, E. Potentiometric study of the encapsulation

of ketoprophen by hydroxypropyl- β -cyclodextrin. Temperature, solvent, and salt effects. **J. Phys. Chem. B**, v. 101, n. 36, p. 7163-7171, 1997.

- 19 KOKKINO, A.; MAKEDONOPOULOU, S.; MENTZAFOS, D. The crystal structure of the 1:1 complex of β -cyclodextrin with *trans*-cinnamic acid. **Carbohydr. Res.**, v. 328, p. 135-140, 2000.
- 20 KUJALA, T. S. et al. Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*): distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. **J. Agric. Food Chem.**, v. 48, n. 11, p. 5338-5342, 2000.
- 21 LEWIS, C. E.; WALKER, J. R. L.; LANCASTER, J. E. Effect of polyssaccharides on the colour of anthocyanins. **Food Chem.**, v. 54, p. 315-319, 1995.
- 22 LI, S.; PURDY, W. C. Cyclodextrins and their applications in analytical chemistry. **Chem. Rev.**, v. 92, n. 6, p. 1447-1469, 1992.
- 23 LING, S. M. O.; PASSOS, M.; FONTANA, J. D. Bixin and alfa-cyclodextrin inclusion complex and stability tests. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 865-872, 2005.
- 24 MANSILLA, M. L. **Identificação e estudo de estabilização das antocianinas de capim napier (*Pennisetum purpureum*) por β -ciclodextrina**. Campinas, 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- 25 MARTÍN, L. et al. Detection and characterization of cyclodextrin complexes with beta-carbonile derivatives by spectroscopic techniques. **J. Pharm. Biomedical Analysis**, v. 32, p. 991-1001, 2003.
- 26 MARTINEZ, J.; GUEDES, M. C. Betalainas: desnitrificação e estudo da estabilidade em alimentos processados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 1998. p.1101-1104.
- 27 MEGARD, D. Stability of red beet pigments for use as food colorant: a review. **Foods & Food Ingred. J.**, v. 158, p. 130-150, 1993.
- 28 MEIER, M. M. **Estudo dos complexos de inclusão entre β - e γ -ciclodextrina com ácidos graxos cáprico e caprílico**. Florianópolis, 2000. 71 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal

de Santa Catarina,

- 29 MIYAKE, K. et al. Characterization of itraconazole/2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex in aqueous propylene glycol solution. **Int. J. Pharm.**, v. 179, p. 237-245, 1999.
- 30 O'BOYLE, A. R. et al. Encapsulated cured-meat pigment and its application in nitrite-free ham. **J. Food Sci.**, v. 57, n. 4, p. 807-812, 1992.
- 31 ORSTAIN, A.; WOJCIK, J. F. The effect of dimethyl sulfoxide on the kinetics of azo dye – cyclomalto-hexaose (α -cyclodextrin) inclusion complex formation. **Carbohydr. Res.**, v. 176, p. 149-154, 1988.
- 32 PÁTKAI, G.; BARTA, J. Decomposition of betacyanins and betaxanthins by heat and pH changes. **Die Nahrung**, v. 40, n. 5, p. 267-270, 1996.
- 33 PERLOVICH, G. L.; SKAR, M.; BAUER-BRANDL, A. Driving forces and the influence of the buffer composition on the complexation reaction between ibuprofen and HPCD. **Eur. J. Pharm. Sci.**, v. 20, n. 2, p. 197-200, Oct. 2003.
- 34 PROVENZI, G. **Estabilidade de enocianinas adicionadas de β - e γ -ciclodextrina e aplicação em iogurte e gelatina**. Florianópolis, 2001. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina.
- 35 REINECCIUS, T. A.; REINECCIUS, G. A.; PEPPARD, T. L. The effect of solvent interections on α -, β - and γ -cyclodextrin/flavor molecular inclusion complexes. **J. Agric. Food Chem.**, v. 53, n. 2, p. 388-392, 2005.
- 36 RISCH S.J. Encapsulation: overview of uses and techniques. In: RISH, S.J. (ed). **Encapsulation and controled release of food ingredients**. Washington: American Chemical Society, 1995. chap. 1, p. 2-7.
- 37 SAGUY, I. Thermostability of red beet pigments (betanine and vulgoxanthin-I): influence of pH and temperature. **J. Food Sci.**, v. 44, n. 8, p. 1554-1555, 1979.
- 38 SALGADO, S. M. A. **Estudo da estabilidade da betalaína extraída da beterraba**. Viçosa, 1997. 48 p. Dissertação (Mestrado em *Magister Scientiae*), Universidade Federal de Viçosa.

- 39 STATSOFT Inc. **Statistica for windows**: release 5.1. Tulsa, USA, 1998.
- 40 SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-447, 1993.
- 41 SINGH, M.; SHARMA, R.; BANERJEE, U. C. Biotechnological applications of cyclodextrins. **Biotechnol. Adv.**, v. 20, p. 341-359, 2002.
- 42 STIMTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, foods, and in human nutrition. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 19-38, 2004.
- 43 STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, v. 62, p. 247-269, 2003.
- 44 TØNNENSEN, H. H.; MÁSSON, M.; LOFTSSON, T. Studies of curcumin and curcuminoids. XXVII Cyclodextrin complexation: solubility, chemical and photochemical stability. **Int. J. Pharm.**, v. 244, p. 127-135, 2002.
- 45 TAWARA, K. M.; KHOURI, S. J. An equilibrium study of *p*-methyl red inclusion complexes with α - and β -cyclodextrins. **Carbohydr. Res.**, v. 245, p. 165-173, 1993.
- 46 TAWARA, K. M.; KHOURI, S. J. Determination of the stability and stoichiometry of *p*-methyl red inclusion complexes with γ -cyclodextrin. **Dyes and Pigments**, v. 45, p. 229-233, 2000.
- 47 UKAI, N. et al. The water-solubilization and stabilization of lycopene by cyclodextrin and addition of protein. **J. Japanese Soc. Food Sci. Technol.**, v. 43, n. 3, p. 247-250, 1996.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa à primeira autora, ao Centro de Treinamento da EPAGRI (CETRE) de Florianópolis pela doação da beterraba e à Cerestar, Inc. pela doação das ciclodextrinas.