

ALBANO SALUSTIANO PEREIRA

**TEORES DE CAROTENÓIDES EM CENOURA (*Daucus carota* L.) E SUA  
RELAÇÃO COM A COLORAÇÃO DAS RAÍZES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436t  
2002

Pereira, Albano Salustiano, 1952-  
Teores de carotenóides em cenoura (*Daucus Carota* L.)  
e sua relação com a coloração das raízes / Albano Salusti-  
ano Pereira .– Viçosa : UFV, 2002.  
128p. : il.

Orientador: Paulo César Stringheta  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Cenoura - Carotenóides - Análise. 2. Cenoura - Teor  
de carotenóides. 3. Carotenóides - Métodos de determina-  
ção. 4. Cenoura - Colorimetria. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 664.807

CDD 20.ed. 664.807

ALBANO SALUSTIANO PEREIRA

**TEORES DE CAROTENÓIDES EM CENOURA (*Daucus carota* L.) E SUA  
RELAÇÃO COM A COLORAÇÃO DAS RAÍZES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 14 de fevereiro de 2002.

---

Dr. Jairo Vidal Vieira

---

Prof. Cosme Damião Cruz  
(conselheiro)

---

Profa. Helena Maria Pinheiro Sant'Ana  
(conselheiro)

---

Prof. José Carlos Gomes

---

Prof. Paulo César Stringheta  
(Orientador)

A Sônia Maria, pelo amor e carinho que nos une.  
A Veronica e ao Vitor Afonso, razão maior de nossa luta.  
A Martinha Maria, querida tia.  
Ao Prof. Dílson Teixeira Coelho, *in memoriam*.

“Vários nascimentos são necessários numa vida humana, e é bem provável que,  
mesmo assim, nunca se chegue completamente ao mundo”.

Heidegger

## **AGRADECIMENTOS**

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo aporte e auxílio financeiro durante a realização do curso.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Tecnologia de alimentos, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Paulo César Stringheta, pela orientação, pela amizade, incentivo e companheirismo constantes.

Ao Dr. Jairo Vidal Vieira, pela preciosa colaboração, pelo incentivo e apoio constantes.

Ao Professor Cosme Damião Cruz, pela preciosa contribuição nas análises estatísticas e sugestões apresentadas.

À Professora Helena Maria Pinheiro Santana, pela amizade e sugestões apresentadas.

Ao Professor Maurílio Alves Moreira, pela sua grandeza humana.

À Patrícia Silva Rischtel, pela feliz idéia.

Ao acadêmico do curso de Engenharia de alimentos Leonardo Vieira Pontes, com cuja colaboração tornou-se possível a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Tecnologia de alimentos, pelos ensinamentos durante a realização do curso.

À “Dona Lígia Santana”, com reconhecimento, pelas cobranças, pelos incentivos constantes, pelo carinho e convívio feliz.

Ao Valério Polleto, pela colaboração durante a realização dos experimentos.

Aos amigos da EMBRAPA, José Hemétrio de Menezes, Luiz Alberto Rios Guirau e Washington Luiz Carvalho e Silva, sem distinção.

Aos funcionários do Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, especialmente ao João Lopes, Assis, Antônio, Cícero e Zé Martins, pelo carinho na condução dos experimentos no campo.

Aos colegas de curso, Elizabeth Adriana Esteves, Hércia Stampini Duarte, Juliano Daniel Perin, Karla Silva Ferreira, Luciana Azevedo, Marco Antônio Moreira Furtado, Onofre Maurício de Moura, Patrícia Beltrão Lessa Constante e Robert Taylor Rocha Bezerra, pela amizade e companheirismo.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Albano Salustiano Pereira, filho de Afrânio Salustiano Pereira Sobrinho e Celeste Oliveira Pereira, nasceu em 09 de Fevereiro de 1952, em Paracatu, Estado de Minas Gerais.

Iniciou seus estudos básicos em Paracatu, Minas Gerais, e os completou em Brasília, Distrito Federal. Em julho de 1980 diplomou-se Engenheiro de Alimentos e em julho de 1984 obteve o Título de *Magister Scientiae* em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa.

No período de março a novembro de 1984 atuou como bolsista na Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária (EMBRAPA), em Brasília, DF. Em dezembro de 1984 foi contratado para atuar como pesquisador nesta instituição.

Atuou como pesquisador no Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças da EMBRAPA, de dezembro de 1984 a Janeiro de 2001.

Em março de 1996 iniciou o curso de Doutorado em Ciência e Tecnologia de alimentos na Universidade Federal de Viçosa.

Atualmente atua como Coordenador do curso de Engenharia de Alimentos da Faculdade da Terra de Brasília \_FTB.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1. ANÁLISE DE COR.....	05
2.1.1. Desenvolvimento dos Sistemas de Cor.....	07
2.1.2. Colorímetros Especializados.....	12
2.1.3. Apresentação das Amostras.....	16
2.1.4. Interpretação dos Dados.....	18
2.1.5. Medição da Cor como um Instrumento Analítico.....	19
2.2. PIGMENTOS CAROTENÓIDES.....	22
2.2.1. Características Gerais dos Carotenóides.....	22

2.2.2. Biossíntese dos Carotenóides.....	25
2.2.3. Função dos Carotenóides nos Alimentos.....	27
2.2.4. Efeito do Processamento nos Carotenóides.....	29
2.2.5. Metodologia para Determinação dos Carotenóides.....	32
2.2.6. Ocorrência de Carotenóides em Cenouras.....	36
2.3. COLORAÇÃO DE RAÍZES DE CENOURA.....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1. MATÉRIA-PRIMA E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	42
3.2. CONDIÇÕES DE PLANTIO E COLHEITA .....	44
3.3. ANÁLISE DE COR.....	44
3.4. DETERMINAÇÃO DE CAROTENÓIDES.....	45
3.4.1. Extração dos Carotenóides.....	45
3.4.2. Determinação de Carotenóides Totais por Espectrofotometria.....	45
3.4.3. Determinação do $\beta$ -Caroteno por <b>CLAE</b> .....	46
3.4.3.1. Concentração das Amostras.....	47
3.4.3.2 Preparo da Curva Padrão e Quantificação do Padrão .....	47
3.4.3.3 Condições Cromatográficas.....	47
3.4.3.4 Quantificação de $\beta$ -Caroteno.....	48
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1. ANÁLISE DE CAROTENÓIDES EM RAÍZES DE CENOURA .....	50
4.1.1. Análise de Carotenóides Totais por Espectrofotometria.....	50
4.1.2. Análise de $\beta$ -Caroteno por <b>CLAE</b> .....	53
4.1.2.1 Quantificação do Padrão de $\beta$ -Caroteno.....	58

4.1.2.2. Curvas-Padrão para Quantificação de $\beta$ -Caroteno.....	58
4. 2. EFEITO DA ÉPOCA DE COLHEITA NOS TEORES DE CAROTENÓIDES.....	60
4.3. ANÁLISE DE COR EM RAÍZES DE CENOURA.....	69
4.3.1. Medidas no Sistema Hunter.....	69
4.3.1.1. Valores para Luminosidade (L) .....	69
4.3.1.2. Valores para Vermelho (a).....	71
4.3.1.3. Valores para Amarelo (b).....	73
4.3.1.4. Valores para Saturação (Ch).....	75
4.3.1.5. Valores para Tonalidade (H).....	77
4.3.2. Medidas no Sistema Cielab.....	79
4.3.2.1. Valores para Luminosidade (L*).....	79
4.3.2.2. Valores para Vermelho (a*).....	81
4.3.2.3. Valores para Amarelo (b*).....	83
4.3.2.4. Valores para Saturação (Ch*) .....	85
4.3.2.5. Valores Para Tonalidade (H*).....	87
4. 4. ESTIMATIVA DOS TEORES DE CAROTENÓIDES EM FUNÇÃO DAS MEDIDAS DE COR.....	89
4.4.1. Cenouras Colhidas aos 60 Dias.....	89
4.4.2. Cenouras Colhidas aos 80 Dias.....	95
4.4.3. Cenouras Colhidas aos 100 Dias.....	101
4.4.4. Cenouras Colhidas aos 120 Dias.....	106
5. CONCLUSÕES.....	113
6.BIBLIOGRAFIA.....	116

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Atividade vitamínica A e ocorrência de alguns carotenóides.....	24
2	Coeficientes de extinção molar ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) e comprimentos de onda de máxima absorção ( $\lambda$ máx) de alguns carotenóides.....	34
3	Resumo da análise de variância com aplicação do teste F, para os teores de carotenóides totais em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.....	50
4	Médias dos teores de carotenóides totais em mcg/g, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.....	51
5	Resumo da análise de variância com aplicação do teste F, para os teores de $\beta$ -caroteno em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.....	53
6	Médias dos teores de $\beta$ -caroteno em mcg/g, determinados por <b>CLAE</b> , em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.....	54

7	Estimativa de Correlação de Spearman entre teores de carotenóides totais obtidos em diferentes épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.....	57
8	Estimativa de Correlação de Spearman entre teores de $\beta$ -caroteno obtidos em diferentes épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.....	57
9	Valores médios encontrados para concentração (mcg/g) e grau de pureza de um padrão de $\beta$ -caroteno.....	58
10	Resumo da análise de variância baseado na decomposição da soma de quadrados época/cultivares dos valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , para épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.....	61
11	Resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau dos valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, para épocas de colheita dentro de cada cultivar.....	62
12	Resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau dos valores de $\beta$ -caroteno, determinados por <b>CLAE</b> , para época de colheita dentro de cada cultivar.....	63
13	Equações de regressões polinomiais ajustadas para época de colheita, para valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	64
14	Equações de regressões polinomiais ajustadas para época de colheita, para valores de $\beta$ -caroteno, determinados por <b>CLAE</b> , em 14 cultivares de cenoura colhidos aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	65
15	Valores mínimos e máximos para carotenóides, em mcg/g, e respectivas épocas de colheita, estimados a partir das equações de regressão, em 14 cultivares de cenoura.....	66

16	Resumo da análise de variância dos valores <b>L</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	69
17	Valores <b>L</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	70
18	Resumo da análise de variância dos valores <b>a</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	71
19	Valores <b>a</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	72
20	Resumo da análise de variância dos valores <b>b</b> , sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	73
21	Valores <b>b</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	74
22	Resumo da análise de variância dos valores <b>Ch</b> , sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	75
23	Valores <b>Ch</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	76
24	Resumo da análise de variância dos valores <b>H</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	77
25	Valores <b>H</b> , sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	78
26	Resumo da análise de variância dos valores <b>L*</b> , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias....	79
27	Valores <b>L*</b> , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	80

28	Resumo da análise de variância dos valores <b>L*</b> , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias....	81
29	Valores <b>a*</b> , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	82
30	Resumo da análise de variância dos valores <b>b*</b> , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias....	83
31	Valores <b>b*</b> , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	84
32	Resumo da análise de variância dos valores <b>Ch*</b> , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	85
33	Valores <b>Ch*</b> , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	86
34	Resumo da análise de variância dos valores de <b>H*</b> , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	87
35	Valores <b>H*</b> , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.....	88
36	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L, a, b, Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	90
37	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno, obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L, a, b, Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	91

38	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	92
39	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno, obtidos por CLAE, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	93
40	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	96
41	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	97
42	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	98
43	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	99
44	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	102
45	Equações de regressão polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de e $\beta$ -caroteno, obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	103

46	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	105
47	Equações de regressão polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno, obtidos _CLAE, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	106
48	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	108
49	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L</b> , <b>a</b> , <b>b</b> , <b>Ch</b> e <b>H</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	109
50	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	110
51	Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de $\beta$ -caroteno, obtidos por <b>CLAE</b> , com os valores <b>L*</b> , <b>a*</b> , <b>b*</b> , <b>Ch*</b> e <b>H*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Diagrama mostrando três projetores focalizados na metade superior de um círculo na tela.....	09
2	Diagrama mostrando as posições relativas no espaço dos estímulos rgb e xyz.....	10
3	Cores plotadas num triângulo vermelho, verde, azu.....	10
4	Relação das curvas do observador padrão entre a resposta do olho humano, definida como as curvas do observador padrão $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ , e o espectro visível.....	11
5	As cores do espectro plotadas nas coordenadas x, y.....	12
6	Componentes essenciais de um colorímetro de triestímulos.....	13
7	Sólido de cor de Judd-Hunter .....	14
8	Diagrama mostrando a interação de uma fonte de luz com uma amostra para produzir um sinal.....	17
9	Estrutura beta ionona de alguns carotenóides.....	23

10	Síntese dos estágios da biossíntese dos carotenóides.....	26
11	Esquema simplificado da degradação do $\beta$ -caroteno.....	30
12	Estruturas dos Carotenóides mais Comuns nas Cenouras.....	38
13	Relação entre a concentração de $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 60 dias.....	59
14	Relação entre a concentração de $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 80 dias.....	59
15	Relação entre a concentração de $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 100 dias.....	60
16	Relação entre a concentração de $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de $\beta$ -caroteno cenoura colhida aos 120 dias.....	60
17	Valores médios para carotenóides totais estimados em 14 cultivares de cenoura, em função da época de colheita, (modelo cúbico).....	68
18	Valores médios para $\beta$ -caroteno estimados em 14 cultivares de cenoura, em função da época de colheita, (modelo cúbico) .....	68
19	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	94
20	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.....	94

21	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ - caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	100
22	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ - caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.....	100
23	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	104
24	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.....	104
25	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	112
26	Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e $\beta$ -caroteno por <b>CLAE</b> , em função dos valores de <b>a*</b> de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.....	112

## RESUMO

PEREIRA, Albano Salustiano , D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Teores de Carotenóides em Cenoura (*Daucus carota* L.) e sua Relação com a Coloração das Raízes**. Orientador: Paulo César Stringheta. Conselheiros: Cosme Damião Cruz e Helena Maria Pinheiro Sant'Ana.

O presente trabalho teve por objetivo, determinar, por espectrofotometria e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio e correlacionar esses valores com as medidas de cor **L, a, b, Ch, H** do sistema Hunter e **L\*, a\*, b\*, Ch\*, H\*** do sistema CIELAB

Foram utilizadas as cultivares comerciais Kuroda, Alvorada, Tropical, Carandaí, Brasília ISLA, Brazlândia, Brasília CNPH, Brasília HORTEC, Brasília Alta Seleção, Nantes e Brasília Raiz Longa, e três populações pertencentes a Embrapa Hortaliças: 971272, 931177 e RGS coletada no Rio Grande do Sul. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com 4 repetições. O tamanho de parcela foi de 8,0 m<sup>2</sup> com espaçamento entre linhas de 20 cm e espaçamento entre plantas de 5 cm. A adubação empregada foi de 150 gramas por metro quadrado da formulação comercial 4-30-16. Durante a condução do ensaio, não foram efetuadas pulverizações para controle de doenças e pragas.

Todas as extrações dos pigmentos carotenóides foram realizadas no escuro em acetona resfriada e posteriormente transferidos para éter de petróleo. As determinações dos teores de carotenóides totais foram feitas por espectrofotometria com leituras a 449 nm e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta **CLAE**, em uma coluna cromatográfica LiChrospher 100 RP-18 (5 micra), marca Merck, com 250 mm de comprimento e 4 mm de diâmetro interno; com detecção a 470 nm; fase móvel (metanol, acetonitrila: acetato de etila) 80:10:10.

Para as medidas da cor utilizou-se o colorímetro de triestímulos COLOR QUEST II e o software Universe da Hunterlab, Reston, VA., sob o iluminante D e leitura por reflexão a  $10^0$ , grau de observação. Com as leituras obtidas foram calculados os valores de saturação da cor,  $CH = (a^2 + b^2)^{1/2}$  e a tonalidade ou nuance,  $H = [\text{tg}^{-1} (-a/b) + 90^0]$ .

Ocorreram diferenças significativas para os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno entre as cultivares, os menores teores para todas as cultivares foram observados no sexagésimo dia de colheita e os maiores no centésimo. A cultivar Nova Kuroda apresentou, em relação às outras, em todas as épocas de colheita e nas duas metodologias utilizadas os mais altos teores e a cultivar Brasília Raiz Longa os mais baixos.

Os teores de carotenóides totais, em mcg/g, observados para a cultivar Nova Kuroda, 47,84; 76,24; 117,95 e 111,89 aos 60; 80; 100 e 120 dias, respectivamente, não diferiram significativamente daqueles encontrados para a cultivar Alvorada, 46,65 ; 70,91; 115,39 e 110,13 nas mesmas épocas de colheita praticadas.

As análises de regressão polinomial até terceiro grau dos teores de carotenóides totais para período de colheita dentro de cada cultivar, foram significativas ao nível de 1% de probabilidade, mostrando que a relação cúbica foi a que melhor explicou o comportamento para os carotenóides nas épocas de colheita praticadas, aumentando até atingirem um ponto de máximo, decrescendo a partir daí. A semelhança entre as curvas, para todas as cultivares, é um indicativo de que o processo biossintético dos carotenóides em cenouras, segue um padrão definido e uniforme, independente da cultivar.

Os resultados para a predição dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno em função das medidas de cor, mostraram que os valores **L**, **b**, **L\*** e **b\*** não foram adequados tanto nos modelos polinomiais como nos múltiplos. Os valores **Ch**, **H**, **Ch\*** e **H\*** possibilitaram estimativas melhores em ambos os casos, mas também foram considerados não adequados em virtude das estimativas obtidas com os valores de **a** e **a\***. As melhores estimativas foram obtidas com os modelos polinomiais em função de **a** e **a\***, optando-se pelo modelo quadrático para as épocas de colheita de 60, 80, e 100 dias e pelo modelo linear aos 120 dias.

As equações para se estimar o teor de carotenóides totais em função das medidas **a** e **a\***, foram aos 60, 80, 100 e 120, respectivamente:

$$y = -437,6780 + 47,2829 a - 1,1508 a^2;$$

$$y = -612,9030 + 54,1066 a - 1,0633 a^2;$$

$$y = -691,5210 + 49,8041 a - 0,7468 a^2;$$

$$y = -170,0610 + 10,4689 a;$$

$$y = -438,2550 + 40,2240 a^* - 0,8319 a^{*2};$$

$$y = -613,3420 + 46,0023 a^* - 0,7682 a^{*2};$$

$$y = -691,5480 + 42,3166 a^* - 0,5507 a^{*2};$$

$$y = -170,2000 + 8,8994 a^*.$$

Os coeficientes de determinação  $R^2$  das equações ajustadas mostram que os valores de **a** do sistema Hunter e **a\*** do sistema CIELAB explicam satisfatoriamente as variações nas concentrações de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno em todas as épocas de colheita e entre as cultivares estudadas. Este fato indica que as metodologias usadas para quantificar carotenóides, método espectrofotométrico e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, poderão perfeitamente serem substituídas pelo método colorimétrico, de rápida e fácil execução, não necessitando da extração dos pigmentos. Desta forma nos estudos que necessitam de um número excessivo de análises de carotenóides, a exemplo de programas de melhoramento de cenoura, pode-se substituir com segurança os métodos espectrofotométricos e cromatográficos pela análise colorimétrica, utilizando o sistema Hunter ou CIELAB, especificamente, os valores de **a** ou **a\***.

## ABSTRACT

PEREIRA, Albano Salustiano, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2002. **Quantity of Carotenoids in Carrot (*Daucus carota* L.) and its Relationship with the Coloration of the Roots.** Adviser: Paulo César Stringheta. Committee members: Cosme Damião Cruz and Helena Maria Pinheiro Sant'Ana.

The present work has had as a main objective to determine, by spectrophotometer and High Performance Liquid Chromatography **HPLC**, the levels of total carotenoids and  $\beta$ -carotene in 14 carrot cultivars harvested at 60, 80, 100 and 120 days after seeding and to correlate those values with the color measures **L**, **a**, **b**, **Ch**, **H** from the Hunter System and **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\***, **H\*** from the CIELAB System.

The commercial cultivars used were: Kuroda, Alvorada, Tropical, Carandaí, Brasília ISLA, Brazlândia, Brasília CNPH, Brasília HORTEC, Brasília Alta Seleção, Nantes and Brasília Raiz Longa, and three populations belonging to Embrapa Hortaliças: 971272, 931177 and RGS collected in Rio Grande do Sul. The description used was in blocks with 4 repetitions at random. The portion size was of 8,0 m<sup>2</sup> with spacing between lines of 20 cm and spacing among plants of 5 cm. The fertilizer used it was of 150 grams per square meter of commercial formulation 4-30-16. During the carrying out of the experiment, pulverizations were not made to control of diseases and pests.

All the extractions of the carotenoid pigments were carried out in the darkness in cooled acetone and later transferred to petrol ether. The determinations of the levels of total carotenoids were made by spectrophotometer with readings to 449 nm and  $\beta$ -carotene for **HPLC**, in a column chromatographic LiChrospher 100 RP-18 (5 micra), its make is Merck, 250 mm in length and 4 mm in internal diameter by detecting a 470 nm movable phase (methanol : acetonitrile : etil acetate) 80 :10 :10.

For color measures COLOR QUEST II calorimeter and Universe software (Hunter Lab, Reston, VA.) was used, under D lightness by  $10^0$  lecture. Color saturation values were calculated using  $CH = (a^2 + b^2)^{1/2}$  and nuances using  $H = [\text{tg}^{-1} (-a/b) + 90^0]$ .

There were significant differences in the levels of total carotenoids and  $\beta$ -carotene among the cultivars. The smallest levels for all cultivars, were observed on the sixtieth day of growth and the largest on the hundredth. The Nova Kuroda cultivars presented in relation to the other ones, in all the growth times and using two methodologies, the highest levels and the Brasília Raiz Longa cultivars, the lowest.

The levels of total carotenoids in mcg/g observed for the Nova Kuroda cultivars, 47,84; 76,24; 117,95 and 111,89 to the 60; 80; 100 and 120 days, respectively, didn't differ significantly from those found for the Alvorada cultivars, 46,65; 70,91; 115,39 and 110,13 in the same growth times.

The analyses of polynomial regression to the third degree of the levels of total carotenoids for the growth period inside of each cultivars, were significant at the level of 1% of probability, showing that the cubic relationship was what best explained the behavior for the carotenoids in the growth times practiced, increasing until they reach a maximum point, decreasing since then. The likeness among the curves for all cultivars is sign that the biosynthetic process of the carotenoids in carrots, follows a defined and uniform pattern, regardless of cultivars.

The results for the prediction of the levels of total carotenoids and  $\beta$ -carotene in function of the color measures, showed that the values **L**, **b**, **L\*** and **b\*** were not so appropriate in the polynomial models as they were in the multiple ones. The values **Ch**, **H**, **Ch\*** and **H\*** made possible better estimates in both cases, but they were also considered inappropriate by virtue of the estimates obtained with the values of **a** and **a\***. The best estimates were obtained with the polynomial models in function of **a** and **a\***, being opted for the quadratic model for the growth times of 60, 80, and 100 days and for the lineal model for 120 days.

The equations to be considered the levels of total carotenoids in function of the measures **a** and **a\***, they went to 60, 80, 100 and 120, respectively:

$$y = -437,6780 + 47,2829 a - 1,1508 a^2;$$

$$y = -612,9030 + 54,1066 a - 1,0633 a^2;$$

$$y = -691,5210 + 49,8041 a - 0,7468 a^2;$$

$$y = -170,0610 + 10,4689 a;$$

$$y = -438,2550 + 40,2240 a^* - 0,8319 a^{*2};$$

$$y = -613,3420 + 46,0023 a^* - 0,7682 a^{*2};$$

$$y = -691,5480 + 42,3166 a^* - 0,5507 a^{*2};$$

$$y = -170,2000 + 8,8994 a^*.$$

The determination coefficients R<sup>2</sup> of the adjusted equations show that the values of the **a** of the Hunter system and **a\*** of the CIELAB system explain the variations satisfactorily in the concentrations of total carotenoids and β-carotene in all the growth times and among the cultivars studied. This fact indicates that the methodologies used to quantify carotenoids, spectrophotometer and **HPLC** methods, they will be perfectly able to be substituted by the colorimeter method, of fast and easy execution, the extraction of the pigments being unnecessary. In this way, in the studies that need an excessive number of carotenoid analyses, for example, carrot improvement programs, the spectrophotometer and chromatographic methods can be substituted with safety by colorimetric analyses, using the Hunter or CIELAB system, specifically, the values of **a** or **a\***.

## 1 – INTRODUÇÃO

Os carotenóides referem-se a um grupo de substâncias de cor variável entre o amarelo e o vermelho escuro, largamente distribuídos no reino vegetal e animal. Estão entre os mais importantes pigmentos naturais e juntamente com as clorofilas são encontrados em todos os pigmentos fotossintéticos (BRITTON 1991, 1992, 1993a e 1993b).

Uma das características mais importantes dos carotenóides é sua função fisiológica de precursor de vitamina A para os animais (ALMEIDA-MURADIAN, 1991). Outras funções fisiológicas, tais como: prevenção de determinados tipos de câncer, ação inibidora nas mucosas contra úlceras gástricas, capacidade de prevenir a fotossensibilização em certas doenças de pele, aumento da resposta imunológica a determinados tipos de infecção, propriedades antienvhecimento, vêm despertando interesse contínuo e são atribuídas aos carotenóides (SANT'ANA, 1995).

Dos carotenóides atualmente conhecidos estima-se que cerca de 50 atuam como precursores de vitamina A. Porém, destes somente o  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno,  $\gamma$ -caroteno,  $\beta$ -zeacaroteno e  $\beta$ -criptoxantina são comuns em frutas e vegetais (ALMEIDA-MURADIAN, 1991). Estima-se que a vitamina A procedente dos vegetais constitui a maior fonte desta vitamina na dieta humana em cerca de 82% para países em desenvolvimento, 68% no mundo e cerca de 30-50% para os países desenvolvidos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989, 1993a e 1993b).

A cultura da cenoura apresenta grande variabilidade com respeito à coloração de raízes, apresentando raízes de coloração variando do branco ao roxo. A definição da cor está relacionada com a presença de diversos pigmentos carotenóides e com o balanço entre eles (SIMON et al., 1989). UMIEL & GABELMAN (1971) identificaram como principais pigmentos da cenoura de cor laranja o  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, zeta-caroteno e fitoeno. SIMON & WOLFF (1987) confirmaram que o  $\beta$ -caroteno é o principal pigmento de raízes de cenoura de coloração alaranjada e calcularam que corresponde até 90% dos carotenóides totais,  $\alpha$ -caroteno é o segundo pigmento mais importante, variando entre 10 e 30%. A fração restante corresponde a outros carotenóides, entre eles,  $\gamma$ -caroteno, zeta-caroteno, beta-zeacaroteno e licopeno.

A intensidade de cor alaranjada das raízes de cenoura está relacionada de maneira positiva com o conteúdo de carotenóides. Entretanto, a possibilidade de se adotar a cor de raízes como critério indireto para seleção visando maior conteúdo de caroteno é questionável, já que a cor é uma característica de difícil avaliação visual (MARTENS et al., 1979).

A avaliação visual é um procedimento utilizado em populações segregantes para alelos que determinam coloração laranja pálida, amarela ou branca, ou seja, populações que apresentem raízes com menos de 50 mcg/g de carotenóides (LAFERRIERI & GABELMAN, 1968). PETERSON & SIMON (1986), ressaltaram que a seleção visual pode ser adequada para elevar o conteúdo de carotenóides até o nível de 120 ppm. A seleção para conteúdo de carotenóides acima deste patamar deve ser baseada na determinação química dos pigmentos.

A classificação visual da cor normalmente é realizada fazendo-se um corte em “bixel” na parte mediana da raiz e avaliando-se a intensidade e as diferenças entre as cores do floema e do xilema. O método é eficiente em termos de tempo, embora seja pouco preciso.

As avaliações químicas que consistem na extração, caracterização e quantificação dos pigmentos carotenóides, especialmente a análise espectrofotométrica e a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, são bastante precisas, mas extremamente caras e demandam tempo excessivamente longo, em razão da conhecida instabilidade dos carotenóides (BRITTON, 1991 e 1992).

Precauções rígidas devem ser tomadas rotineiramente no laboratório, para evitar perda de material ou mudanças estruturais. Todos os procedimentos que inevitavelmente introduzem riscos de oxidação, isomerização ou degradação enzimática devem ser efetuados o mais rapidamente possível (RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

A análise por espectrofotometria, normalmente usada para a determinação quantitativa dos carotenóides, depende de um coeficiente de absorvidade molar ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) específico. Quando nenhum valor experimental é atribuído para um composto desconhecido, toma-se um valor arbitrário de 2500, de modo que os teores de carotenóides podem ser facilmente subestimados gerando dúvidas sobre a precisão de alguns dos valores publicados (BRITTON, 1992)

A Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** é considerada o método mais avançado para determinação individual dos carotenóides. Esta técnica é considerada simples, acurada, eficiente na separação, sensível e reproduzível para análise de misturas complexas de carotenóides, além de permitir menor exposição ao oxigênio, luz e solventes (BUSHWAY, 1986; RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; CLYDESDALE et al., 1991; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

O grande problema de utilização da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** é a dificuldade de se obter padrões analíticos confiáveis, pela facilidade com que estes sofrem degradação (CARVALHO, 1992). QUACKENBUSH e SMALLIDGE (1986) encontraram uma variação de 0,6 a 88,7% de pureza em padrões  $\beta$ -caroteno de seis distribuidores mais importantes no Brasil.

Os métodos instrumentais, para medição de cor são baseados na espectrofotometria de transmissão ou de reflexão. Um sistema simples para se entender como o olho humano percebe a cor, é utilizar três projetores simultâneos com filtros de cores: vermelho (R), verde (G) e azul (B). O espectro radiante desta combinação é percebido pelo olho humano como uma só cor. Um outro projetor com filtro de cor desconhecida é também projetado de modo a poder ser comparada com a anterior. As quantidades de energia de cada luz (R, G e B), requerida para alcançar a cor desconhecida são chamadas valores de triestímulos (ALMEIDA-MURADIAN, 1991). Pode-se pensar em X como vermelho, Y como verde e Z como azul. Se tomarmos as cores: vermelho, verde e azul, transformá-las nas coordenadas X, Y e Z e plotarmos a resposta dos cones humanos versus o

comprimento de onda, teremos a resposta do olho humano à cor. Essas curvas foram padronizadas em 1932 e foram chamadas curvas do observador padrão x, y, z da CIE (Commission International de l'Eclairage). A definição das curvas do observador padrão levou ao desenvolvimento do colorímetro que simulou a resposta do olho humano (FRANCIS & CLYDESDALE, 1975).

Vários sistemas de cor foram sugeridos para incorporar estes instrumentos. No entanto, dois sistemas tiveram prioridade: o de Judd-Hunter que representa um sólido de cor onde **L** representa a luminosidade, **+a** o vermelho, **-a** o verde, **+b** o amarelo e **-b** o azul. Um segundo, com a mesma representação, sistema é o CIELAB com os parâmetros **L\***, **a\*** e **b\*** (KRAMER & TWIGG, 1986).

A medida de cor pode ser utilizada como uma maneira indireta da análise de componentes coloridos de um alimento, uma vez que é mais simples e mais rápida que a análise química. Uma das primeiras tentativas para substituir a análise química pela colorimétrica foi à determinação de  $\beta$ -caroteno em batata-doce (FRANCIS, 1983; FRANCIS, 1987).

No presente estudo objetivou-se:

- a) Determinar, por espectrofotometria o teor carotenóides totais e por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** o teor de  $\beta$ -caroteno em 14 cultivares de cenoura, colhidos aos 60, 80, 100 e 120 dias.
- b) Medição da cor de 14 genótipos de cenoura, colhida aos 60, 80, 100 e 120 dias, nos sistemas de Hunter e CIELAB.
- c) Relacionar os valores **L**, **a**, **b**, **Ch**, e **H** do sistema Hunter e os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\***, e **H\*** do sistema CIELAB, com os valores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria e os de  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. ANÁLISE DE COR**

Os três principais aspectos para aceitação dos alimentos são a cor, o sabor e a textura. Muitos estudiosos acreditam que a cor é mais importante porque se um produto não tem boa aparência, pode ocorrer que o consumidor nunca julgará os outros dois aspectos. Todavia, a cor é um dos muitos aspectos da aparência, tais como o brilho, o tamanho das partículas, o estado físico, a iluminação, etc., mas, ela pode muito bem ser a mais importante (CLYDESDALE, 1993 e FRANCIS, 1998a).

Os dados de julgamento da cor remontam à Antigüidade em razão do óbvio impacto de objetos e cenas coloridas na história. A importância psicológica da cor levou ao desenvolvimento de muitos sistemas visuais de caracterização da cor. Com o desenvolvimento das ciências da física e eletrônica, tornou-se possível desenvolver instrumentação para duplicar as respostas de cor do olho humano. Pesquisas em fisiologia da cor demonstraram que o olho humano poderia, teoricamente, diferenciar entre 10.000.000 de cores (FRANCIS, 1998a).

O desenvolvimento da eletrônica tornou possível desenvolver uma ampla exibição de cores. Por exemplo, os “designers” da moda têm métodos sofisticados para reconstruir e retocar as fotografias. Para os aspectos da cor apenas, eles podem gerar um total teórico de 16.000.000 cores. Mas, obviamente, muitas destas estão abaixo do limiar de discriminação visual do olho humano (FRANCIS, 1998b).

A cor não é um atributo físico, como um ponto de fusão ou tamanho de partícula. Conforme vista pelo olho, a cor é uma interpretação, pelo cérebro, do

caráter da luz proveniente de um objeto. É possível definir a cor num sentido puramente físico, em termos dos atributos físicos do alimento, mas esta aproximação tem sérias limitações quando se tenta usar a medição da cor como uma pesquisa ou instrumento de controle de qualidade em processamento de alimentos ou comercialização. Uma aproximação mais satisfatória consiste em definir a cor num sentido físico tão objetivamente quanto possível e interpretar a maneira de como os olhos vêem a cor (BOYNTON, 1979).

A medição da cor nos alimentos, atualmente, é um procedimento desenvolvido e pode-se facilmente medir a cor de quase todas as coisas. É possível estimar, rigorosamente, os estímulos físicos recebidos pelo olho humano, porém, infelizmente, isto não é verdadeiro para as reações fisiológicas. Os estímulos iniciais pelos quais o olho humano percebe a cor foram bem descritos e documentados pela literatura (WRIGHT, 1971; HUTCHINGS, 1994; FRANCIS, 1998a).

O olho tem dois tipos de células sensíveis na retina, os bastonetes e os cones. Os bastonetes são sensíveis à claridade e escuridão, e os cones à cor. Há três tipos de cones dentro da retina, um sensível ao vermelho, outro ao verde, e o terceiro ao azul. Há cem anos, sabe-se que deveriam ser três tipos, mas, somente recentemente foi possível demonstrar anatomicamente. Mais recentemente ainda, pelo menos nove genes foram demonstrados controlar a formação dos cones e dois produzem cones ligeiramente diferentes sensíveis ao vermelho; portanto, é provável que os indivíduos difiram pelo modo com que eles vêem a cor (BOYNTON, 1979).

As diferenças entre os indivíduos são muito pequenas, tanto que, em 1931, um grupo internacional denominado “Commission Internationale d’Eclairage” (CIE) conseguiu definir um “observador padrão”. Essencialmente, ele representa a resposta média de 92% da população com visão de cor normal. As variações nas respostas individuais são acentuadamente pequenas em vista da variação nas respostas individuais de gosto e odor (FRANCIS, 1998a).

Os cones enviam um sinal para o cérebro, que estabelece uma resposta em termos de pares opostos. Um par é verde-vermelho, e o outro é amarelo-azul. Esta é a razão pela qual há indivíduos que são cegos para a cor verde-vermelho ou amarelo-azul e há indivíduos cegos para a cor verde-azul ou amarelo-vermelho (BOYNTON, 1979).

A interpretação dos sinais no cérebro é um fenômeno muito complexo e é influenciada por uma variedade de aspectos psicológicos. Um desses aspectos é a

constância da cor, pois, uma folha de papel branco parece branca à luz brilhante do sol e também quando ela está sob as folhas verdes de uma árvore. Em cada caso, os estímulos físicos são obviamente bastante diferentes, mas o cérebro sabe que o papel deve ser branco. Um segundo aspecto ocorre quando uma grande extensão da cor surge mais brilhante do que a mesma cor numa pequena área (BOYNTON, 1979).

### **2.1.1. Desenvolvimento dos Sistemas de Cores**

Os sistemas de cores são modos para descrever a cor. Tais sistemas incluem designações verbais ou numéricas para combinação das cores, e termos matemáticos usados com instrumentação (FRANCIS, 1998a).

Historicamente, a cor tem sido estimada visualmente, e foi produzido um número de atlas de cores bem projetado e bem pesquisado. Os mais conhecidos são o "Munsell System", "Hungarian Coloroid System", "German DIN System", "Inter Society Color Council/National Bureau of Standards System", "Argentinian Villalobos Color Atlas", "Natural Color System" e o "Ostwald System". Nos Estados Unidos, em termos de aplicações alimentares, o "Munsell System" é provavelmente o mais conhecido (KUEHNI, 1996).

Munsell foi um artista de Boston que desejava ensinar seus estudantes a respeito da tradução das cores. Ele compreendia, como outros antes dele, que a cor era tridimensional. O atlas de cor de Munsell contém 1.225 fragmentos coloridos, cada um com uma designação numérica (FRANCIS e CLYDESDALE, 1975). Quando uma cor é especificada pela designação Munsell, considera-se a cor como não ambígua (WRIGHT, 1971).

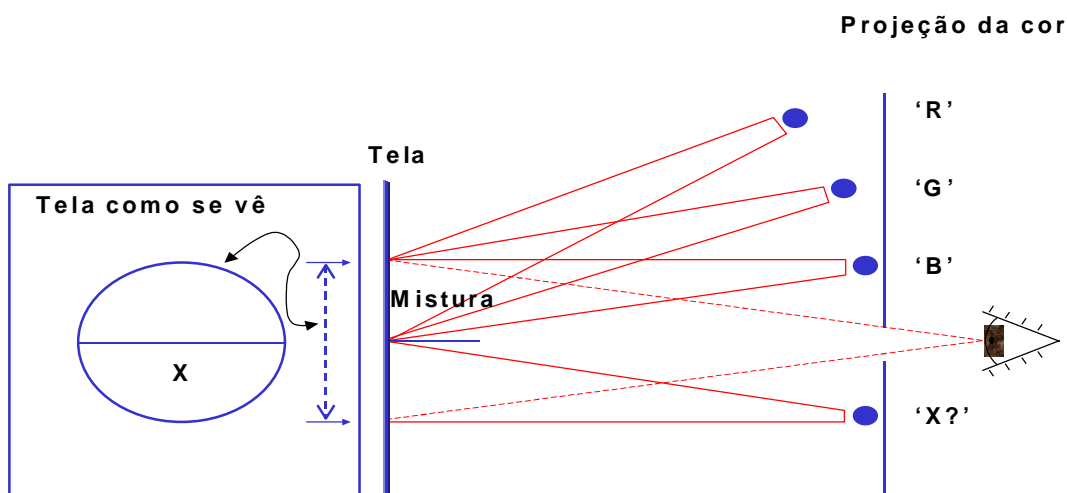
A designação da cor de um alimento por comparação visual com os fragmentos de um sólido de cor visual é muito atraente, pois, é simples, conveniente e de fácil compreensão. Muitos padrões especializados de cor de tinta, plástico ou vidro estão disponíveis para uso como padrões alimentares, e um número de companhias tem adotado esta aproximação para fins de qualidade do alimento (WRIGHT, 1971; FRANCIS e CLYDESDALE, 1975). Por exemplo, o sistema de classificação oficial USDA para o suco de tomate emprega discos de rotação de uma

designação específica de Munsell para descrever os graus de cor (FRANCIS e CLYDESDALE, 1975).

Padrões de cor feitos de plásticos são disponíveis para um grande número de produtos básicos: feijões, ervilha, creme de maçã, pasta de amendoim, suco de laranja, cogumelos enlatados, pêssegos, chucrute, salmão e pimentão-doce. Padrões de vidro são disponíveis para produtos do açúcar, (FRANCIS, 1998a).

Os padrões de cor de plásticos e vidros têm tido muito sucesso, mas, obviamente, estão disponíveis num número limitado de cores. Os fragmentos de papel pintado, tais como o Atlas de Munsell, estão disponíveis num intervalo de cores muito mais amplo, mas mesmo assim são limitados. Eles são frágeis e podem mudar com o uso. Os padrões de cor visuais também apresentam outros problemas quanto a serem cansativos e às vezes tediosos. As cores que esmaecem entre os padrões existentes são, às vezes, difíceis de transportar para outros indivíduos. Estas são as principais razões pelas quais os métodos instrumentais têm sido tão atraentes (FRANCIS, 1998a).

Os primeiros métodos instrumentais para medição da cor foram baseados na espectrofotometria de transmissão ou reflexão. Os conceitos foram baseados em pesquisas, que desenvolveram as respostas dos cones do olho humano em termos do espectro visível, sendo feito de uma maneira facilmente reproduzível no laboratório (Figura 1). Três projetores com um filtro vermelho, verde ou azul na frente das lentes são necessários (BILLMEYER e SALTZMAN, 1981; KUEHNI, 1996;). A cor a ser medida é projetada na metade inferior e o olho pode ver as duas metades simultaneamente. Os raios de luz vermelhos, verdes ou azuis são focalizados numa tela de modo que eles sobrepõem metade e um círculo. A outra metade é iluminada por outro projetor ou pela luz espectralmente pura de um prisma ou grade de modo que o observador pode ver ambas as metades do círculo sobre a tela, simultaneamente. Cada projetor é equipado com um reostato para variar a quantidade de luz proveniente de cada uma das fontes vermelha, verde e azul. Variando-se a quantidade de luz, o observador pode determinar as quantidades de vermelho, azul e verde necessárias para combinar qualquer cor espectral. Portanto, pode-se definir a cor espectral em termos das quantidades de vermelho, verde e azul (RGB) (FRANCIS e CLYDESDALE, 1975).

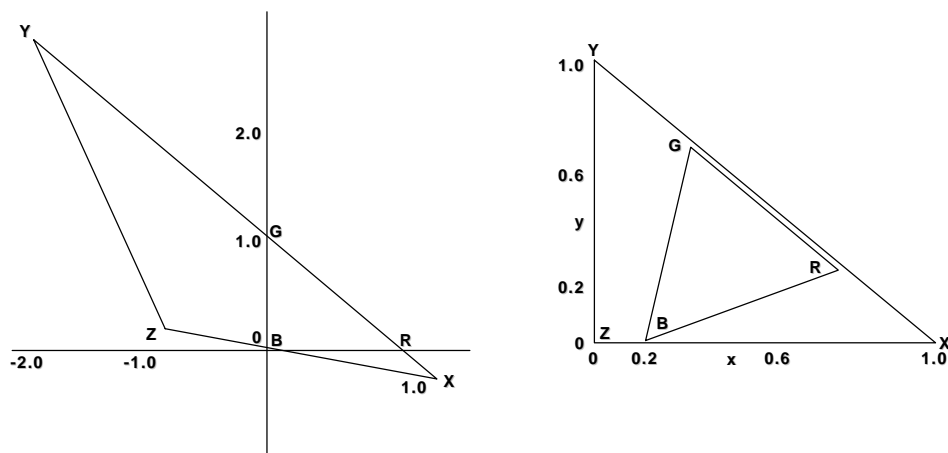


Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 1 - Diagrama mostrando três projetores focalizados na metade superior de um círculo na tela.

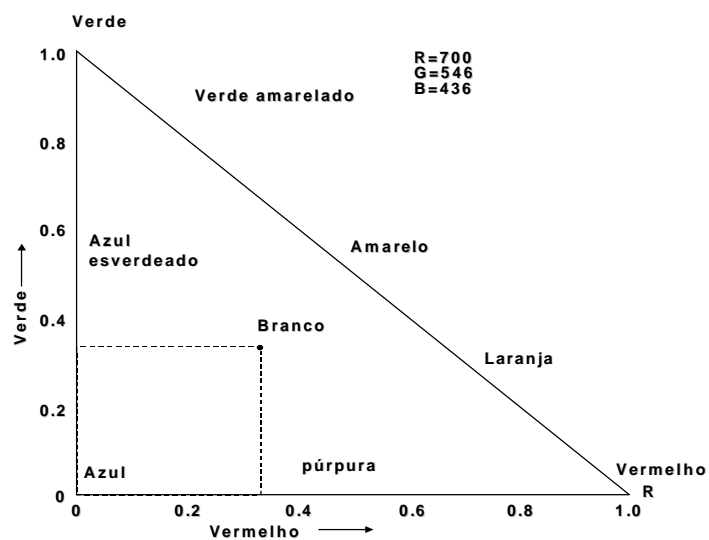
Como mostra a Figura 2, pode se estabelecer também um triângulo equilátero com um dos estímulos de (RGB) em cada canto à direita, e (RGB) como um triângulo de ângulo reto no diagrama à esquerda. À esquerda, o diagrama mostra as coordenadas (RGB) como um triângulo de ângulo reto. À direita, as coordenadas XYZ são plotadas como um triângulo de ângulo reto.

A Figura 3 mostra o diagrama (RGB) em mais detalhes. Neste caso, a quantidade de azul é obtida subtraindo-se a quantidade de vermelho e verde da unidade. Todo ponto dentro do triângulo representa uma cor e pode ser especificado matematicamente pela quantidade de vermelho, verde e azul. Infelizmente, o vermelho, o verde e o azul não são particularmente bons estímulos para uso, pois, nem todas as cores podem ser combinadas com eles. Quando solicitados a escolher um conjunto de coordenadas que fossem mais apropriadas, os primeiros pesquisadores escolheram XYZ. Elas não podem ser reproduzidas no laboratório, pois, elas são apenas conceitos matemáticos. Se alguém deseja uma referência visual crua, pode pensar em X como vermelho, Y como verde, e Z como azul (FRANCIS, 1998b).



Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 2 - Diagrama mostrando as posições relativas no espaço dos estímulos RGB e XYZ.



Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 3 - Cores plotadas num triângulo vermelho, verde, azul.

Ao se tomar os dados de vermelho, verde e azul para as cores espectrais, transforma-los em coordenadas X, Y e Z, e plotar as respostas dos cones humanos contra o comprimento de onda (Figura 4), teremos as respostas do olho humano para a cor. Estas curvas foram denominadas curvas padrão do observador CIE  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ , e possibilitaram calcular as coordenadas da cor dos dados espectrofotométricos (FRANCIS, 1998a).

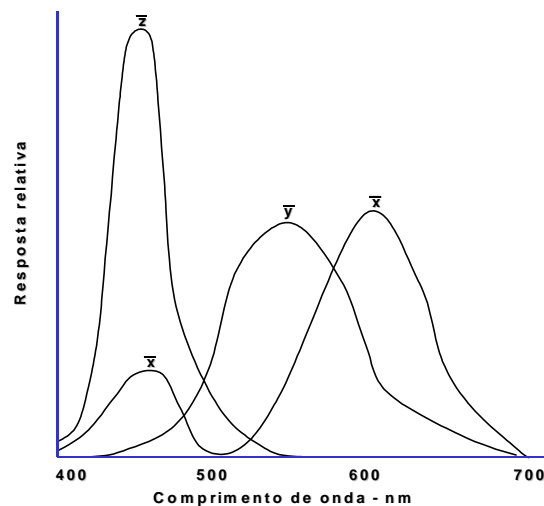
Os dados de cores podem ser calculados a partir de uma curva de reflexão, ou de uma curva de transmissão de uma amostra, integrando-se a área sob a curva em termos da fonte de luz e curvas do observador padrão.

$$X = \int_{380}^{750} RE \bar{x} dx; \quad Y = \int_{380}^{750} RE \bar{y} dy \quad e \quad Z = \int_{380}^{750} RE \bar{z} dz, \quad \text{onde:}$$

R = espectro amostral; E = espectro luminoso da fonte e  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  = curvas padrão do observador.

Os dados de XYZ são plotados como coordenadas x, y, z, onde:

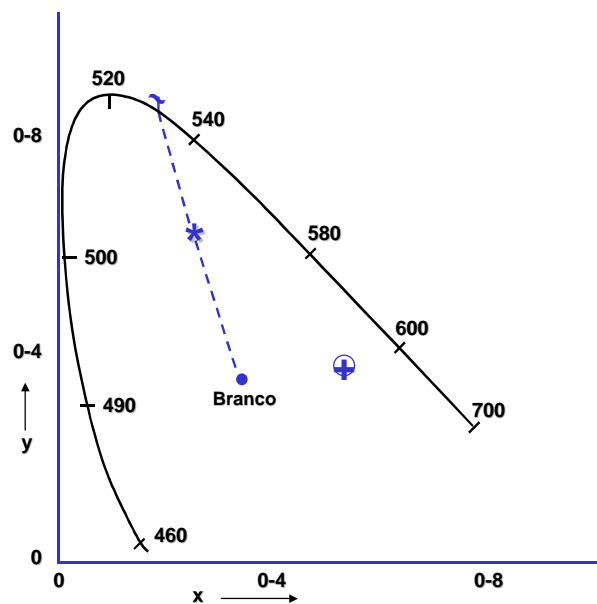
$$x = X / (X + Y + Z); \quad y = Y / (X + Y + Z) \quad e \quad z = Z / (X + Y + Z)$$



Fonte: (FRANCIS, 1998a).

FIGURA 4 - Relação das curvas do observador padrão entre a resposta do olho humano, definida como as curvas do observador padrão ( $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ), e o espectro visível.

O espectro plotado num diagrama x, y é apresentado na (Figura 5). O sólido da cor é realmente um sólido, não um plano, com a função de luminosidade perpendicular ao plano do papel (FRANCIS, 1998b). A Figura ilustra, também, outro modo popular de apresentar os dados da cor. O ponto de intercessão de uma linha das coordenadas da luz branca,  $x = 0,333$ ;  $y = 0,333$  através do ponto da margem do sólido é o comprimento de onda dominante da cor. A distância relativa da luz branca é a pureza da cor.



Fonte: FRANCIS, 1998a.

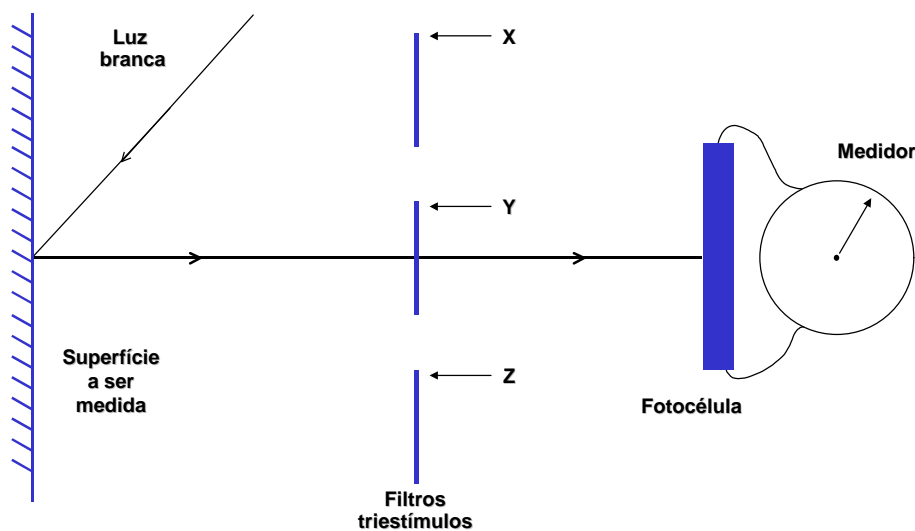
FIGURA 5 - As cores do espectro plotadas nas coordenadas x, y.

### 2.1.2. Colorímetros Especializados

Os antigos espectrofotômetros forneciam um espectro de reflexão ou transmissão, e os dados de XYZ tinham de ser calculados manualmente. Isto era muito cansativo, de forma que foram desenvolvidos integradores mecânicos que mais tarde foram substituídos por integradores eletrônicos. Entretanto, esses

instrumentos eram, usualmente, complicados e caros, o que estimulou o desenvolvimento dos colorímetros de triestímulos (FRANCIS, 1998b).

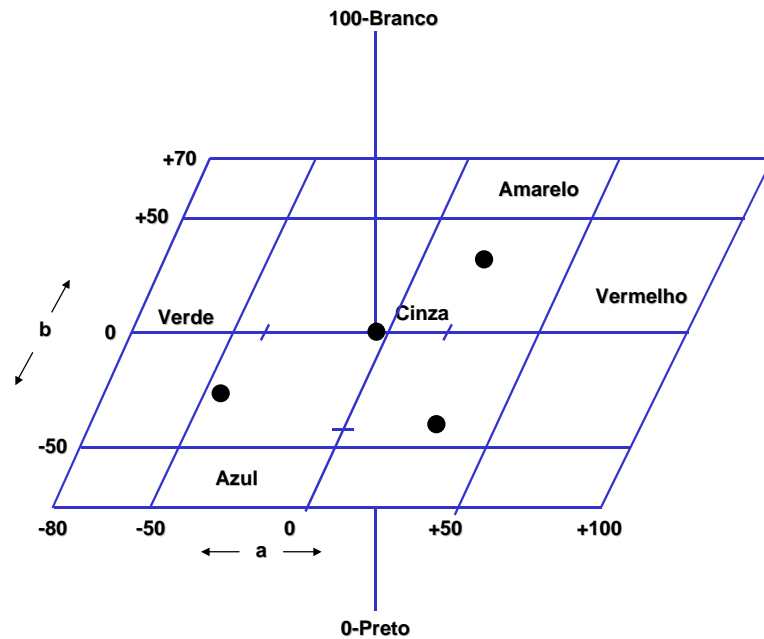
A definição do observador padrão levou ao desenvolvimento de colorímetros projetados para duplicar a resposta do olho humano. O conceito é muito simples, necessita-se de uma fonte de luz; três filtros de vidro com espectros de transmitância que duplicam as curvas de X, Y e Z; e uma fotocélula. Com este arranjo, pode-se conseguir uma leitura de XYZ que representa a cor da amostra (Figura 6). Hoje, todos os colorímetros de triestímulos dependem deste princípio com refinamentos individuais na resposta da fotocélula, estabilidade, sensibilidade e reproducibilidade (FRANCIS, 1998b).



Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 6 - Componentes essenciais de um colorímetro de triestímulos.

Um dos sistemas de cor instrumental é o sistema Hunter (Figura 7), que representa um sólido de cor onde **L** luminosidade ou escuridão, **+a** estado ou qualidade de vermelho, **-a** estado ou qualidade de verde, **+b** estado ou qualidade de amarelo, e **-b** estado ou qualidade de azul.



Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 7 - Sólido de cor de Judd-Hunter.

Um segundo sistema é o CIELAB com os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Uma terceira escala é conhecida como sistema CIE-XYZ e uma quarta escala é o sistema CIELCH com os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ . O segundo e terceiro sistemas foram desenvolvidos principalmente para produzir um sistema que fosse visualmente mais uniforme através do sólido de cor como um todo. O quarto é um sistema polar com ênfase primária nas tolerâncias de cor. Outro sistema denominado CIELUV foi designado primeiramente para uso com iluminação e televisão e não encontrou muita aplicação para alimentos (FRANCIS, 1998a).

O sucesso dos colorímetros de triestímulos levou a uma grande expansão na pesquisa sobre medição de cores, assim como sobre a fabricação de um número de diferentes colorímetros. Demandas desenvolveram-se para que a análise racional reduzisse os dados de cor para uma ou duas dimensões, e uma série de instrumentos especializados foi desenvolvida. Um dos primeiros foi o colorímetro do tomate de HUNTER & YEATMAN (1961), projetado para medir a cor do suco de

tomate. O ímpeto para o desenvolvimento deste instrumento foi no sentido de pagamentos de incentivos para que os produtores entregassem tomates mais intensamente coloridos para os processadores.

O desenvolvimento do colorímetro do tomate fornece um interessante modelo. As amostras de tomates, representando a extensão das amostras comerciais, foram classificadas pelos inspetores da USDA em graus A, B e refugos. O suco foi, então, extraído dos tomates e medido num colorímetro de triestímulos. Estabeleceu-se, então, uma relação entre a decisão do classificador para os tomates crus e a cor do suco. De fato, a equação representando como os classificadores visualizaram a cor dos tomates foi estabelecida no espaço da cor Hunter e Yeatman (1961), citados por (FRANCIS, 1998a).

Nesta aplicação, a cor do tomate (TC) foi representada por:

$$TC = 2.000 \cos \theta/L,$$

Onde:  $\cos \theta = \mathbf{a}/(\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2)^{1/2}$ , e as unidades **L**, **a**, **b** estão no sistema Hunter.

Este instrumento tornou-se conhecido como "USDA Tomato Colorimeter" (Colorímetro de tomate do USDA). Ele provou ser um instrumento útil, e logo foi modificado para ler a cor do suco de tomate processado, de acordo com a equação:

$$Color\ score = \mathbf{bL/a}$$

A mesma aproximação foi usada para desenvolver o "Citrus Colorímetro" para medir a cor do suco de laranja. Foram desenvolvidos instrumentos especializados para mel, açúcar, chá, maçãs, salmão, vinho, cor interna da carne bovina e suína, etc. Pode-se dizer que todos os instrumentos mediram a cor como tal, desde que eles estavam todos voltados para o aspecto geral de qualidade, mas a cor era o fator principal (WENZEL e HUGGERT, 1969).

A proliferação de instrumentos especializados levou a certa insatisfação, pois, por exemplo, os fornecedores não desejavam o suficiente para encher um quarto de equipamento especializado. Quando os dados de uma amostra são coletados, em unidades triestímulos ou espectrofotométricas, eles podem ser lidos em quaisquer unidades desejadas por um simples microprocessador na unidade ou um programa de computador. Por exemplo, as escalas para suco de tomate cru e processado

podem ser lidas a partir do mesmo instrumento com um circuito extra. Esta tendência tem desencorajado o acúmulo de dados em outras unidades além das fundamentais, tais como as quatro listadas previamente. O projeto dos instrumentos para medir a cor deu uma volta completa (FRANCIS, 1998a).

Os primeiros instrumentos foram espectrofotômetros, mas o trabalho de cálculo era tão grande que foram desenvolvidos os colorímetros de triestímulos. Então, o desenvolvimento do cálculo eletrônico tornou-se tão eficiente que o trabalho de cálculo cessou para ser um fator. Hoje, a maioria dos instrumentos de medição da cor é colorímetros de triestímulos (FRANCIS, 1998a).

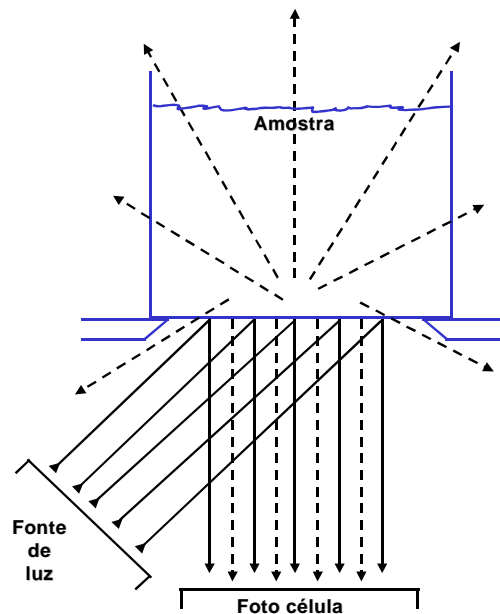
A corrente instrumentação varia de instrumentos relativamente simples com uma variedade de exposição e de medidas para diferentes aplicações a sofisticados colorímetros acoplados a um computador. Os últimos podem gerar dados em quatro sistemas de observação, reflectância de 400 a 700 nm, sete escalas de cores, 15 escalas especializadas, seis aparelhos de iluminação, qualquer memória conceptível, estágio de leitura e saída de impulsos desejada. Todos os instrumentos usam mecanismos computadorizados para minimizar as flutuações do curso da fonte de luz, impulso e inclinação (FRANCIS, 1998a).

### **2.1.3. Apresentação das Amostras**

Atualmente, quase todos os instrumentos são projetados para maximizar a luz proveniente da amostra. As relações entre o sinal luminoso e as interpretações de cor pelo cérebro foram padronizadas para situações ideais, isto é, transmitância perfeita e reflectância completa. Infelizmente, a maioria dos alimentos está entre os dois ideais e ambos transmitem e absorvem a luz (FRANCIS, 1998a).

A Figura 8 mostra uma apresentação típica para uma amostra de alimento para medição por reflexão. A luz entra proveniente do feixe da fonte abaixo, e alguma luz é refletida da superfície de vidro para mira de medição do instrumento. Alguma luz entra na amostra e é dispersa. Parte da luz dispersa é refletida de volta para dentro da mira de medição, mas alguma escapa através das laterais da célula. A luz que entra na amostra é, usualmente, tanto parcialmente dispersa quanto absorvida, e o instrumento mede a luz que emerge de volta para dentro da mira de medição (FRANCIS, 1995; JUDD e WYSZECKI, 1997).

As soluções túrbidas podem mostrar menos reproducibilidade nas medições da cor, pois a turvação pode não ser uniforme ou reproduzível. As partículas poderiam ser filtradas antes da medição, mas isto mudaria a aparência visual do produto (FRANCIS, 1995).



Fonte: FRANCIS, 1998a.

FIGURA 8 - Diagrama mostrando a interação de uma fonte de luz com uma amostra para produzir um sinal.

Com amostras granulares é importante que o tamanho das partículas seja padronizado, pois, usualmente as partículas pequenas surgem mais brancas do que as partículas maiores. Com amostras que apresentam diferenças direcionais, tais como as tiras de espaguete, é necessário algum julgamento a fim de determinar se a amostra deve ser medida paralela às tiras, ou nos ângulos retos, ou ambos. Nesta situação, os instrumentos com grande iluminação de área de modo circular não direcional seriam o método de escolha ideal (FRANCIS, 1995).

Algumas amostras apresentam diferenças de texturas. Um conceito global consiste em tentar medir a cor de uma maneira tão próxima quanto possível ao modo que o consumidor vê o alimento (FRANCIS, 1995).

#### 2.1.4. Interpretação dos Dados

A interpretação dos dados dos sistemas instrumentais pelo sistema XYZ, coordenadas matemáticas, é mais difícil, pois através delas é difícil visualizar a cor. Uma cor com as coordenadas **L**, **a**, **b** é fácil de se visualizar e mais uniforme no espaço da cor (FRANCIS, 1987).

Existe a tendência de se publicarem os dados de cor com as medidas **L**, **a**, **b** e fazer análise de variância em cada um dos três parâmetros. Esta aproximação pode não ser o ideal, pois se assume que os componentes são variáveis independentes. Realmente elas não são independentes, pois, tanto **a** quanto **b** dependem de **L**. Uma melhor aproximação seria calcular o valor **H** como uma medida da tonalidade ou nuance da cor  $H = [\text{tg}^{-1} (-a/b) + 90^0]$ , e o croma como medida de saturação da cor  $Ch = (a^2 + b^2)^{1/2}$ , e juntamente com **L**, podem ser usados numa análise de variância (FRANCIS, 1987).

A interpretação dos dados tem recebido atenção considerável na área de controle de qualidade, pois poucos procedimentos estatísticos de controle de qualidade são estabelecidos para manejar dados tridimensionais. O modo mais preciso para reduzir o número dos parâmetros de cor é, provavelmente, via equação de regressão (FRANCIS, 1987).

Exemplo desta aproximação pode ser tomado a partir do trabalho de WENZEL e HUGGERT (1969), sobre a cor do suco de laranja reconstituído. As correlações para as leituras de Hunter do suco de laranja reconstituído e o escore de cor da USDA, foram -0,815 para **L** sozinho; 0,909 para **a** sozinho; **L** e **a** foi 0,927 e com **L**, **a**, e **b** foi 0,930. A maior correlação foi com o valor de **a** e a inclusão das outras duas medidas numa equação de regressão múltipla resultaria em algum aumento de precisão, mas os autores concluíram que não valeu a preocupação (WENZEL e HUGGERT, 1969).

Trabalhos semelhantes com feijão-de-lima indicaram que o valor de **L** era o único parâmetro importante, enquanto com o suco de tomate tanto **a** quanto **b** foram necessários. Com molho de maçã, todos os três parâmetros foram necessários para prever o escore subjetivo de qualidade. A redução dos dados em termos dos índices de desvanecimento, ou “brancura” **WI** é bem conhecida nas indústrias de papel, tinta, têxtil e de plásticos, e tem tido algumas aplicações nos alimentos (BOLIN e HUXSOLL, 1991).

Aproximadamente todos os alimentos têm um espectro tridimensional para sua cor, e a decisão em reduzir os dados para dois, ou um, é obviamente um julgamento de valor. A instrumentação é disponível para medir um único ponto num espectro de reflexão ou transmissão, e um instrumento fornece uma leitura de ponto único numa área vermelha, amarela, azul ou verde (FRANCIS, 1998a).

O valor Hunter é um valor altamente correlacionado com o teor de carotenóides e atualmente mostra mais precisão do que uma análise química (FRANCIS, 1987). A medição da cor de uma superfície cortada, por exemplo, uma batata-doce, pode ser feita em uma questão de segundos; portanto, ela é um instrumento de seleção muito atrativa para os melhoristas de plantas que tentam desenvolver cultivares com alto teor de pigmento (FRANCIS, 1987).

O procedimento não funciona com materiais em que o teor de carotenóides totais é distribuído em um número grande de carotenóides. Para controlar produtos coloridos contendo uma série de pigmentos, seria necessário estabelecer uma equação de regressão com um fator para cada componente importante ((FRANCIS, 1987; HUNTER e HAROLD, 1987)).

EAGERMAN *et al.*, (1973a e b) listaram onze escalas de cor, e todas elas mostraram áreas de confundimento. Isto ocorre, às vezes, porque os valores para **a** e **b** são dependentes do valor de **L**. Estas áreas podem ser removidas, simplesmente expandindo-se a escala de **L**. É possível também melhorar a predição do teor de pigmento a partir de dados colorimétricos, linearizando a escala **a** ou **b**. Os valores para **L**, **a**, **b** podem ser gerados para qualquer corante simples ou misturas de corantes e ainda para quaisquer materiais ou substâncias (FRANCIS, 1987).

### **2.1.5. Medição de Cor como um Instrumento Analítico**

Os métodos instrumentais para medida de cor são baseados na espectrofotometria de transmissão ou de reflexão. Um sistema simples para o entendimento e especificação da cor em termos de como o olho a percebe é obtido utilizando-se três projetores simultâneos com filtros de cores: vermelho (R), verde (G) e azul (B). O fluxo espectral radiante desta combinação é percebido pelo olho humano como uma só cor. Um outro projetor, com filtro de cor desconhecida é

também projetado de modo a poder ser comparada com a anterior. As quantidades de energia de cada luz (R, G e B) requeridas para alcançar a cor desconhecida são chamadas valores de triestímulos podendo ser expressos em fluxo radiante do espectro visível (watts), como fluxo luminoso (lumens), ou como luminância (candelas/m<sup>2</sup>) (ALMEIDA-MURADIAN, 1991).

O mais comumente usado é uma escala psicofísica de vermelho, verde e azul ajustadas de modo que as quantidades dos três correspondem a cor neutra. Entretanto R, G e B não são particularmente bons estímulos para uso uma vez que nem todas as cores podem ser obtidas desta maneira. Utilizou-se então X, Y e Z como estímulos de referência, estes sendo conceitos matemáticos e não reproduzíveis no laboratório. Apesar disto eles foram escolhidos pela conveniência matemática em construir um sólido de cor e especificação das coordenadas de cor (ALMEIDA-MURADIAN, 1991).

Pode-se pensar em X como vermelho, Y como verde e Z como azul. Se tomarmos as cores vermelho, verde e azul, transformá-las nas coordenadas X, Y e Z e plotarmos a resposta dos cones humanos versus o comprimento de onda, teremos a resposta do olho humano à cor. Essas curvas foram padronizadas em 1932 e foram chamadas curvas do observador padrão x, y, z da CIE (Commission International de l'Eclairage) (FRANCIS & CLYDESDALE, 1975).

A definição das curvas do observador padrão levou ao desenvolvimento do colorímetro que simulou a resposta do olho humano. Vários sólidos de cor foram sugeridos para incorporar estes instrumentos. No entanto, dois sistemas tiveram prioridade: o de Hunter e o CIELAB. A reflectância difusa de Hunter (Rd) ou valores de luminosidade L são diretamente comparáveis ao Y do sistema CIE ou ao "valor" do sistema de Munsell. O parâmetro **a** é função de X e Y enquanto que **b** é função de Z e Y. Juntos podem fornecer resultados equivalentes aos obtidos com as dimensões "tom" e "croma" do Sistema Munsell (KRAMER & TWIGG, 1986).

A conversão dos dados obtidos pelos diversos colorímetros para uma escala ou outra é uma necessidade, quando se deseja comparar ou analisar esses dados. As equações para estas conversões são fornecidas pelo produtor do colorímetro, geralmente constando no próprio catálogo do aparelho (ALMEIDA-MURADIAN, 1991).

A medida de cor pode ser utilizada como uma maneira indireta da análise de componentes coloridos de um alimento, uma vez que é mais simples e mais rápida

que a análise química (FRANCIS, 1983; FRANCIS, 1987). Uma das primeiras tentativas para substituir a análise química pela colorimetria foi a determinação de  $\beta$ -caroteno em batata-doce. O  $\beta$ -caroteno é um componente nutricional importante por ser precursor de vitamina A além de contribuir com uma agradável cor alaranjada. Para grandes quantidades de amostra a medida de cor de batatas-doces pode ser feita mais rapidamente e mais economicamente do que a medida química do pigmento (FRANCIS, 1969).

Kattan et al., (1957) citados por ALMEIDA-MURADIAN, (1991) sugeriram o cálculo do teor de carotenóides a partir dos parâmetros de cor **a** e **b** segundo uma equação de regressão com um coeficiente de correlação de +0,94.

BOLIN e HUXSOLL (1991), usaram a seguinte equação para determinar a formação de lignina em cenouras descascadas por abrasão.

$$WI = 100 [(100 - L^*) + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

REPPOND e BABBIT (1991), usaram a seguinte equação para qualificação da cor branca de surimi:

$$WI = - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

Estudos realizados por ALMEIDA-MURADIAN, (1991) em batatas-doces obtiveram boas correlações do logaritmo neperiano dos carotenóides totais com os parâmetros de cor. As equações para se estimar o teor de carotenóides através das medidas **L**, **a** e **b** foram:

$$Ct (mcg/g) = e^{(-1,2051 + 0,1075a + 0,1013b)},$$

$$Ct (mcg/g) = e^{(3,1094 - 0,0476L + 0,1164a + 0,0667b)},$$

Respectivamente, para batatas doces cruas e cozidas, com  $R^2 = 0,9944$  e  $R^2 = 0,9936$ .

## **2.2. PIGMENTOS CAROTENÓIDES**

Carotenóides representam um grupo de pigmentos solúveis em lipídios. São responsáveis pela coloração de algumas flores, frutas, vegetais, crustáceos, peixes, pássaros. Está juntamente com as clorofilas entre os mais importantes pigmentos naturais, e são encontrados em todos os organismos fotossintéticos, bactérias, algas e fungos (CLYDESDALE e FRANCIS, 1976; RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; ALMEIDA-MURADIAN, 1991).

Os carotenóides englobam mais de 500 pigmentos naturais já identificados, alguns dos quais têm atividade de vitamina A. Em alimentos este número é mais restrito, podendo variar de 4 a 20 carotenóides num único produto. Nas plantas estão complexados com as proteínas do cloroplasto em folhas e outros tecidos verdes e do cromoplasto em frutas e vegetais maduros. Além disso, os carotenóides das frutas estão esterificados com ácidos graxos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; BRITTON, 1991 e 1992).

### **2.2.1. Características Gerais dos Carotenóides**

Estes pigmentos são, na sua maioria, tetraterpenos com 40 carbonos, formados por oito unidades isoprenóides ( $C_5H_8$ ). Um extensivo sistema de duplas ligações conjugadas é uma característica distintiva que dá aos carotenóides propriedades e funções características especiais. A estrutura básica pode ser modificada de várias maneiras, tais como: ciclização, migração das duplas ligações, introdução de grupos substituintes, hidrogenação parcial, dehidrogenação, extensão ou encurtamento da cadeia, rearranjos, isomerização ou combinações, resultando em um grande número de estruturas químicas (RODRIGUEZ-AMAYA, 1985, 1993 e 1993a; BRITTON, 1991 e 1993a).

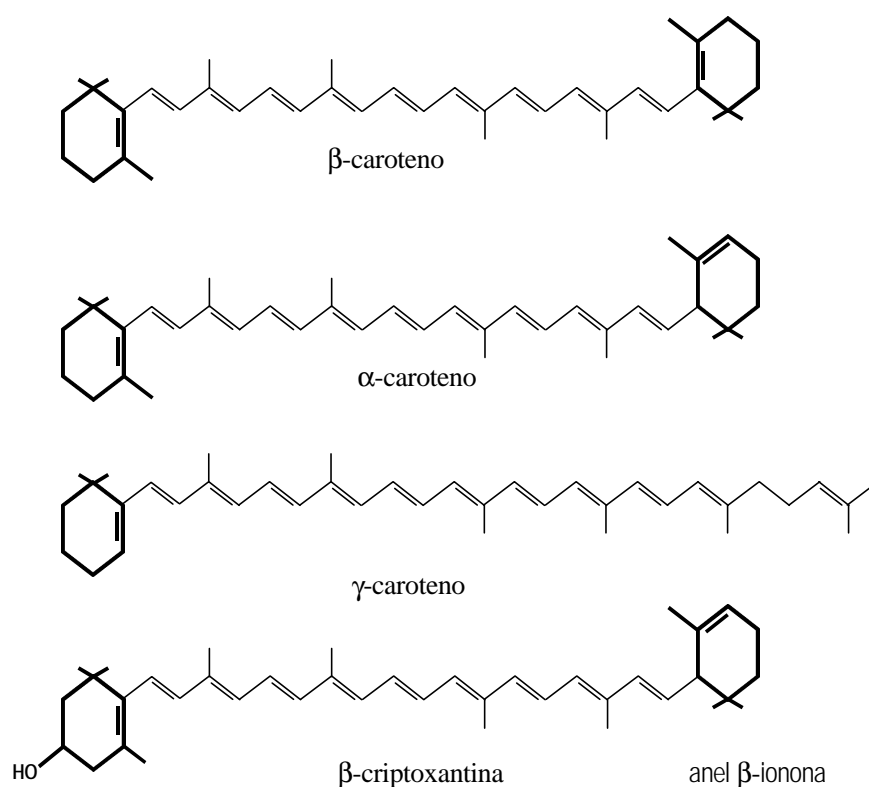
Quimicamente os carotenóides são divididos em dois grupos: os hidrocarbonatados e os derivados oxigenados. O primeiro grupo é universalmente conhecido como carotenos e o segundo tem sido chamado pela maioria dos autores de xantofilas (CLYDESDALE e FRANCIS, 1976; RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; BRITTON, 1991, 1992 e 1993a; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

Alguns carotenóides, como o licopeno, são acíclicos, mas os mais comuns são aqueles que contêm um ou dois anéis na molécula (BRITTON, 1991 e 1992).

Do ponto de vista nutricional os carotenóides são classificados como provitaminas e carotenóides inativos. Para atuar como precursor de vitamina A, um carotenóide deve ser dotado de pelo menos um anel  $\beta$ -ionona não substituído com cadeia lateral poliênica de pelo menos 11 carbonos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1985 e 1989).

De todos os carotenóides conhecidos,  $\beta$ -caroteno é o que possui maior atividade provitamínica A, sendo o mais comum entre os alimentos. Assim, o  $\beta$ -caroteno que possui dois anéis  $\beta$ -ionona ligados por uma cadeia poliênica de 22 carbonos possui 100% de atividade vitamínica (BAUERNFEIND, 1972).

A Figura 9 mostra as estruturas e o anel  $\beta$ -ionona de alguns carotenóides mais comuns em alimentos.



Fonte: SANT'ANA, 1995

FIGURA 9 – Estrutura Beta Ionona de Alguns Carotenóides.

O Quadro 1 apresenta a atividade vitamínica e as principais fontes de alguns carotenóides mais comuns.

QUADRO 1 - Atividade vitamínica A e ocorrência de alguns carotenóides

Carotenóide	AV* (%)	Ocorrência
$\beta$ -caroteno	100	Plantas verdes, cenoura, batata doce, abóbora, espinafre, tomate, pimenta verde, abacaxi, laranja, morango, trigo, milho, óleo de palma, sorgo, algas, crustáceos, ovos, peixes
$\alpha$ -caroteno	50-54	Plantas verdes, cenoura, abóbora, milho, pimenta verde, batata, maçã, laranja, uva, cereja, banana, abacaxi, óleo de palma
$\gamma$ -caroteno	42-50	Cenoura, batata doce, milho, tomate, algas, algumas frutas, damasco, óleo de palma
$\beta$ -zeacaroteno	20-40	Milho, tomate, cereja
$\beta$ -apo-8'-carotenol	72	Frutas críticas, plantas verdes, alfafa, capim
Licopeno	Inativo	Tomate, pimentas verdes, damascos, microorganismos
Luteína	Inativo	Folhas verdes, milho, batatas, espinafre, pimenta verde, cenoura, tomate, maçã, damasco, peras, laranja, morango, uva, galinha, ovos
Capsantina	Inativo	Pimentas vermelhas, páprica

\* Atividade Vitamínica

Fonte: SANT'ANA, 1995.

Em função do extensivo sistema de duplas ligações conjugadas na molécula, alguns carotenóides podem, teoricamente, existir em muitas formas isoméricas geométricas (BRITTON, 1992). Os carotenóides estão presentes na natureza na configuração all-trans, mais estável. Contudo, os isômeros cis podem ocorrer e aumentar durante a cocção e processamento industrial (SWEENEY e MARSH, 1971; ALMEIDA e PENTEADO, 1987). Em termos de nutrição, a diferenciação entre

os isômeros cis e trans das provitaminas é muito importante, pois a forma cis exibe menor potência, resultando numa drástica redução da atividade de vitamina A (CLYDESDALE et alii, 1991; RODRIGUEZ-AMAYA, 1989).

Diversos fatores influenciam a composição de carotenóides em alimentos, como estágio de maturação das plantas, diferenças entre cultivares e variedades de vegetais, efeitos geográficos e climáticos, tipo cultivo, agroquímicos, distribuição diferenciada nas frutas, mudanças no processamento e na estocagem (RODRIGUEZ-AMAYA, 1993a).

A característica que dá aos carotenóides suas propriedades e funções distintas é a presença de um longo sistema cromóforo de duplas ligações conjugadas. Carotenóides, portanto, absorvem na região visível da luz, geralmente entre 400 a 500 nm e são coloridos. Esta estrutura altamente insaturada torna estes pigmentos sensíveis ao oxigênio, à luz e ao calor (BRITTON, 1991).

Outras características estruturais são facilmente modificadas por ácidos ou álcalis. Os carotenóides são bastante estáveis em solução ou suspensão de óleos vegetais, especialmente na presença de antioxidantes, como  $\alpha$ -tocoferol. A peroxidação de lipídios insaturados pode causar rápida destruição oxidativa de carotenóides. Estes pigmentos são também muito susceptíveis à degradação enzimática por lipoxigenases quando os tecidos são rompidos (CLYDESDALE e FRANCIS, 1976; BRITTON, 1992).

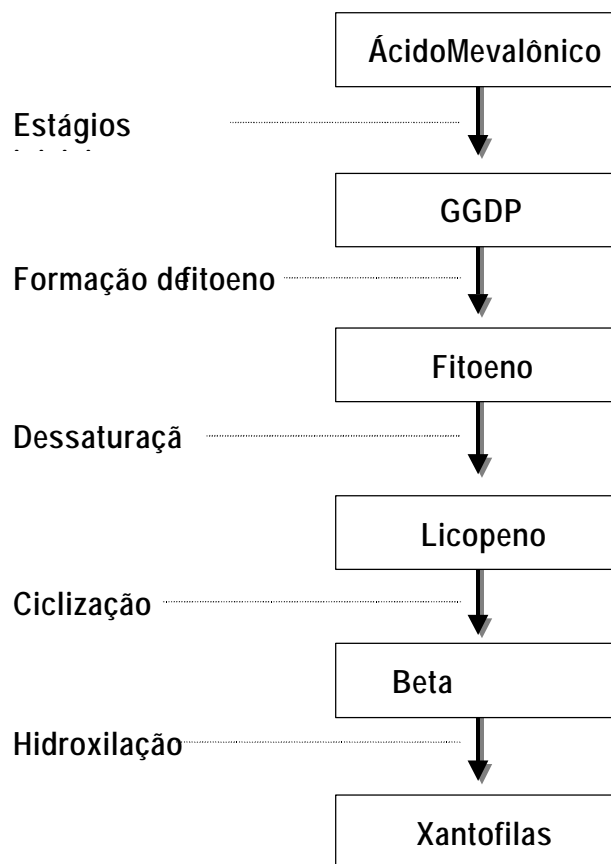
Contudo, de acordo com CLYDESDALE e FRANCIS (1976), a principal causa de degradação dos carotenóides nos alimentos é a oxidação. A severidade da oxidação depende das condições onde o pigmento se encontra: se "in vivo" ou "in vitro", e também das condições ambientais. No tecido vivo intacto a estabilidade dos pigmentos é provavelmente uma função da permeabilidade celular e da presença de compostos protetores. Por exemplo, licopeno em tomates é estável, mas o pigmento extraído e purificado torna-se instável.

### **2.2.2. Biossíntese de carotenóides**

Os carotenóides são biossintetizados em plantas superiores, algas, fungos e bactérias. Os animais não são capazes de realizar biossíntese, embora muitos deles sejam capazes de metabolizar e modificar estruturalmente alguns carotenóides ingeridos (BRITTON, 1992).

Como as plantas são capazes de biossintetizar carotenóides, sua composição é enriquecida pela presença de pequenas quantidades ou traços de precursores biossintéticos, (Rodriguez-Amaya, 1991, citado por RAMOS, 1991).

Os carotenóides são unidades isoprenóides e são biossintetizados a partir da acetil coenzima A, via ácido mevalônico (Figura 10).



Fonte: SANT'ANA, 1995

FIGURA 10 – Síntese dos Estágios da Biossíntese dos Carotenóides

Os estágios iniciais são comuns a biossíntese de todos os compostos isoprenóides. O primeiro passo, que é específico para carotenóides, é a formação do fitoeno a partir de duas moléculas de generanilgeneranil difosfato (GGDP). A partir desta etapa, iniciam-se aquelas relacionadas exclusivamente com a biossíntese de carotenóides: dessaturação, ciclização, hidrogenação, etc. (BRITTON, 1992).

### 2.2.3. Função dos carotenóides nos alimentos

Suas muitas funções e ações colocam os carotenóides entre os constituintes mais apreciados dos alimentos. As atrativas cores vermelha e amarela que eles conferem a muitos alimentos é a contribuição mais óbvia para a qualidade dos alimentos. Além disso, a atividade provitamínica A de alguns carotenóides e outros potenciais efeitos benéficos à saúde, tais como propriedades anticarcinogênicas, acentuam sua importância na dieta (RODRIGUEZ-AMAYA, 1993b).

Em flores, frutas e muitos animais a função dos carotenóides é principalmente prover cor. Em tecidos de plantas verdes eles desempenham importante papel na fotossíntese. Eles são particularmente importantes como protetores contra a fotoxidação pelo oxigênio singlete (BRITTON, 1992).

É bem estabelecido o papel da vitamina A na visão. Na retina ela faz parte da púrpura visual, pois o retinol combina-se com a proteína opsina para formar a rodopsina ou púrpura visual nos bastonetes da retina do olho (FRANCO, 1982). A falta de vitamina A ou carotenóides na dieta pode resultar em xeroftalmia, queratomalácia, cegueira e, em alguns casos, morte (OLSON, 1989a).

Os carotenóides são também considerados seqüestradores de oxigênio, propriedade que os torna protetores dos lípidos contra a oxidação, embora às custas de sua própria destruição (RODRIGUEZ-AMAYA, 1985). Particularmente, foi demonstrado que  $\beta$ -caroteno protege as gorduras e outros materiais do organismo da ação do oxigênio singlete e dos radicais livres, que são potencialmente perigosos à saúde (BURTON, 1989; JORGENSEN e SKIBSTED, 1993). A presença de radicais livres em um sistema biológico contendo gorduras polinsaturadas e outras matérias susceptíveis à destruição oxidativa são potencialmente perigosas (BURTON, 1989). A alta reatividade do  $\beta$ -caroteno é uma característica importante que dá à molécula capacidade antioxidante, daí o interesse em protegê-lo da oxidação para que possa exercer seu papel fisiológico no organismo.

Existem crescentes evidências de que os carotenóides podem desempenhar importante papel no aumento da resposta imune, o que pode levar à redução de crescimentos tumorais (BENDICH, 1989; KRINSKY, 1989).

Propriedades antiúlcera foram observadas por Mozsik et alii (1983), citados por BUSHWAY (1986). Eles verificaram que  $\beta$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina foram envolvidos na injúria citoprotetiva da mucosa gástrica.

Efeitos antienvhecimento foram demonstrados por Cutler (1984), citado por BUSHWAY (1986). Ele observou que existe uma correlação positiva entre a concentração de carotenóides no soro e tecido cerebral, com a vida máxima das espécies mamíferas.

Numerosos estudos epidemiológicos têm mostrado que o risco de certos tipos de câncer é inversamente proporcional ao consumo de vegetais verdes e amarelos ricos em carotenóides (MICOZZI et alii, 1990; ZIEGLER, 1991; ZIEGLER et alii, 1992; MURAKOSHI et alii, 1992; DAVISON et alii, 1993; GREENBER, 1993; DORGAN et alii, 1993). Estudos retrospectivos encontraram relação inversa entre o risco de câncer no pulmão, intestino, rim e cólon e o consumo de vegetais verdes e amarelos (COLDITZ et alii, 1985; VAN-POPPEL, 1993; LE-MARCHAND et alii, 1993).

Outros estudos demonstraram que a baixa ingestão de vegetais, frutas e carotenóides é consistentemente associada com o aumento de câncer do pulmão. Além disso, baixos níveis séricos de  $\beta$ -caroteno são consistentemente associados com o subsequente desenvolvimento de câncer no pulmão. A simples explicação é que  $\beta$ -caroteno é realmente protetor (ZIEGLER, 1989 e 1991). Como o retinol não é relatado de forma similar ao risco de câncer no pulmão,  $\beta$ -caroteno parece desempenhar um papel que não requer sua transformação em vitamina A. Por outro lado, fumo, um poderoso fator de risco para câncer do pulmão, é associado a baixos níveis de  $\beta$ -caroteno no sangue (ZIEGLER, 1989).

MURAKOSHI et alii (1992) demonstraram que outros tipos de carotenóides como  $\alpha$ -caroteno, pode desempenhar importante papel na prevenção do câncer.

Vários estudos mostram que a ingestão de carotenóides e vitamina A é inversamente associada à ocorrência de catarata (JACQUES e CHYLACK, 1991; HANKINSON et alii, 1992).

#### 2.2.4. Efeito do Processamento nos Carotenóides

Perdas de nutrientes ocorrem quando os alimentos são processados, principalmente porque eles são sensíveis ao pH do meio, ao oxigênio, à luz e calor, ou combinações destes. Elementos traços (especialmente cobre e ferro) e enzimas podem catalisar estes efeitos (SANT'ANA, 1995).

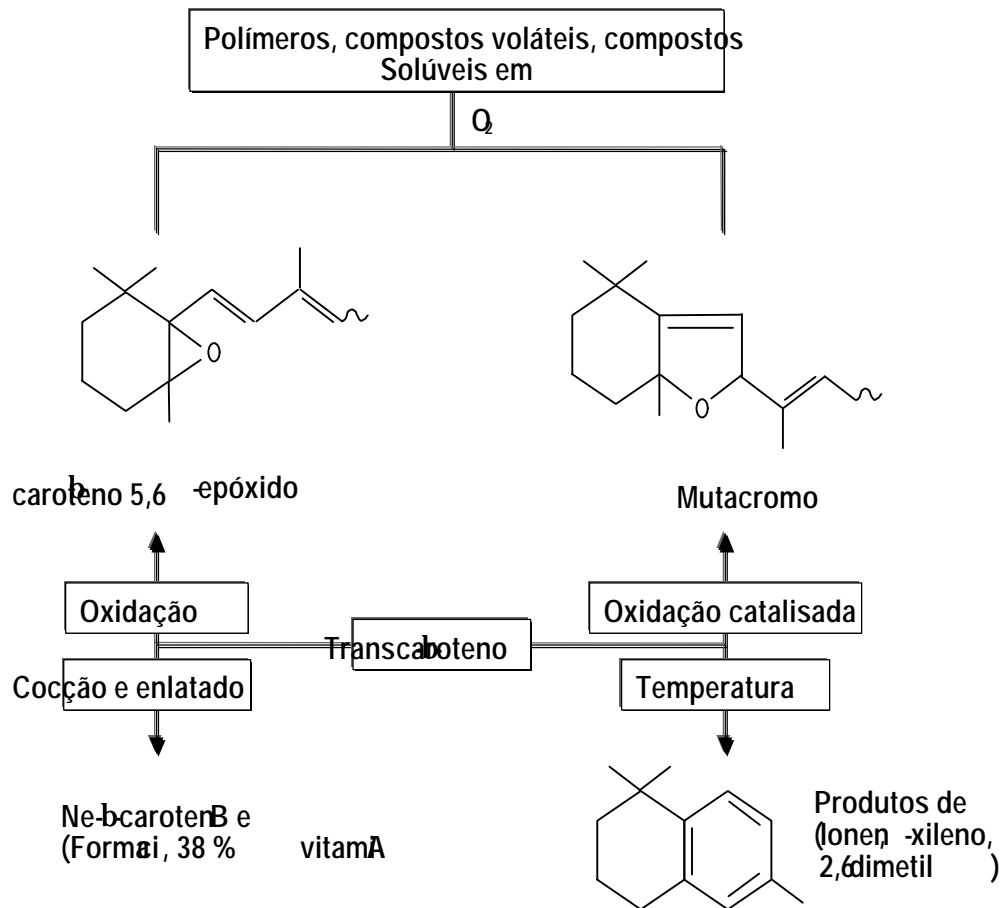
A vitamina A é estável sob atmosfera inerte, mas perde rapidamente sua atividade quando aquecida em presença de oxigênio, especialmente em altas temperaturas. Ela é completamente destruída quando oxidada ou desidrogenada. Os carotenóides possuem propriedades similares à vitamina A, mas algumas vezes são mais estáveis. Isso pode ser devido à localização dos carotenóides em sítios nos alimentos protegidos do oxigênio, como, por exemplo, em dispersão coloidal em meio lipídico ou em complexos protéicos (Harris, 1975 e Borenstein, 1975; citados por SANT'ANA, 1995).

Nos vegetais e frutas intactos a estrutura celular e a complexação com proteínas conferem aos carotenóides uma certa estabilidade. Durante as várias etapas do processamento esta estrutura e os complexos podem ser quebrados, expondo os pigmentos a fatores adversos e à sua destruição. A estabilidade varia grandemente no processamento e na estocagem, dependendo da estrutura dos carotenóides, da temperatura, da disponibilidade de oxigênio, exposição à luz, conteúdo de umidade e atividade de água, acidez, presença de metais, anti-oxidantes e pro-oxidantes (BRITTON, 1991 e 1992; RODRIGUEZ-AMAYA, 1993b).

A principal causa de degradação dos carotenóides é a oxidação, cujo mecanismo é um processo de formação de radicais livres. A reação se inicia com o ataque do oxigênio ao anel do pigmento. Os carotenóides e os lipídios estão associados na natureza e a existência de uma oxidação dupla tem sido reconhecida por longo tempo. Carotenóides possuem um efeito protetor sobre óleos e gorduras, embora eles sejam destruídos no processo. Esta ação é devida a uma oxidação preferencial dos carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA, 1993b).

A destruição dos carotenóides em alimentos processados e estocados pode seguir uma variedade de caminhos dependendo das condições existentes. Na ausência de oxigênio, podem existir transformações térmicas, particularmente isomerização trans-cis. Em geral, as perdas variam de 5 a 40%, dependendo da temperatura, tempo e natureza dos carotenóides. A altas temperaturas  $\beta$ -caroteno

pode fragmentar-se para produzir uma série de hidrocarbonetos aromáticos (TANNENBAUM, 1976). Os possíveis caminhos da degradação do  $\beta$ -caroteno são mostrados na Figura 11.



Fonte: TANNENBAUM, 1976

FIGURA 11 – Esquema Simplificado da Degradação do  $\beta$ -caroteno

Durante determinados processamentos o aquecimento causa uma redistribuição dos constituintes celulares dos alimentos, podendo liberar ácidos, especialmente em frutas. Estas condições favorecem a isomerização para a forma cis. Como consequência, ocorre uma redução da intensidade da cor, nem sempre distinguida pelo olho humano, além da redução do valor de vitamina A (Curl e Baley, 1956, citados por RAMOS, 1991).

Alguns estudos têm investigado o efeito de alguns tipos de processamento sobre os carotenóides. SWEENEY e MARSH (1971), estudando o efeito da temperatura sobre carotenóides em vegetais, verificaram que o aquecimento promove a isomerização cis-trans pela redução de trans carotenóides e aumento dos isômeros cis.

SPEEK et al., (1988) observaram perdas evidentes de  $\beta$ -caroteno e carotenóides totais em vegetais ao avaliarem o efeito do processamento. A perda média da atividade de vitamina A após cocção, fritura, fermentação, secagem ao sol e secagem ao sol seguida de cocção foram 14, 24, 29, 44 e 60%, respectivamente.

EDWARDS e LEE (1986) investigaram o conteúdo de carotenóides provitamínicos em cenouras e ervilhas verdes frescas e enlatadas. Eles constataram um aumento do conteúdo de carotenóides nas amostras enlatadas. O aumento aparente em cenouras enlatadas foi devido, principalmente, a perdas de sólidos solúveis durante o processamento. Todavia, o aumento de carotenóides em ervilhas verdes enlatadas foi devido a perdas pela atividade enzimática nas amostras frescas durante procedimentos de extração.

O efeito da cocção sobre  $\alpha$  e  $\beta$ -caroteno em cenouras foi estudado por ALMEIDA e PENTEADO (1987). Com dez minutos de cocção houve perda de aproximadamente 12% de  $\alpha$ -caroteno e 14% de  $\beta$ -caroteno.

A secagem ou desidratação acarreta maiores perdas de carotenóides. Várias reações deteriorativas afetam a cor, valor nutritivo, textura e sabor dos vegetais durante o processo de desidratação e estocagem (ARYA et alii, 1979).

GOLDMAN et al., (1983) observaram que o oxigênio foi um fator crucial no, no processo de degradação de  $\beta$ -caroteno em alimentos desidratados. Além disso, a degradação foi fortemente afetada pela presença de radicais livres. Por outro lado, as perdas foram reduzidas quando um antioxidante foi adicionado.

BALOGH et al., (1987) avaliaram a influência do branqueamento e sulfitação sobre a estabilidade de carotenóides em cenoura desidratada. Eles observaram que o dióxido de enxofre e o branqueamento exercem um efeito protetor sobre os carotenóides durante o processo de desidratação.

ARYA et al., (1979) verificaram que os efeitos da atividade de água, sal e metassulfito de sódio aumentaram a estabilidade de carotenóides em cenouras desidratadas. Os carotenóides foram mais estáveis a uma  $a_w$  de 0,43 e a incorporação de sal e metassulfito de sódio reduziram significativamente a taxa de destruição dos carotenóides e o escurecimento enzimático.

### 2.2.5. Metodologia para Determinação de Carotenóides

Em razão da conhecida instabilidade dos carotenóides, precauções rígidas devem ser tornadas rotineiramente no laboratório, para evitar perda de material ou mudanças estruturais. Todos os procedimentos que inevitavelmente introduzem riscos de oxidação, isomerização ou degradação enzimática devem ser efetuados o mais rapidamente possível (BRITTON, 1991 e 1992; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992). De acordo com RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN (1992), algumas medidas de precaução merecem destaque:

- a) Uso de solventes de grau analítico ou destilados livres de impurezas destrutivas como éter etílico e tetrahidrofurano livres de peróxidos, clorofórmio livre de ácidos;
- b) Proteção contra a luz e calor;
- c) Tempos curtos de análise;
- d) Aplicação de atmosferas inertes;
- e) Utilização de agentes antioxidantes e neutralizantes.

A exclusão do oxigênio ou agentes oxidantes das amostras deve ser rigorosa. Carotenóides ou extratos que os contêm devem sempre ser estocados em completa ausência de oxigênio, sob vácuo ou atmosfera inerte (BRITTON, 1991).

Os carotenóides devem, preferencialmente, ser extraídos de tecidos frescos e não danificados. A extração deve ser efetuada tão rápida quanto possível, após obtenção do material para minimizar degradação oxidativa ou enzimática. Os pigmentos normalmente são extraídos com um solvente orgânico miscível em água, usualmente acetona, metanol ou etanol (BRITTON, 1992). Uma extração eficiente em vegetais normalmente requer ruptura mecânica dos tecidos (BRITTON, 1991 e 1992). Após extração, todas as traças de acetona devem ser removidos para evitar que resíduos da mesma se condensem aldolicamente com os apocarotenóides formando metil cetonas e, ainda, para evitar que contaminantes sejam introduzidos pela polimerização da acetona (RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

Para se determinar precisamente o conteúdo de provitamina A, é necessário: separar ou remover os carotenóides inativos; separar e quantificar as provitaminas individualmente; quantificar separadamente as formas cis e trans de cada provitamina (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989).

O método da AOAC, 1984 (Association of Official Analytical Chemists) e o método recomendado pela COST 91 (European Cooperation in Scientific and

Technological Research) têm sido bastante utilizados para determinação de carotenóides em alimentos. Contudo, nenhum deles separa as provitaminas dos carotenóides inativos, superestimando o valor de vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

A cromatografia descendente ou cromatografia em coluna aberta é o método clássico para determinação da composição de carotenóides em alimentos. Este método tem sido empregado por vários anos na determinação quantitativa da composição de carotenóides de alimentos brasileiros (RODRIGUEZ et alii, 1976; PENTEADO et alii, 1986; ALMEIDA e PENTEADO, 1987; RODRIGUEZ-AMAYA et alii, 1988; ARIMA e RODRIGUEZ-AMAYA, 1990; CARVALHO et alii, 1992; CAVALCANTE e RODRIGUEZ-AMAYA, 1992).

Embora considerada trabalhosa por alguns pesquisadores, a cromatografia em coluna aberta permite separar e quantificar a composição completa dos carotenóides existentes num alimento. A quantificação de cada pigmento é feita utilizando-se a absorvância máxima e os coeficientes de extinção molar ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) correspondentes (Quadro 2).

A análise por espectrofotometria é normalmente usada para a determinação quantitativa dos carotenóides. A quantidade de carotenóides presentes pode ser calculada a partir das equações:

$$g/g = \frac{\text{absorvância} \times \text{volume}}{(E_{1cm}^{1\%} \times 100)}$$

$$mcg/g = \frac{\text{volume} \times \text{absorvância} \times 10^4 \times \text{diluição}}{\text{peso da amostra} \times E_{1cm}^{1\%}}$$

$E_{1cm}^{1\%}$  é o coeficiente de absorvância molar específico, ou seja, a absorvância de uma solução de 1 g daquele carotenóide em 100 ml da solução. Os valores de  $E_{1cm}^{1\%}$  para alguns carotenóides comuns estão incluídos na Quadro 2. Um valor arbitrário de 2500 é freqüentemente tomado, quando nenhum valor experimentalmente determinado foi reportado, para um composto desconhecido, ou para fornecer uma estimativa do teor total de carotenóides de um extrato. É difícil atingir a solução completa, especialmente dos carotenóides cristalinos até mesmo

em solventes favoráveis, de modo que os teores de carotenóides são facilmente subestimados. Há, também, dúvida sobre a precisão de alguns dos valores publicados (BRITTON, 1992).

QUADRO 2 - Coeficientes de extinção molar ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) e comprimentos de onda de máxima absorção ( $\lambda$  máx) de alguns carotenóides.

Carotenóide	$\lambda$ máx (nm)	Solvente	( $E_{1cm}^{1\%}$ )
$\alpha$ -caroteno	422, 444, 473	Éter de Petróleo	2800
$\beta$ -caroteno	425, 449, 476	Éter de Petróleo	2592
$\gamma$ -caroteno	437, 462, 494	Éter de Petróleo	3100
$\delta$ -caroteno $\delta$	431, 456, 489	Éter de Petróleo	3290
$\epsilon$ -caroteno	416, 440, 470	Éter de Petróleo	3120
$\zeta$ -caroteno	378, 400, 425	Hexano	2555
$\alpha$ -criptoxantina	422, 444, 473	Hexano	2636
$\beta$ -criptoxantina	425, 449, 476	Éter de Petróleo	2386
$\beta$ -apo-8'-carotenal	459, 492	Éter de Petróleo	2640
$\alpha$ -zeacaroteno	398, 421, 449	Hexano	1850
$\beta$ -zeacaroteno	406, 428, 454	Éter de Petróleo	2520
Bixina	432, 456, 490	Éter de Petróleo	4200
Capsantina	460, 483, 518	Benzeno	2072
Capsorubina	460, 489, 523	Benzeno	2200
Luteina	422, 445, 474	Etanol	2550
Licopeno	444, 470, 502	Éter de Petróleo	3450
Zeaxantina	424, 449, 476	Éter de Petróleo	2348

Fonte: BRITTON, (1992).

Embora a ionização química tenha sido usada, a maioria dos trabalhos com espectrometria de massa sobre os carotenóides, tem empregado a ionização de elétrons. Os carotenóides têm volatilidade muito baixa, e as amostras são usualmente inseridas por meio de uma sonda direta, aquecidas a 200 a 220 °C. Quase todos os carotenóides fornecem bons íons moleculares. Além disso, muitas

fragmentações que são diagnosticadas de aspectos estruturais particulares foram identificadas (BRITTON, 1992).

Segundo BRITTON (1992) é possível determinar quantitativamente os carotenóides por técnicas de fragmentação de massa, pois, é característica de todos os carotenóides passarem por reações na quais a cadeia poliênica é dobrada e porções dela são, então, fragmentadas. As mais intensivamente estudadas são as perdas de tolueno (92 unidades de massa) e m-xileno (102 unidades de massa), mas perdas similares de 79 e 158 unidades de massa são também freqüentemente vistas. A razão de abundância dos íons de fragmentos  $[M-92]^+$  e  $[M-106]^+$  podem dar uma boa indicação do esqueleto do carbono de um carotenóide. Os carotenóides com grau mais alto de saturação, por exemplo, phytoene,  $\zeta$ -caroteno, mostram uma perda análoga de 94 unidades de massa.

Moss e Weedon (1976) citados por (BRITTON, 1992) discutiram os aspectos gerais dos espectros de ressonância magnética nuclear (NMR) dos carotenóides e apresentaram uma grande quantidade de dados tabulados nas indicações  $^1\text{H}$  NMR de muitos grupos finais de carotenóides, especialmente os prótons do grupo metil.

Englert (1985) citado por (BRITTON, 1992) forneceram uma coleção extremamente valiosa de figuras que ilustram as indicações  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  para um amplo intervalo de grupos finais de carotenóides naturais e sintéticos e também descreveu a aplicação, no campo dos carotenóides, de alguns dos sofisticados métodos de NMR para indicações de grupos finais.

A espectroscopia do infravermelho não exerce o papel importante na análise dos carotenóides, embora ela possa ajudar na identificação dos grupos carbonil e aspectos estruturais especiais tais como os grupo de acetileno. A espectroscopia Raman de ressonância tem obtido grandes avanços nos últimos anos. Ainda não foi reportado nenhum estudo sistemático extensivo dos carotenóides, mas os carotenóides podem ser detectados *in situ* pela espectroscopia Raman de ressonância dos tecidos intactos (BRITTON, 1992).

Como ocorre em outras áreas, a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** é considerada o método mais avançado para determinação individual dos carotenóides. Esta técnica é considerada a mais simples, rápida, acurada, eficiente na separação, sensível e reprodutível para análise de misturas complexas de carotenóides em alimentos. Além disso, permite menor exposição ao oxigênio, luz,

adsorventes e solventes (BUSHWAY, 1986; RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; CLYDESDALE et alii, 1991; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992).

A maioria dos métodos utiliza colunas de fase reversa (RP-C18). Fases móveis comuns são combinações de acetonitrila, clorofórmio, diclorometano, tetrahidrofurano, metanol e hexano, usados isocriticamente (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; RODRIGUEZ-AMAYA e AMAYA-FARFÁN, 1992; BRITTON, 1992).

O grande problema de utilização da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** é a dificuldade de se obter padrões analíticos confiáveis, pela facilidade com que estes sofrem degradação (CARVALHO, 1993). QUACKENBUSH e SMALLIDGE (1986) encontraram uma variação de 0,6 a 88,7% de pureza em trans  $\beta$ -caroteno de seis distribuidores mais importantes.

Esta dificuldade pode ser contornada pelo uso de padronização interna com substâncias mais estáveis que os carotenóides. QUACKENBUSH e SMALLIDGE (1986) sugeriram o uso de Sudan 1 {1-(fenilazo)-2 naftalenol} que, apesar de não ter a mesma estrutura dos carotenóides, apresenta várias características similares, como a solubilidade e o comprimento de onda de absorção.

O inconveniente da padronização interna com Sudan I é a sobreposição do seu tempo de retenção com o tempo de retenção de outros pigmentos como a clorofila, hidroxicarotenóides e poli-hidroxicarotenóides, o que pode ser contornado com a clarificação do extrato em mini-coluna de hidróxido de magnésio e hiflosupercel (QUACKEMBUSH e SMALLIDGE, 1986; CARVALHO, 1993).

A Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** tem sido extensivamente utilizada na separação de provitamina A e misturas complexas de carotenóides nos últimos anos (HSIEH e KAREL, 1983; KAMBER e PFANDER, 1984; KHACHIC et alii, 1986; BUREAU e BUSHWAY, 1986; SPEEK et alii, 1986; BUSHWAY, 1986; CHANDLER e SCHWARTZ, 1987; O'NEIL e SCHWARTZ, 1992; CARVALHO et alii, 1992; WILBERG e RODRIGUEZ-AMAYA, 1993; EPLER et alii, 1993).

#### **2.2.6. Ocorrência de Carotenóides em Cenouras**

Embora os carotenóides não sejam largamente encontrados em raízes, a cenoura, um exemplo bem conhecido, é rica em carotenóides. Conhecida como uma das fontes mais notáveis de  $\alpha$  e  $\beta$ -carotenos, a cenoura é considerada um vegetal de alto valor provitamínico A (BRITTON, 1992).

Cenouras representam a principal fonte de A na dieta americana, contribuindo com 14% do total de consumo de vitamina A. Assim, diversos pesquisadores têm estudado os carotenóides de cenoura sob diversos aspectos, como funções nutricionais e biológicas, composição e biossíntese, métodos de extração e quantificação (SIMON e WOLFF, 1987).

A composição de carotenóides em cenoura varia, tanto qualitativamente como quantitativamente. Esta variação é observada dentre e entra as linhagens, bem como entre as várias regiões produtoras (SIMON e WOLFF, 1987).

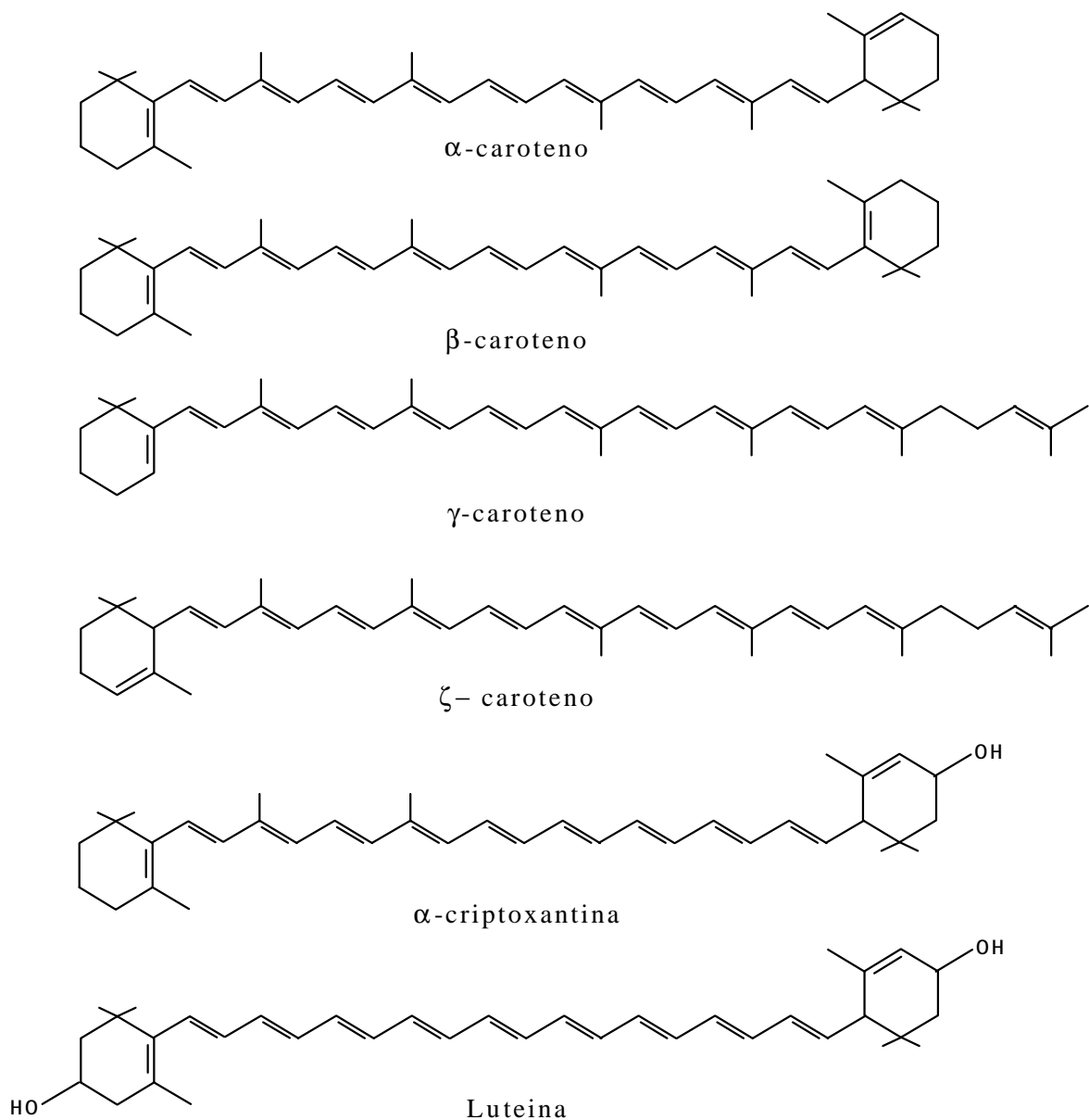
As variedades de cenoura apresentam colorações distintas, podendo ir da cenoura branca, passando por nuances variadas de amarelo e laranja até chegar ao vermelho. O conteúdo de carotenóides totais pode variar de 2 µg/g para as cenouras brancas (Laferriere e Gabelman, 1968, citados por RAMOS, 1991), até mais de 371 µg/g para as cenouras laranjas (Dark e Booth, 1946, citados por RAMOS, 1991).

Estudos realizados demonstram que os principais carotenóides de cenoura laranja são  $\alpha$  e  $\beta$ -carotenos, cujo percentual pode variar entre 80 e 95% dos carotenóides totais. O restante é constituído por xantofilas e pigmentos poliênicos não coloridos (BALOCH et alii, 1977; RAMOS, 1991).

As estruturas dos carotenóides mais comumente encontrados em cenouras são mostradas na FIGURA 12.

A separação dos carotenóides de cenoura, especialmente  $\alpha$  e  $\beta$ -caroteno, é essencial para evitar superestimação do valor de vitamina A. Sabe-se que o valor de vitamina A é diferenciado para cada carotenóide precursor (BAUERNFEIND, 1972). Além disso, outros carotenóides presentes na cenoura não são precursores de vitamina A.

A maioria dos trabalhos com carotenóides em cenouras, foi feita sob a forma fresca (BUSHWAY e WILSON, 1982; BUREAU e BUSHWAY, 1986; LEE, 1986; SIMON e WOLFF, 1987). Alguns pesquisadores se preocuparam em estudar os carotenóides de cenouras após algum tipo de processamento (SWEENEY e MARSH, 1971; ARYA et alii, 1979; EDWARDS e LEE, 1986; BALOCH, 1987; ALMEIDA e PENTEADO, 1987; RAMOS, 1991). Contudo, a influência de diversos métodos de preparo sobre os carotenóides de cenoura não tem sido investigada.



Fonte: SANT'ANA, 1995

FIGURA 12 – Estrutura dos Carotenóides mais Comuns nas Cenouras

### 2.3. COLORAÇÃO E QUALIDADE DE RAÍZES DE CENOURA

A qualidade de produtos hortícolas pode ser definida como o resultado da soma dos valores relativos de várias características, que determinarão a aceitabilidade do produto pelo consumidor. De maneira geral, a aceitabilidade está

relacionada com características visíveis como tamanho, cor e ausência de defeitos e outras menos óbvias, como textura e flavor (ARTHEY, 1975).

Segundo VIEIRA et al., (1988) a qualidade das raízes de cenoura comercializadas *in natura* no Brasil está abaixo das expectativas do mercado consumidor tanto no que se refere à qualidade visual das mesmas quanto nos aspectos relativos aos seus valores nutricionais e sabor.

A cultura da cenoura apresenta grande variabilidade com respeito à coloração de raízes, apresentando desde cenouras brancas até cenouras roxas. A determinação da cor está relacionada com a presença de diversos pigmentos carotenóides e com o balanço entre eles (SIMON et al., 1989).

UMIEL & GABELMAN (1971) determinaram os principais pigmentos encontrados na linha W93 (raízes laranja) como sendo  $\beta$ -caroteno e alfa-caroteno, embora zeta-caroteno e fitoeno também estivessem presentes. SIMON & WOLFF (1987) confirmaram que o  $\beta$ -caroteno é o principal pigmento de raízes de coloração alaranjada e calcularam que a fração  $\beta$ -caroteno corresponde de 45 a 90% dos carotenóides totais. Alfa-caroteno é o segundo pigmento mais importante, variando entre 15 e 40%. A fração restante corresponde a outros carotenóides, entre eles, gama-caroteno, zeta-caroteno, beta-zeacaroteno e licopeno.

A análise de gerações derivadas do cruzamento entre a linhagem W93 e a cultivar Kinoki com raízes de cor vermelha sugeriu que a primeira possuía um gene dominante para acúmulo de  $\alpha$ -caroteno. O loco para cor laranja comportou-se como epistático em relação ao loco para cor vermelha (UMIEL & GABELMAN, 1971).

BUIHAND & GABELMAN (1980), estudando cruzamentos entre cenouras vermelhas e amarelas, encontraram três genes de efeito maiores em segregação, **y2**, inibindo a síntese de carotenos, **L**, estimulando a síntese de licopeno e **A1** cuja ação não foi estabelecida, mas parecia estar ligada à síntese de  $\beta$ -caroteno e alfa-caroteno, em detrimento da síntese de licopeno, resultando numa coloração tendendo à cor laranja. Os autores ressaltaram a possibilidade de envolvimento de genes de efeito menores e modificadores além de outras interações.

SIMON et al., (1989) analisando gerações F1 e F2 de cruzamentos recíprocos entre *Daucus carota* var. **bossieri** e **hollandicus** detectaram três genes em segregação: **A**, que determinaria a síntese de xantofilas e raízes amarelas; **B**, a síntese de carotenos e licopeno e raízes laranjas e **C** a síntese de antocianinas e raízes roxas.

Estudos genéticos realizados a partir de cruzamentos entre cenouras de coloração laranja pálido com laranja e laranja pálido com amarelo limão (IMAN & GABELMAN, 1968); diversos cruzamentos entre cenouras com raízes de coloração branca, amarela, laranja claro, laranja intermediário e laranja (LAFERRIERE & GABELMAN, 1968), indicaram tendência de dominância de cores mais claras sobre aquelas mais escuras.

PETERS (1982) através de estudos sobre intensidade de cor e conteúdo de carotenóides, concluiu que apenas um gene controla a intensidade de cor laranja externa em raízes de cenoura e que o alelo para cor mais clara é dominante sobre o alelo para cores mais escuras.

Trabalhando com gerações derivadas dos cruzamentos entre populações varietais Nantskaya, Mosrovskaya e Zimkaya, MARTENS et al., (1979) calculou um coeficiente de herdabilidade, sentido amplo, variando entre 0,60 e 0,68 para intensidade de cor na raiz e coeficiente de correlação na faixa de 0,58 a 0,78 para intensidade de cor na raiz e conteúdo de carotenóides.

VIEIRA et al., (1988) estimaram de herdabilidade de 27% para conteúdo de carotenóides e coeficiente de variação genética da ordem de 10%, para 71 progênies de meio-irmãos de cenoura tipo Brasília.

MARTENS et al., (1984) estimaram correlação positiva entre a intensidade de pigmentação das raízes, especialmente de seu interior, com maior conteúdo de caroteno. Os autores, entretanto, questionaram a possibilidade de se adotar a cor de raízes como critério indireto para seleção visando maior conteúdo de caroteno, já que a primeira característica é de difícil avaliação visual.

Segundo LAFERRIERE & GABELMAN (1968), a avaliação visual, em programas de melhoramento para se identificar cultivares com mais altos teores de carotenóides, é um procedimento que pode ser utilizado em populações segregantes para alelos que determinam coloração laranja pálida, amarela ou branca, ou seja, populações que apresentem raízes com menos de 50 ppm de carotenóides.

PETERSON & SIMON (1986) ressaltaram que a seleção visual pode ser adequada para elevar o conteúdo de carotenóides até o nível de 120 ppm. A seleção para conteúdo de carotenóides acima deste patamar deve ser baseada na determinação química dos pigmentos.

GROSS (1991) determinou o conteúdo total de carotenóides em folhas de cenoura, que variava de 60 a 170 µg/g do peso fresco. A concentração total de

carotenóides nas folhas era independente da variedade. Encontrou também correlações variando na faixa 0,46 (agosto) e 0,76 (setembro) entre o conteúdo de carotenóides nas raízes e nas folhas. Esta associação é bastante útil, e se confirmada, pode permitir a seleção precoce e não destrutiva para conteúdo de carotenóides nas raízes.

Alem da intensidade da cor, a uniformidade, tanto da cor externa, quanto da cor interna é desejável. A desuniformidade da cor interna é causada por diferenças de cor entre floema e xilema (PHAN & HSU 1973, SIMON & PETERSON 1986). PETERS (1982) concluiu que apenas um gene controla as diferenças de coloração e conteúdo de carotenóides no xilema, sendo que o alelo para cor clara e baixo conteúdo de carotenóides é dominante.

A presença de ombro verde ou roxo deprecia as raízes, já que este segmento é normalmente descartado durante a preparação (NUNES 1991). Estimativas de herdabilidade para o caráter obtidos por McCOLLUM (1961) indicaram valores baixos, em torno de 25%. DOWKER et al., (1975) encontraram coeficientes de herdabilidade para esverdeamento variando entre 0,22 e 0,68. Um ambiente mais favorável à expressão do caráter foi obtido sob baixas densidades. PETERSON & SIMON (1986) recomendam que a seleção para cor seja realizada sob luz uniforme, através da escolha de raízes com boa coloração externa e uniformidade, com pequeno ou nenhum esverdeamento na área do cambio vascular ou xilema superior, sem diferenças de cor entre floema e xilema e com a zona do câmbio indistinta.

As várias formas de processamento de raízes de cenoura afetam alguns de seus índices de qualidade. Altas temperaturas durante o cozimento e o processo de enlatamento levam a um aumento da isomerização *cis-trans* dos carotenóides, o que provoca perda de coloração e do valor nutritivo das raízes (GROSS, 1991).

WECKEL et al., (1992) observaram que o congelamento das raízes, inteiras, fatiadas ou cortadas em cubos, provocou perda estimada em 7,3 a 11,7% da atividade de provitamina A, também como resultado da isomerização. SIMON & LINDSAY (1989) também observaram indícios de diferenças entre cultivares, com respeito à perda de carotenóides, provocada por altas temperaturas e congelamento. (SIMON e LINDSAY, 1983).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O plantio e cultivo das cultivares de cenoura utilizados no presente trabalho foram conduzidos no campo Experimental da Embrapa Hortaliças, em Brasília - DF. As determinações de carotenóides e as medidas de cor foram efetuadas no Laboratório de Secagem e Corantes Naturais de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa \_ MG.

#### **3.1. MATÉRIA-PRIMA E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

Utilizou-se os seguintes cultivares de cenoura (*Daucus carota* L.), todos de polinização aberta:

Nova Kuroda, do tipo Kuroda, lote de semente 014159335A, comercializada no Brasil pela companhia de sementes “Topseed Sementes Ltda”. Para plantio durante o período de verão.

População Alvorada, do tipo Brasília. Material pertencente ao programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças, ainda não comercializado no Brasil, devendo ser liberado para comercialização pelas companhias de sementes, sob a denominação “cultivar Alvorada”. Para plantio durante o período de verão.

População 971272, do tipo Brasília. Material pertencente ao programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças, em processo de melhoramento. Material não comercializado no Brasil.

População 931177, do tipo Brasília. Material pertencente ao programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças, em processo de melhoramento. Material não comercializado no Brasil.

Tropical, do tipo Brasília, lote de semente 8532 A-TI, comercializada no Brasil pela companhia de sementes “Isla S/A Importadora de Sementes para Lavoura”. Para plantio durante o período de verão.

Carandaí, do tipo Brasília, lote de sementes 517224, desenvolvida e comercializada pela companhia de sementes “Sementes Agroceres”. Para plantio durante os períodos de primavera e verão.

População RGS, cedido ao programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças pela companhia de sementes “Isla S/A Importadora de Sementes para Lavoura”. Para plantio durante o período de verão. Material não comercializado no Brasil.

Brasília, Lote de sementes 1567, comercializada pela companhia de sementes “Isla S/A Importadora de Sementes para Lavoura”. Para plantio durante o período de verão.

Brazlândia, do tipo Brasília, sem definição de lote, desenvolvida e comercializada pela companhia de sementes “Hortec Sementes Ltda.”. Para plantio durante o período de verão.

Brasília, sem definição de lote, comercializada pela Embrapa Hortaliça como semente básica a ser utilizada pelas companhias de sementes de cenoura, para produção sementes comerciais.

Brasília, Lote de sementes 8056.M, desenvolvida e comercializada pela companhia de sementes “Hortec Sementes Ltda.”. Para plantio durante o período de verão.

Brasília Alta Seleção, Lote de sementes 7148, comercializada pela companhia de sementes “Agroflora S/A Reflorestamento e Agropecuária”. Para plantio durante o período de verão.

Nantes, do tipo Nantes, Lote de sementes 39, comercializada no Brasil pela companhia de sementes “Topseed Sementes Ltda”. Para plantio durante o período de inverno.

Brasília Raiz Longa, do tipo Brasília, Lote de sementes 9116, desenvolvida e comercializada pela companhia de sementes “Agroflora S/A Reflorestamento e Agropecuária”. Para plantio durante o período de verão.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, referentes a 14 genótipos de cenoura e 4 períodos de colheita, 60; 80; 100 e 120 dias, com 4 repetições por tratamento.

### **3.2. CONDIÇÕES DE PLANTIO E COLHEITA**

O tamanho de parcela empregado foi de 8,0 m<sup>2</sup>, canteiros de 8,0 metros de comprimento por 1,0 metro de largura. O espaçamento entre linhas, dispostas transversalmente ao comprimento dos canteiros, foi de 20 cm e o espaçamento entre plantas dentro da linha foi de 5 cm. A adubação empregada foi de 150 gramas por metro quadrado da formulação comercial 4-30-16. A sementeira foi efetuada em 07/04/99. Após 27 dias foi efetuada o desbaste deixando-se uma planta a cada 5 centímetros dentro da linha. As colheitas foram realizadas aos 60, 80, 100 e 120 dias após a sementeira, respectivamente, utilizando-se somente plantas competitivas. Durante a condução do ensaio, não foram efetuadas pulverizações para controle de doenças e pragas.

### **3.3. ANÁLISE DE COR**

A avaliação da cor das cenouras foi feita por meio da colorimetria de triestímulos, de acordo procedimentos descritos por ALMEIDA-MURADIAN (1991), com algumas modificações.

Utilizou-se o colorímetro de triestímulos COLOR QUEST II e o software Universe da Hunterlab, Reston, VA, sob o iluminante D nos sistemas de cor de Hunter com os parâmetros **L**, **a**, **b** e no sistema CIELAB com os parâmetros **L\***, **a\***, **b\***. O aparelho foi configurado excluindo-se os componentes especular e UV na área de observação padrão e leitura por reflexão a 10<sup>0</sup>, grau de observação.

Para as medidas de cor, triturou-se em um microprocessador doméstico, marca FAET, dez raízes de cada material. O material triturado e homogeneizado foi colocado em uma cubeta de quartzo, 80 : 60 : 15 mm, e compactado de modo a não apresentar variação na coloração. Utilizou-se um diâmetro de leitura de 25 mm. Foram realizadas oito leituras em diferentes pontos da cubeta, e considerada a média destas leituras. Com as leituras observadas foram calculados os valores de

satuação da cor ou croma  $CH = (a^2 + b^2)^{1/2}$  e a tonalidade ou nuana,  $H = [\text{tg}^{-1} (-a/b) + 90^\circ]$ .

Imediatamente apés as medidas de cor, retirou-se de cada um dos materiais uma amostra de aproximadamente 5,0 g, peso exato, para as análises de carotenóides totais por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência \_CLAE.

### **3.4. DETERMINAÇÃO DE CAROTENÓIDES**

Todos os procedimentos foram realizados com as luzes apagadas, com a finalidade de se proteger os carotenóides da luz difusa e do oxigênio do ar.

#### **3.4.1. Extração dos Carotenóides**

O método para extração dos carotenóides totais foi uma combinação dos procedimentos descritos por RODRIGUEZ et al., (1976) e SANT'ANA, (1995), com algumas modificações.

A extração foi efetuada triturando-se em um microprocessador doméstico, marca FAET, dez raízes de cada material. Retirou-se uma amostra de aproximadamente 5,0 gramas, peso exato, de cada material. Adicionou-se às amostras 50 ml de acetona resfriada e filtrou-se em funil de Büchner a vácuo. Repetiu-se este procedimento até todo o resíduo se tornar incolor. Em seguida, os pigmentos foram transferidos em pequenas porções para éter de petróleo em funil de separação, lavando-se cada fração com água destilada para retirar toda a acetona.

#### **3.4.2. Determinação de Carotenóides Totais por Espectrofotometria**

O método para a determinação dos carotenóides totais por espectrofotometria foi uma combinação dos procedimentos descritos por ALMEIDA-MURADIAN (1991)

e RAMOS (1991), utilizando-se um espectrofotômetro UV/VIS digital, marca HITACHI, modelo U-2001

Após a extração dos pigmentos, efetuou-se a evaporação do extrato em éter de petróleo contendo os carotenóides em evaporador rotatório à vácuo, marca Tecnal, modelo TE 120, a uma temperatura de 32-33 °C, por 10 minutos. Em seguida os pigmentos foram redissolvidos em volume conhecido de éter de petróleo, 10 ml, acondicionados em frascos escuros, cor âmbar, protegidos com papel alumínio e armazenados em freezer, para evitar degradação dos carotenóides. Prosseguiu-se as análises no mesmo dia. Uma varredura do espectro (350 a 600 nm) foi realizada para verificar o comprimento de onda de máxima absorção. As amostras foram lidas a 449 nm e o cálculo da concentração de carotenóides totais foi efetuado utilizando-se a equação:

$$\text{mcg/g} = \frac{\text{volume} \times \text{absorvância} \times 10^4 \times \text{diluição}}{\text{peso da amostra} \times E_{1\text{cm}}^{1\%}}$$

O coeficiente de absorvidade molar ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) utilizado para o cálculo do teor de carotenóides totais foi 2.592, segundo recomendações preconizadas por RODRIGUEZ-AMAYA, (1989).

Os resultados finais foram expressos em microgramas de carotenóides totais por grama da amostra (mcg/g).

### **3.4.3. Determinação de $\beta$ -Caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência CLAE**

A determinação do  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** foi feita de acordo procedimentos descritos por SANT'ANA, (1995), com algumas modificações.

#### **3.4.3.1. Concentração das Amostras**

Após a extração dos pigmentos, efetuou-se a evaporação do extrato contendo os carotenóides, em éter de petróleo em evaporador rotatório à vácuo, marca Tecnal, modelo TE 120, a uma temperatura de 32-33 °C, por 10 minutos. Em seguida, os pigmentos foram redissolvidos em volume conhecido de éter de petróleo, 10 ml, acondicionados em frascos escuros, cor âmbar, protegidos com papel alumínio e armazenados em freezer, para evitar degradação dos carotenóides. Prosseguiu-se as análises no mesmo dia.

#### **3.4.3.2 Preparo da Curva-Padrão e Quantificação do Padrão**

Pesou-se em balança analítica 50 mg de  $\beta$ -caroteno (BASF DO BRASIL) e diluiu-se em 500 ml de acetona. Novas diluições foram efetuadas para se obter soluções com níveis de concentração crescentes para que pudessem ser comparáveis com as concentrações presentes nas amostras.

Realizou-se a quantificação do padrão em éter de petróleo por espectrofotometria a partir da absorção máxima, utilizando-se a lei de BEER. Utilizou-se o valor 2.592 como coeficiente de absorvidade molar.

A construção das curvas foi obtida pela preparação de soluções com concentrações crescentes do padrão de  $\beta$ -caroteno. As soluções foram injetadas no cromatógrafo e os valores obtidos foram plotados no gráfico.

#### **3.4.3.3 Condições Cromatográficas**

As seguintes condições foram utilizadas para o presente experimento:  
Cromatógrafo líquido Shimadzu CLASS-VP, operando em sistema isocrático;  
Detector espectrofotométrico UV-visível, com detecção a 470 nm;  
Injetor Rheodyne, 7125 equipado com loop de 50  $\mu$ l;  
Coluna LiChrospher 100 RP-18 (5 micra), Merck, com 250 mm de comprimento e 4 mm de diâmetro interno;

Fase move: (metanol: acetonitrila : acetato de etila) 80 :10 :10;

Vazão: 1,7 ml/minuto

Tempo de corrida: 12 minutos.

A análise foi conduzida injetando-se 20 µl do padrão de β-caroteno e das amostras no cromatógrafo utilizando-se uma micro-seringa Hamilton, com capacidade de 50 µl.

Todos os reagentes utilizados foram da marca Merck, P.A., grau para HPLC, com exceção do éter de petróleo (P.E. 30 - 60°C) e acetonas p.a. Imediatamente antes do uso os reagentes foram filtrados em sistema Millipore de filtração a vácuo e a seguir degasificados sob ultra-som. As amostras e padrões foram filtrados em Millipore equipado com membranas FH 1300 de 0,45 micra de diâmetro de poro.

#### **3.4.3.4 Quantificação de β-Caroteno**

Os valores da área obtidos para as amostras analisadas foram utilizados para cálculo da concentração de β-caroteno, usando-se as equações obtidas anteriormente. O valor real da concentração nas amostras foi obtido pelos cálculos das diluições realizadas.

Os resultados finais foram expressos em microgramas de β-caroteno por grama da amostra (mcg/g).

### **3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA**

As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa GENES, da Universidade Federal de Viçosa.

Realizou-se análise de variância com a aplicação do teste F para verificar a existência de efeitos significativos de tratamento e dos efeitos significativos do período de colheita dentro de cada cultivar. Realizou-se a análise de regressão polinomial até terceiro grau para período de colheita dentro de cada tratamento e aplicou-se o teste de Tukey para as médias dos tratamentos dentro de cada período ao nível de significância de 5% de probabilidade.

As correlações entre os teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** do sistema Hunter e os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** do sistema CIELAB, foram estabelecidas por regressões polinomiais e múltiplas. A escolha da equação de regressão mais adequada foi feita com base no método de *all possible regression*, proposto por DRAPER E SMITH (1981), que consiste basicamente em:

- a) Reunir as equações em grupos que contenham uma, duas e três variáveis independentes;
- b) Escolher, dentro de cada grupo de equações, a equação com melhor ajuste, maior coeficiente de determinação,  $R^2$ ;
- c) Dentre as equações escolhidas, escolher aquela que tiver melhor análise de resíduos e menor número de variáveis independentes.
- d) As equações obtidas por espectrofotometria e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** foram comparadas pelo teste F de GRAYBILL (1976), a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISE DE CAROTENÓIDES EM RAÍZES DE CENOURA

#### 4.1.1. Análise de Carotenóides Totais por Espectrofotometria

O resumo da análise de variância, para os teores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 3.

QUADRO 3 – Resumo da análise de variância com aplicação do teste F, para os teores de carotenóides totais em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.

FV		GL	Quadrado médio	F
Blocos		3	38,7431	36,4195
	Cultivare	13	2.713,6237	2.550,8777**
Época		3	33.462,8504	31455,9601**
Cultivar x Época		39	98,2681	92,3746**
Resíduo		159	1,0638	
CV (%)			1,22	

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observa-se, pelo teste F, que houve efeito significativo para cultivares, época de colheita e para a interação cultivares/época de colheita sobre os teores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey para cultivares dentro de cada período de colheita e aplicação da análise de regressão polinomial até terceiro grau para período dentro de cada cultivar.

As médias dos teores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias após o plantio são apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 – Médias dos teores de carotenóides totais em mcg/g, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	47,84 a	76,24 a	117,95 a	111,89 a
Alvorada	46,65 a	70,91 b	115,39 ab	110,13 a
Pop. 971272	46,45 a	70,64 b	114,30 b	108,95 a
Pop. 931177	42,50 b	67,51 c	97,41 c	92,32 b
Tropical	39,83 c	64,68 d	94,44 d	89,48 bc
Carandaí	37,99 d	59,49 e	91,39 e	86,66 cd
População RGS	36,69 de	58,69 e	88,73 e	84,10 d
Brasília ISLA	35,52 ef	53,34 f	81,11 f	76,92 e
Brazlândia	34,29 gf	52,11 fg	79,70 fg	75,52 ef
Brasília CNPH	33,01 gh	51,37 gh	78,30 gh	74,19 ef
Brasília HORTEC	32,32 h	49,64 h	77,27 gh	73,24 efg
Brasília Alta Seleção	31,55 h	47,83 i	75,99 hi	72,02 fg
Nantes	28,71 i	44,43 j	74,31 i	70,40 g
Brasília Raiz Longa	23,13 j	36,96 k	60,08 j	58,35 h

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

No sexagésimo dia de colheita as cultivares Nova Kuroda, Alvorada e a população 971272 apresentaram, respectivamente, os teores de 47,84; 46,65 e 46,45 que foram significativamente iguais entre si, mas mais elevados que as demais cultivares. A cultivar Raiz Longa apresentou o menor teor 23,13; diferindo dos demais cultivares. Entre as cultivares do grupo Brasília, a Brasília ISLA e a Brazlândia apresentaram valores significativamente não diferentes entre si, sendo que a Brasília ISLA diferiu dos demais ao nível de significância considerado.

A cultivar Carandaí, também derivada do grupo Brasília via seleção para melhor qualidade de raiz, apresentou valores de carotenóides totais superiores aos observados para as outras cultivares do grupo.

No octogésimo dia de colheita a cultivar Nova Kuroda apresentou o maior teor, 76,24, diferindo significativamente das demais cultivares. A cultivar Raiz Longa apresentou o menor teor, 36,96, também diferindo dos demais cultivares. Entre as cultivares Brasília, à semelhança do que ocorreu aos 60 dias, as cultivares Brasília ISLA e Brazlândia não apresentaram valores significativamente diferentes entre si. A Brasília ISLA diferiu das demais e a cultivar Brasília Alta Seleção apresentou o menor teor entre eles, 47,83, diferindo das demais ao nível de significância considerado.

No centésimo dia de colheita a cultivar Nova Kuroda apresentou o maior teor, 117,95, não diferindo significativamente do cultivar Alvorada, 115,39, mas diferindo dos demais. A cultivar Alvorada não diferiu da população 971272. A cultivar Brasília Raiz Longa apresentou o menor valor, 60,08 mcg/g, diferindo dos demais cultivares. Entre os cultivares do grupo Brasília, assim como aos 60 e 80 dias, a Brasília ISLA e a Brazlândia apresentaram os teores 81,11 e 79,70, significativamente iguais entre si, sendo que Brasília ISLA diferiu significativamente das demais materiais deste grupo ao nível de significância considerado.

No centésimo vigésimo dia de colheita, assim como no sexagésimo dia, as cultivares Nova Kuroda e Alvorada e a população 971272, apresentaram, teores significativamente iguais entre si, 111,89; 110,13 e 108,95, porém diferindo dos demais. A cultivar Raiz Longa apresentou o menor teor, 58,35; diferindo das demais cultivares. Entre os cultivares do grupo Brasília, a Brasília ISLA apresentou o maior valor, 76,92, porém, não diferindo significativamente dos cultivares: Brazlândia, 75,52, Brasília CNPH, 74,19 e Brasília HORTEC, 73,24. O cultivar Brasília Alta Seleção apresentou o menor valor 72,02 não diferindo significativamente da Brasília HORTEC ao nível de significância considerado.

#### 4.1.2. Análise de b-Caroteno por \_CLAE

O resumo da análise de variância, para os teores de  $\beta$ -caroteno, determinados por Cromatografia Líquida de alto Desempenho CLAE, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 3.

QUADRO 5 – Resumo da análise de variância com aplicação do teste F, para os teores de  $\beta$ -caroteno em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.

FV	GL	Quadrado médio	F
Blocos	3	37,0360	35,4717
Cultivare	13	2.792,4394	2.674,4942**
Época	3	34.514,1603	33.056,6415**
Cultivar x Época	39	99,2982	95,1041**
Resíduo	159	1,0441	
CV (%)	1,34		

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observa-se, pelo teste F, que houve efeito significativo para cultivares, época de colheita e para a interação cultivares/época de colheita sobre os teores de  $\beta$ -caroteno determinado por **CLAE**. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey para cultivares dentro de cada período de colheita e aplicação da análise de regressão polinomial até terceiro grau para período dentro de cada cultivar.

As médias dos teores de  $\beta$ -caroteno determinado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias após o plantio são apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 – Médias dos teores de  $\beta$ -caroteno em mcg/g, determinados por **CLAE**, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100, e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	48,61 a	77,52 a	119,98 a	113,39 a
Alvorada	47,91 a	72,11 b	117,38 ab	110,95 a
Pop. 971272	47,38 a	71,78 b	115,99 b	110,72 a
Pop. 931177	43,18 b	68,64 c	99,09 c	93,85 b
Tropical	40,47 c	65,76 d	96,07 d	90,96 bc
Carandaí	38,60 d	60,48 e	92,97 e	88,09 cd
População RGS	37,28 de	59,68 e	90,26 e	85,49 d
Brasília ISLA	36,09 ef	54,23 f	82,51 f	78,19 e
Brazlândia	34,84 fg	52,98 fg	81,08 fg	76,77 ef
Brasília CNPH	33,54 gh	52,23 g	79,65 gh	75,42 ef
Brasília HORTEC	32,83 h	50,48 h	78,61 gh	74,46 fg
Brasília Alta Seleção	32,05 h	48,64 i	77,30 hi	73,21 fg
Nantes	29,17 i	45,18 j	75,59 i	71,57 g
Brasília Raiz Longa	23,50 j	37,58 k	61,12 j	59,32 hc

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Considerando o sexagésimo dia de colheita as cultivares Nova Kuroda e Alvorada e a população 971272 apresentaram, respectivamente, os teores de 48,61; 47,91 e 47,38 que foram significativamente iguais entre si, mas mais elevados que os demais materiais. a cultivar Raiz Longa apresentou o menor teor, 23,50, diferindo das demais cultivares. Entre as cultivares do grupo Brasília, a Brasília ISLA e a Brazlândia apresentaram teores significativamente iguais entre si sendo que a Brasília ISLA diferiu dos demais.

No octogésimo dia de colheita a cultivar Nova Kuroda apresentou o maior teor 77,52, diferindo significativamente das demais cultivares. A cultivar Brasília Raiz Longa apresentou o menor teor, 37,58 diferindo dos demais cultivares. Entre as cultivares do grupo Brasília, assim como aos 60 dias, a Brasília ISLA e a Brazlândia apresentaram teores significativamente iguais entre si, 54,23 e 52,98, sendo que a

Brasília ISLA diferiu das demais e a cultivar Brasília alta Seleção apresentou o menor, 48,64, diferindo dos demais.

No centésimo dia de colheita a cultivar Nova Kuroda apresentou o maior teor, 119,98, porém, significativamente igual à da cultivar Alvorada, 117,38, mas diferindo das demais. A cultivar Alvorada não diferiu da população 971272, 115,99. A cultivar Brasília Raiz Longa apresentou o menor teor 61,12 diferindo das demais. Entre as cultivares do grupo Brasília, assim como aos 60 e 80 dias, a Brasília ISLA e a Brazlândia apresentaram valores significativamente iguais entre si, sendo que a Brasília ISLA diferiu significativamente das demais deste grupo.

No centésimo vigésimo dia de colheita, assim como no sexagésimo dia, as cultivares Nova Kuroda e Alvorada e a população 971272, apresentaram, valores significativamente iguais entre si, 113,39; 110,95 e 110,72, mas diferindo das demais. O cultivar Brasília Raiz Longa apresentou o menor teor, diferindo das demais. Entre as cultivares Brasília, a Brasília ISLA apresentou o maior teor não diferindo significativamente dos cultivares Brazlândia, Brasília CNPH e Brasília HORTEC. A cultivar Brasília Alta Seleção apresentou o menor.

Para todas as cultivares, nas duas metodologias empregadas e em todos os períodos de colheita, ocorreram diferenças significativas para os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno. O menor teor foi observado no sexagésimo dia de colheita e o maior no centésimo dia de colheita.

A cultivar Brasília Raiz Longa apresentou, em relação às outras cultivares, em todos os períodos de colheita praticados e nas duas metodologias utilizadas, os menores teores para carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno. Para essa cultivar os valores encontrados no sexagésimo e octogésimo dias de colheita diferiram significativamente entre si e daqueles encontrados no centésimo e centésimo vigésimo dias, porém, os valores encontrados para o centésimo dia foram significativamente iguais aos dos encontrados para o centésimo vigésimo.

Os teores de carotenóides totais para raízes de cenoura, observados neste experimento, podem ser considerados corretos, uma vez que se apresentam semelhantes àqueles encontrados na literatura, apesar de que na maioria das vezes, a literatura não citar a cultivar, período de colheita, condições de plantio, tipo de solo, tamanho de parcela, espaçamento entre linhas e plantas, adubação, controle de doenças e pragas e volume de irrigação, que influenciam, de modo geral,

conforme afirmações de os teores de carotenóides em raízes de cenoura(SIMON e PETERSON 1979; SIMON et al., 1980a, 1982; RUBATZKY et al., 1999).

MOSTAFA e GABELMAN (1967) atribuíram para os cultivares Imperator, Royal Chantenay e Tendersweet os teores 106,90; 77,90 e 70,60 mcg/g de carotenóides totais para cenouras. BAUERNFEIND (1972), em trabalho de revisão sobre carotenóides com atividade pró-vitáminica A em vários alimentos, considerou para a cenoura o teor médio de 70 mcg/g para o conteúdo de carotenóides totais.

BUREAU e BUSHWAY (1986), encontraram teores de 76,86; 98,58 e 109,38 mcg/g para carotenóides em cultivares de cenoura colhidos nos meses de novembro, março e julho, respectivamente.

BUSHWAY (1986), determinando carotenóides totais em nove materiais de cenoura, considerou 93,38 mcg/g como um teor médio.

ALMEIDA e PENTEADO (1987) quantificaram os principais carotenóides com atividade pró-vitáminica A da cenoura, em materiais oriundos do Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) e da Companhia de Entrepósitos e Armazéns de São Paulo (CEAGESP). Para os primeiros os autores atribuíram teores médios iguais a 66,51 mcg/g e para os segundos 55,56 mcg/g.

ALMEIDA e PENTEADO (1997) quantificaram, por **CLAE**, carotenóides totais ( $\alpha$  e  $\beta$ -caroteno) em dois cultivares de cenoura, Brasília e Beta III, obtidos junto a ASGROW do Brasil Sementes Ltda. Para o primeiro atribuíram o teor de 44,87 mcg/g e para o segundo 27,42 mcg/g. Estes dados diferem dos valores encontrados por RUBATZKY et al, (1999) para a cultivar Beta III bem como dos valores apresentados nos Quadros 4 e 6. Tais diferenças podem estar relacionadas a fatores climáticos ou outros fatores não relatados na metodologia de análise utilizada pelos autores.

KONINGS e ROOMANS (1997) atribuíram a cultivares de cenoura teores de carotenóides totais iguais a 62,19 mcg/g.

BEN-AMOTZ e FISHLER (1998) encontraram para cultivares de cenoura mais comumente consumidos em Israel, teores de aproximadamente 161,67 mcg/g de carotenóides totais.

RUBATZKY et al., (1999) reportaram para as cultivares Chantenay, Nantes, Hi Colour 9, Danvers 126, Imperator, A Plus e Beta III teores de carotenóides totais da ordem de 41, 59, 65, 71, 78, 168 e 270 mcg/g, respectivamente.

Os Quadros 7 e 8, nos mostram, respectivamente, os coeficientes de correlação de Spearman entre os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno para as diferentes épocas de colheita em 14 cultivares de cenouras. Estatisticamente podemos concluir que houve correlação positiva entre todas as épocas de colheita, indicando com isto, que a seleção de novos cultivares de cenoura com relação a maiores teores de carotenóides, poderá ser feitas aos 60 dias após o plantio, uma vez que o melhorista poderá predizer o teor de carotenóides aos 120 dias por meio das equações ajustadas, modelo cúbico.

QUADRO 7 – Estimativa de Correlação de Spearman entre teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno obtidos em diferentes épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.

Épocas de Colheita (dias)	Épocas de Colheita (dias)			
	60	80	100	120
60		0,9958*	0,9938*	0,9950*
80			0,9982*	0,9980*
100				0,9993*
120				

QUADRO 8 – Estimativa de Correlação de Spearman entre teores de  $\beta$ -caroteno obtidos em diferentes épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.

Épocas de Colheita (dias)	Épocas de Colheita (dias)			
	60	80	100	120
60		0,9971*	0,9964*	0,9959*
80			0,9979*	0,9970*
100				0,9987*
120				

#### 4.1.2.1 Quantificação do Padrão de $\beta$ -Caroteno

O padrão de  $\beta$ -caroteno (BASF do Brasil) foi quantificado por espectrofotometria a 449 nm, utilizando-se como coeficiente de absorvidade molar o valor 2.592. Este procedimento permite verificar o grau de pureza do padrão utilizado possibilitando calcular com precisão as concentrações utilizadas na elaboração das curvas-padrão (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989).

O Quadro 9 mostra os valores para concentração de  $\beta$ -caroteno e o grau de pureza encontrado para este padrão utilizado. Constatou-se que o mesmo apresentou grau de pureza de cerca de 54% nas quatro épocas de análises.

QUADRO 9 – Valores médios encontrados para concentração (mcg/g) e grau de pureza de um padrão de  $\beta$ -caroteno.

Período	Valores médios*			
	Absorvância <sup>1</sup>	Conc. Est. <sup>2</sup>	Conc. Obs. <sup>3</sup>	Pureza (%)
60 dias	0,426	6,0000	3,2870	54,78
80 dias	0,424	6,0000	3,2716	54,53
100 dias	0,425	6,0000	3,2793	54,65
120 dias	0,424	6,0000	3,2870	54,78

\* média de três determinações

<sup>1</sup> Leituras realizadas a 450 nm

<sup>2</sup> Concentração estimada pela lei de Beer

<sup>3</sup> Concentração observada

#### 4.1.2.2. Curvas-Padrão para Quantificação de $\beta$ -Caroteno por CLAE

As curvas-padrão e as equações entre as concentrações de  $\beta$ -caroteno e as áreas dos picos correspondentes, referentes aos período de colheita de 60, 80, 100 e 120 dias são mostradas nas Figuras 13, 14, 15 e 16, respectivamente. Os teores de carotenóides totais em todos as cultivares de cenoura, foram calculados a partir das equações de regressão linear obtidas.

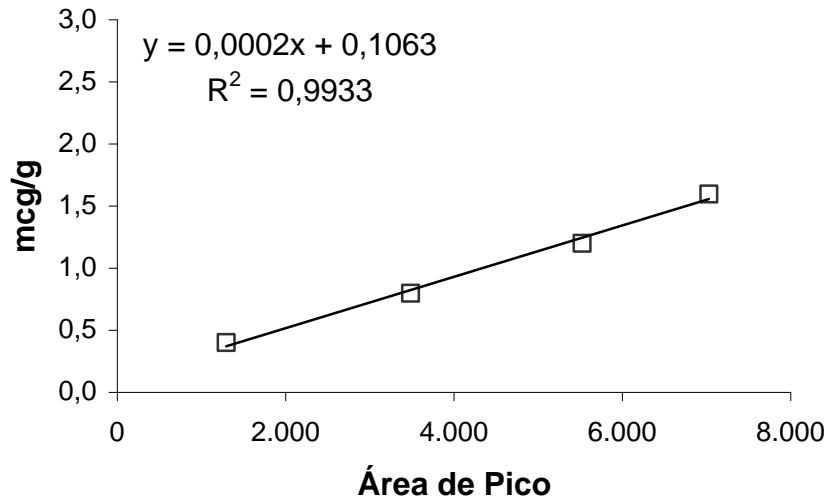


FIGURA 13 – Relação entre a concentração de  $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de  $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 60 dias.

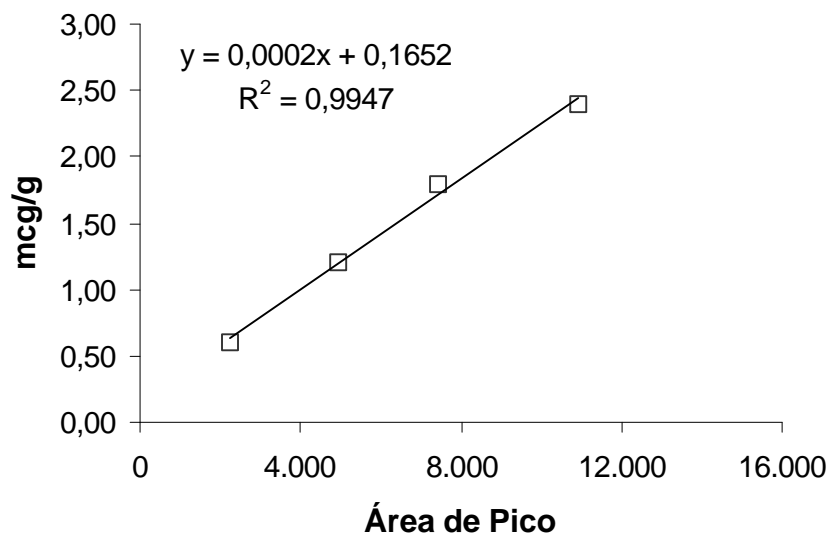


FIGURA 14 – Relação entre a concentração de  $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de  $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 80 dias.

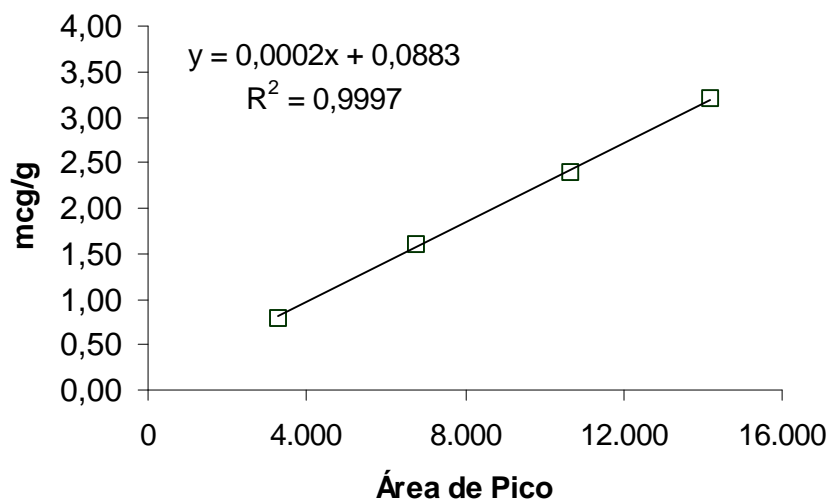


FIGURA 15 – Relação entre a concentração de  $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de  $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 100 dias.

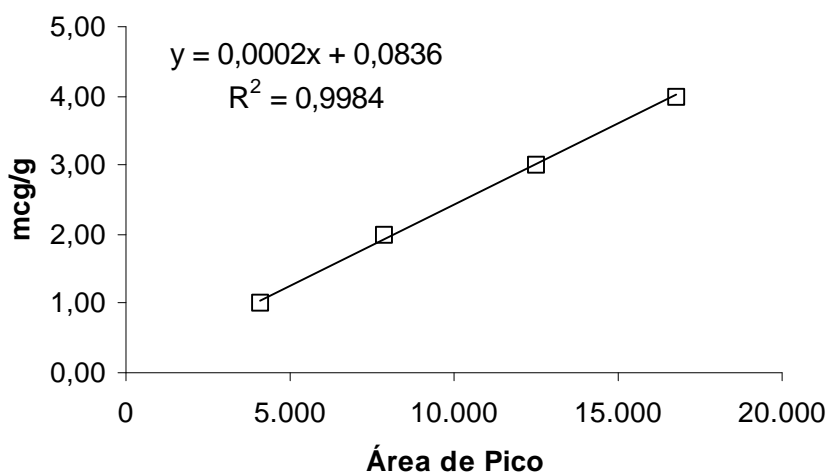


FIGURA 16 – Relação entre a concentração de  $\beta$ -caroteno e a área do pico correspondente, empregada para cálculo da concentração de  $\beta$ -caroteno em cenoura colhida aos 120 dias.

#### 4. 2. EFEITO DA ÉPOCA DE COLHEITA NOS TEORES DE CAROTENÓIDES

O resumo da análise de variância com a decomposição da soma de quadrado atribuído a efeito de época dentro de cultivares, dos valores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, para épocas de colheita, 60, 80, 100, e 120 dias após o plantio, em 14 cultivares de cenoura, são apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10 – Resumo da análise de variância baseado na decomposição da soma de quadrados época/cultivares dos valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por **CLAE**, para épocas de colheita em 14 cultivares de cenoura.

Cultivar	Quadrados médios (Época/Cultivares)	
	Esp <sup>1</sup>	CLAE <sup>2</sup>
Nova Kuroda	4289,7205**	4419,4958**
Alvorada	4295,2110**	5284,8700**
Pop. 971272	4165,2564**	4271,0894**
Pop. 931177	2552,7478**	2644,3191**
Tropical	2529,8338**	2620,0277**
Carandaí	2486,7559**	2575,4822**
População RGS	2336,3451**	2419,2847**
Brasília ISLA	1818,4938**	1883,2850**
Brazlândia	1802,1819**	1866,7889**
Brasília CNPH	1782,3641**	1845,7906**
Brasília HORTEC	1777,6990**	1841,0405**
Brasília Alta Seleção	1757,2326**	1819,7116**
Nantes	1882,7027**	1949,1298**
Brasília Raiz Longa	1263,7916**	1308,5700**

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

<sup>1</sup> Carotenóides Totais determinados por espectrofotometria

<sup>2</sup>  $\beta$ -caroteno determinados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**

Constatou-se, que houve efeito significativo para época de colheita sobre os valores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, em cada cultivar. Desta forma a análise

estatística teve continuidade com a aplicação da análise de regressão polinomial até terceiro grau para as épocas de colheita de 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, dentro de cada cultivar.

O Resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau dos valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por **CLAE**, para épocas de colheita dentro de cada cultivar são apresentados nos Quadros 11 e 12.

QUADRO 11 - Resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau dos valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, para épocas de colheita dentro de cada cultivar.

Cultivar	Quadrados médios		
	Linear	Quadrática	Cúbica
Nova Kuroda	10.935,5276**	1.187,6639**	745,9700**
Alvorada	11.035,6020**	871,4304**	978,6005**
Pop. 971272	10.685,1399**	872,3162**	938,3130**
Pop. 931177	6.434,1813**	905,8595**	318,2025**
Tropical	6.386,3806**	888,9342**	314,1866**
Carandaí	6.329,3262**	688,0129**	442,9287**
População RGS	5.934,8738**	709,2900**	364,8715**
Brasília ISLA	4.619,2801**	484,6600**	351,5411**
Brazlândia	4.576,8251**	484,4400**	345,2805**
Brasília CNPH	4.528,3946**	504,7885**	313,9093**
Brasília HORTEC	4.524,7840**	456,1428**	352,1703**
Brasília Alta Seleção	4.474,0874**	410,3663**	387,2440**
Nantes	4.802,8302**	385,5332**	459,7446**
Brasília Raiz Longa	3.316,0850**	242,1136**	233,1762**

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

QUADRO 12 - Resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau dos valores de  $\beta$ -caroteno, determinados por CLAE, para época de colheita dentro de cada cultivar.

Cultivar	Quadrados médios		
	Linear	Quadrática	Cúbica
Nova Kuroda	11.213,9008**	1.260,9601**	783,6268**
Alvorada	10.986,5625**	938,0437**	1.059,4585**
Pop. 971272	10.972,7386**	880,3089**	960,2208**
Pop. 931177	6.659,6076**	942,3365**	331,0132**
Tropical	6.608,9755**	924,3120**	326,7957**
Carandaí	6.549,8472**	716,2314**	460,3681**
População RGS	6.140,7601**	738,2089**	378,8851**
Brasília ISLA	4.779,9228**	504,6762**	365,2560**
Brazlândia	4.737,1959**	504,3393**	358,8316**
Brasília CNPH	4.686,0850**	525,0972**	326,1896**
Brasília HORTEC	4.682,8711**	474,6951**	365,5520**
Brasília Alta Seleção	4.629,4681**	427,7658**	401,9009**
Nantes	4.968,9705**	401,3010**	477,1180**
Brasília Raiz Longa	3.431,2831**	252,2538**	242,1732**

\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se, pelo resumo da análise de regressão polinomial até terceiro grau para os valores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por **CLAE** (Quadros 11 e 12), para época de colheita dentro de cada cultivar, que para todas as cultivares tanto a regressão linear, quanto a quadrática e cúbica foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Os Quadros 13 e 14 mostram as equações das regressões lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para épocas de colheita aos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno em 14 cultivares de cenoura colhidos aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio.

QUADRO 13 - Equações de regressões polinomiais ajustadas para época de colheita, para valores de carotenóides totais, determinados por espectrofotometria, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Equação ajustada	R <sup>2</sup>
Nova Kuroda	$y = 1,1692x - 16,746$	0,8497
Alvorada	$y = 1,1746x - 19,944$	0,8564
Pop. 971272	$y = 1,1557x - 18,933$	0,8550
Pop. 931177	$y = 0,9718x - 11,277$	0,8964
Tropical	$y = 0,8934x - 8,301^o$	0,8414
Carandaí	$y = 0,8895x - 11,173$	0,8484
População RGS	$y = 0,8613x - 10,469$	0,8468
Brasília ISLA	$y = 0,8049x - 11,464$	0,8481
Brazlândia	$y = 0,7563x - 7,66$	0,8465
Brasília CNPH	$y = 0,7524x - 8,501$	0,8469
Brasília HORTEC	$y = 0,7656x - 11,464$	0,8466
Brasília Alta Seleção	$y = 0,7478x - 10,459$	0,8487
Nantes	$y = 0,7749x - 15,281$	0,8504
Brasília Raiz Longa	$y = 0,6585x - 14,388$	0,8890
Nova Kuroda	$y = -0,0215x^2 + 5,047x - 180,48$	0,9420
Alvorada	$y = -0,0185x^2 + 4,4956x - 160,16$	0,9240
Pop. 971272	$y = -0,0185x^2 + 4,4789x - 159,25$	0,9249
Pop. 931177	$y = -0,0157x^2 + 3,7955x - 130,50$	0,9711
Tropical	$y = -0,0186x^2 + 4,2482x - 149,95$	0,9586
Carandaí	$y = -0,0164x^2 + 3,8403x - 135,77$	0,9406
População RGS	$y = -0,0166x^2 + 3,8572x - 136,96$	0,9480
Brasília ISLA	$y = -0,0156x^2 + 3,6185x - 130,26$	0,9504
Brazlândia	$y = -0,0138x^2 + 3,2324x - 112,21$	0,9361
Brasília CNPH	$y = -0,014x^2 + 3,2791x - 115,19$	0,9412
Brasília HORTEC	$y = -0,0117x^2 + 2,8649x - 100,10$	0,9095
Brasília Alta Seleção	$y = -0,0127x^2 + 3,026x - 106,65$	0,9265
Nantes	$y = -0,0123x^2 + 2,9844x - 108,57$	0,9186
Brasília Raiz Longa	$y = -0,0091x^2 + 2,2998x - 83,69$	0,9436
Nova Kuroda	$y = -0,0013x^3 + 0,3221x^2 - 24,836x + 653,4$	1,0
Alvorada	$y = -0,0015x^3 + 0,3751x^2 - 29,727x + 794,79$	1,0
Pop. 971272	$y = -0,0014x^3 + 0,367x^2 - 29,039x + 776,05$	1,0
Pop. 931177	$y = -0,0007x^3 + 0,1805x^2 - 13,267x + 345,61$	1,0
Tropical	$y = -0,0008x^3 + 0,2043x^2 - 15,142x + 391,14$	1,0
Carandaí	$y = -0,001x^3 + 0,2484x^2 - 19,185x + 506,74$	1,0
População RGS	$y = -0,0009x^3 + 0,2236x^2 - 17,035x + 446,03$	1,0
Brasília ISLA	$y = -0,0008x^3 + 0,2032x^2 - 15,415x + 400,86$	1,0
Brazlândia	$y = -0,0009x^3 + 0,22x^2 - 17,093x + 454,95$	1,0
Brasília CNPH	$y = -0,0008x^3 + 0,2089x^2 - 16,111x + 425,9$	1,0
Brasília HORTEC	$y = -0,001x^3 + 0,2699x^2 - 21,623x + 583,22$	1,0
Brasília Alta Seleção	$y = -0,0009x^3 + 0,2392x^2 - 18,837x + 502,90$	1,0
Nantes	$y = -0,001x^3 + 0,2574x^2 - 20,466x + 545,81$	1,0
Brasília Raiz Longa	$y = -0,0007x^3 + 0,1775x^2 - 13,926x + 369,08$	1,0

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 14 - Equações de regressões polinomiais ajustadas para época de colheita, para valores de  $\beta$ -caroteno, determinados por **CLAE**, em 14 cultivares de cenoura colhidos aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Equação ajustada	R <sup>2</sup>
Nova Kuroda	$y = 1,1839x - 16,674$	0,8457
Alvorada	$y = 1,1719x - 18,384$	0,8461
Pop. 971272	$y = 1,1712x - 18,946$	0,8564
Pop. 931177	$y = 0,9119x - 5,884$	0,8391
Tropical	$y = 0,9089x - 8,486$	0,8408
Carandaí	$y = 0,9048x - 11,397$	0,8477
População RGS	$y = 0,8760x - 10,667$	0,8461
Brasília ISLA	$y = 0,7729x - 6,806$	0,8460
Brazlândia	$y = 0,7696x - 7,849$	0,8459
Brasília CNPH	$y = 0,7654x - 8,674$	0,8462
Brasília HORTEC	$y = 0,7650x - 9,762$	0,8479
Brasília Alta Seleção	$y = 0,7607x - 10,663$	0,8481
Nantes	$y = 0,7882x - 15,570$	0,8498
Brasília Raiz Longa	$y = 0,655x - 13,57$	0,8741
Nova Kuroda	$y = -0,0222x^2 + 5,1787x - 185,35$	0,9409
Alvorada	$y = -0,0191x^2 + 4,6177x - 163,88$	0,9183
Pop. 971272	$y = -0,0185x^2 + 4,509x - 159,88$	0,9251
Pop. 931177	$y = -0,0192x^2 + 4,369x - 151,85$	0,9582
Tropical	$y = -0,019x^2 + 4,3289x - 152,89$	0,9584
Carandaí	$y = -0,0167x^2 + 3,9153x - 138,51$	0,9404
População RGS	$y = -0,017x^2 + 3,9327x - 139,72$	0,9478
Brasília ISLA	$y = -0,014x^2 + 3,2996x - 113,49$	0,9353
Brazlândia	$y = -0,014x^2 + 3,2964x - 114,53$	0,9359
Brasília CNPH	$y = -0,0143x^2 + 3,3427x - 117,5$	0,941
Brasília HORTEC	$y = -0,0136x^2 + 3,2164x - 113,26$	0,9339
Brasília Alta Seleção	$y = -0,0129x^2 + 3,0872x - 108,89$	0,9264
Nantes	$y = -0,0125x^2 + 3,0416x - 110,71$	0,9184
Brasília Raiz Longa	$y = -0,0099x^2 + 2,4415x - 89,00$	0,9383
Nova Kuroda	$y = -0,0013x^3 + 0,33x^2 - 25,448x + 669,28$	1,0
Alvorada	$y = -0,0015x^3 + 0,3904x^2 - 30,999x + 829,98$	1,0
Pop. 971272	$y = -0,0014x^3 + 0,3712x^2 - 29,385x + 785,93$	1,0
Pop. 931177	$y = -0,0008x^3 + 0,2098x^2 - 15,545x + 403,84$	1,0
Tropical	$y = -0,0008x^3 + 0,2085x^2 - 15,453x + 399,12$	1,0
Carandaí	$y = -0,001x^3 + 0,2532x^2 - 19,555x + 516,42$	1,0
População RGS	$y = -0,0009x^3 + 0,2279x^2 - 17,361x + 454,46$	1,0
Brasília ISLA	$y = -0,0009x^3 + 0,2264x^2 - 17,607x + 469,91$	1,0
Brazlândia	$y = -0,0009x^3 + 0,2242x^2 - 17,425x + 463,68$	1,0
Brasília CNPH	$y = -0,0008x^3 + 0,213x^2 - 16,425x + 434,1$	1,0
Brasília HORTEC	$y = -0,0009x^3 + 0,2267x^2 - 17,686x + 470$	1,0
Brasília Alta Seleção	$y = -0,0009x^3 + 0,2392x^2 - 18,837x + 502,90$	1,0
Nantes	$y = -0,001x^3 + 0,2623x^2 - 20,854x + 556,09$	1,0
Brasília Raiz Longa	$y = -0,0007x^3 + 0,1858x^2 - 14,582x + 386,02$	1,0

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Constatou-se, apesar da significância para os modelos linear e quadrático, que a relação cúbica é a que melhor explica o comportamento dos valores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno nas épocas de colheita praticadas. As Figuras 18 e 19 reforçam a constatação deste comportamento, pois mostram os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno aumentando até atingirem um ponto de máximo, decrescendo a partir daí.

Considerando as equações de regressão, modelo cúbico, pode-se determinar para cada cultivar com base nos valores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno a época ideal de se efetuar a colheita desses materiais, bastando para isso determinar os pontos de mínimo e de máximo das equações dentro do período colheita praticado e estimar para estas datas os valores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno (Quadro 15).

QUADRO 15 – Valores mínimos e máximos para carotenóides, em mcg/g, e respectivas épocas de colheita, estimados a partir das equações de regressão, em 14 cultivares de cenoura.

Cultivar	Carotenóides			
	Mínimo	Dias	Máximo	Dias
Nova Kuroda	48,60	60	126,78	109
Alvorada	47,31	62	125,24	109
Pop. 971272	46,96	62	123,94	109
Pop. 931177	43,17	62	103,52	109
Tropical	40,48	60	100,62	109
Carandaí	38,60	60	98,31	109
População RGS	37,27	60	95,05	109
Brasília ISLA	36,09	60	87,17	109
Brazlândia	34,85	60	85,75	109
Brasília CNPH	33,53	60	84,02	109
Brasília HORTEC	32,80	60	83,26	109
Brasília Alta Seleção	31,89	60	82,02	109
Nantes	28,71	60	80,90	109
Brasília Raiz Longa	23,64	60	65,63	109

Verificou-se pelo Quadro 15 que os teores máximos estimados para carotenóides para todas as cultivares ocorreu aos 109 dias. Este fato, aliado a constatação feita por SIMON et al., (1982) onde a ocorrência de temperaturas maiores do que 30 °C reduz drasticamente a síntese de pigmentos carotenóides. Sugere-se que estudos regionais sobre acumulação de carotenóides em raízes de cenoura, devem ser executados particularmente na região nordeste do Brasil, onde a colheita é executada na maioria das vezes aos 80 –90 dias após a semeadura.

O comportamento verificado para a síntese de carotenóides, nas épocas de colheita praticadas, e no modelo sugerido, pode ser explicado se considerar que esta síntese é controlada por genes que apresentam ação até uma determinada fase de desenvolvimento da planta. A partir desta fase estes genes deixam de exercer sua função. Assim o decréscimo das quantidades de carotenóides nas diferentes cultivares após 110 dias, pode ser explicado em decorrência do atingimento do máximo conteúdo de carotenóides dar-se mais cedo do que o máximo de matéria seca, e o teor de carotenóides tornar-se diluído em relação aos valores determinados aos 100 dias.

Outra hipótese poderia estar relacionada à utilização de pigmentos carotenóides em rotas metabólicas que estejam relacionadas às alterações que ocorrem no xilema das raízes depois de determinada idade das plantas. Exemplo deste fato é a presença de ombro verde ou roxo que evidencia a formação de xantofilas pela hidroxilação do  $\beta$ -caroteno conforme pode ser observado pela síntese dos estágios da biossíntese dos carotenóides (Figura 10).

Observou-se comportamento semelhante para os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno entre as cultivares em relação às épocas de colheita praticadas (Figuras 17 e 18). A semelhança entre as curvas, para todas as cultivares, é um indicativo de que o processo biossintético dos carotenóides em cenouras, segue um padrão definido e uniforme, independente da cultivar. Assim, para um mesmo trato cultural, uma mesma época de plantio, a síntese de carotenóides em cenouras segue um comportamento definido e uniforme.

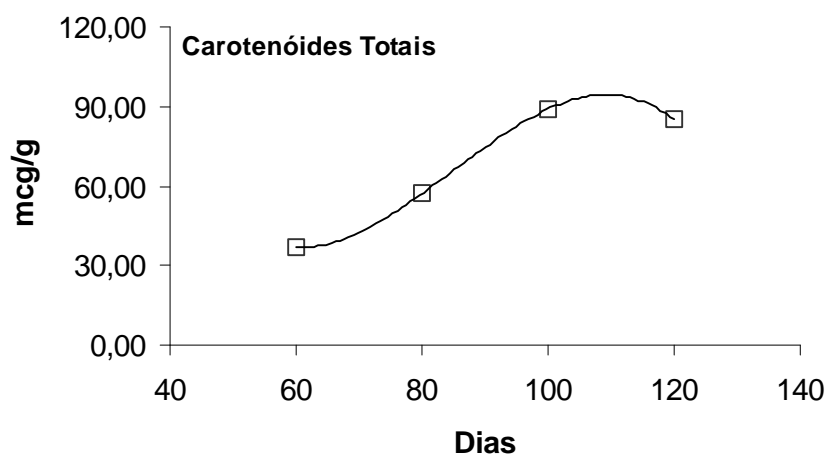


FIGURA 17 – Valores médios para carotenóides totais estimados em 14 cultivares de cenoura, em função da época de colheita, (modelo cúbico).

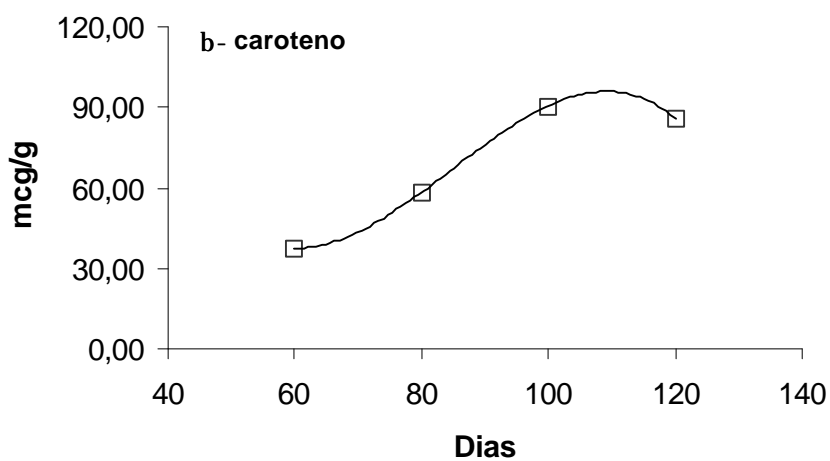


FIGURA 18 – Valores médios para  $\beta$ -caroteno estimados em 14 cultivares de cenoura, em função da época de colheita, (modelo cúbico).

### 4.3. ANÁLISE DE COR EM RAÍZES DE CENOURA

#### 4.3.1. MEDIDAS NO SISTEMA HUNTER

##### 4.3.1.1. Valores para Luminosidade (L)

O resumo da análise de variância para os valores **L**, obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio é apresentado no Quadro 16.

QUADRO 16 - Resumo da análise de variância dos valores **L**, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,0637	2,5526	2,1723	0,3177
Cultivares	13	0,7996**	0,9059*	1,4873**	2,5382**
Resíduo	39	0,2736	0,3469	0,4343	0,2799
CV (%)		1,16	1,32	1,42	1,15

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores **L**, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **L** obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 17.

QUADRO 17 – Valores L, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	44,36 Ab	43,45 Ab	45,59 Ac	45,15 Ae
Alvorada	44,49 Aab	44,44 Aab	45,70 Ac	45,10 Ae
Pop. 971272	44,96 Aab	44,14 Aab	45,94 Abc	45,69 Abcde
Pop. 931177	44,70 Aab	45,18 Aa	46,22 Aabc	45,16 Ae
Tropical	45,51 Aab	45,42 Aa	46,77 Aabc	46,59 Aabcd
Carandaí	44,97 Aab	44,45 Aab	46,99 Aabc	46,95 Aab
População RGS	44,84 Aab	44,53 Aab	46,39 Aabc	46,81 Aabc
Brasília ISLA	45,55 Aab	44,30 Aab	46,58 Aabc	45,59 Acde
Brazlândia	45,53 Aab	44,56 Aab	46,09 Aabc	45,93 Aabcde
Brasília CNPH	45,33 Aab	44,21 Aab	46,32 Aabc	45,29 Ade
Brasília HORTEC	44,74 Aab	44,52 Aab	46,76 Aabc	45,97 Aabcde
Brasília Alta SEL.	44,66 Aab	44,16 Aab	46,54 Aabc	47,00 Aab
Nantes	45,77 Aa	44,78 Aab	47,49 Aab	47,19 Aa
Brasília Raiz Longa	44,72 Aab	44,79 Aa	47,68 Aa	47,04 Aa

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se aos 60 dias que a cultivar Nova Kuroda apresentou o menor valor, 44,36 e a cultivar Nantes o maior 45,77. Excetuando-se essas duas cultivares que apresentaram diferenças significativas entre si, no nível de significância considerado, as demais não diferiram significativamente entre si. Aos 80 dias Observou-se um comportamento semelhante entre todas as cultivares com que os valores variando de 43,45 para a cultivar Nova Kuroda a 45,77 para a cultivar Nantes.

Aos 100 dias os valores variaram de 45,59 a 47,68 para as cultivares Nova Kuroda e Raiz longa, respectivamente. Com exceção das cultivares Nova Kuroda e Alvorada que não diferiram significativamente entre si as demais apresentaram diferenças significativas ao nível de significância considerado.

Observou-se aos 120 dias que os valores variaram de 45,10 a 47,19 para as cultivares Alvorada e Nantes, respectivamente. Com exceção das cultivares Nova Kuroda e Alvorada que não diferiram significativamente entre si, mas diferiram das cultivares Raiz Longa e Nantes, as demais não apresentaram diferenças significativas. Entre as cultivares do grupo Brasília a Brasília Alta Seleção apresentou diferença significativa para a Brasília CNPH e ISLA.

Não se observou, para nenhuma das cultivares, diferenças significativas para os valores de **L** entre as épocas de colheita praticadas ao nível de significância considerado.

#### 4.3.1.2. Valores para Vermelho (a)

O resumo da análise de variância para os valores **a**, obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio é apresentado no Quadro 18.

QUADRO 18 - Resumo da análise de variância dos valores **a**, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,4709	0,6950	1,0014	0,6691
Cultivares	13	8,2677**	11,5683**	17,1437**	9,0401**
Resíduo	39	0,0492	0,0667	0,1104	0,1137
CV (%)		1,25	1,19	1,26	1,39

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de **a**, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **a** obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 19.

QUADRO 19 – Valores a, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	21,15 Aa	25,62 Ba	31,23 Da	27,42 Ca
Alvorada	20,01 Ab	24,25 Bb	29,56 Db	26,08 Cb
Pop. 971272	19,00 Ac	22,98 c	28,07 Dc	25,70 Cbc
Pop. 931177	18,26 Ad	22,41 Bcd	27,45 Dcd	25,29 Cbcd
Tropical	17,88 Ade	22,03 Bd	26,95 Dd	24,91 Ccde
Carandaí	17,67 Aef	21,77 Bde	26,63 Dde	24,67 Cdef
População RGS	17,52 Aef	21,33 Bef	25,92 Def	24,38 Cefg
Brasília ISLA	17,33 Aefg	21,13 Bef	25,75 Df	24,10 Cefg
Brazlândia	17,18 Afgh	20,96 Bfg	25,53 Dfg	23,94 Cfgh
Brasília CNPH	16,95 Aghi	20,79 Bfgh	25,36 Dfgh	23,63 Cghi
Brasília HORTEC	16,74 Ahi	20,48 Bghi	24,90 Dghi	23,18 Chij
Brasília Alta Seleção	16,57 Ai	20,27 Bhi	24,64 Dhij	22,86 Cij
Nantes	16,47 Aij	19,91 Bij	24,42 Dij	22,48 Cj
Brasília Raiz Longa	15,98 Aj	19,49 Bj	23,86 Dj	21,89 Ck

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se para todas as épocas de colheita praticadas que a cultivar Nova Kuroda apresentou os maiores valores e a Raiz Longa os menores. Ambas diferindo significativamente entre si e das demais cultivares ao nível de significância considerada.

Entre as cultivares do grupo Brasília os maiores e menores valores observados, em todas as épocas de colheita praticadas, foram para as cultivares Brasília ISLA e Brasília Alta Seleção, respectivamente. Não se observou diferença

significativa entre as cultivares Brasília ISLA, Brazlândia e CNPH, assim como não ocorreram diferenças entre Brasília CNPH, HORTEC e Brasília Alta Seleção.

Para todas as cultivares, semelhantemente aos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, ocorreram diferenças significativas para os valores de  $a^*$  entre as épocas de colheitas praticadas. O menor valor foi observado no sexagésimo dia e o maior no centésimo.

#### 4.3.1.3. Valores para Amarelo (b)

O resumo da análise de variância para os valores **b**, obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 20.

QUADRO 20 - Resumo da análise de variância dos valores **b**, sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,4874	2,8788	1,7694	1,9977
Cultivares	13	0,6825**	0,6437*	6,1181**	3,2944**
Resíduo	39	0,0492	0,2969	0,1843	0,4258
CV (%)		2,53	2,89	2,04	3,30

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de **b**, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **b** obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 21.

QUADRO 21 – Valores b, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	18,57 Aab	18,84 Aa	23,03 BC b	21,65 ABa
Alvorada	18,61 Aab	19,15 Aa	24,41 BCa	20,79 ABab
Pop. 971272	19,63 Aa	19,53 Aa	21,20 Acd	20,02 Aabcd
Pop. 931177	18,25 Ab	19,44 Aa	21,36 Ac	20,15 Aabcd
Tropical	18,53 Aab	19,38 Aa	20,75 Acde	20,18 Aabc
Carandaí	18,33 Ab	18,83 Aa	20,61 Acde	20,55 Aab
População RGS	18,00 Ab	18,39 Aa	20,53 Acde	20,14 Aabcd
Brasília ISLA	18,76 Aab	18,36 Aa	20,91 Acd	19,36 Abcd
Brazlândia	18,07 Ab	19,06 Aa	20,29 Acde	19,52 Abcd
Brasília CNPH	18,47 Aab	18,88 Aa	20,33 Acde	18,89 Acd
Brasília HORTEC	17,96 Ab	18,68 Aa	20,86 Acd	19,59 Abcd
Brasília Alta Seleção	18,65 Aab	18,36 Aa	20,14 Ade	18,51 Ad
Nantes	18,43 Ab	18,51 Aa	20,44 Acde	18,56 Acd
Brasília Raiz Longa	18,42 Ab	18,67 Aa	19,75 Ae	18,80 Acd

Médias seguida de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Com relação aos 60 e 80 dias a população 971272 apresentou os maiores valores. As cultivares Brasília HORTEC e Brasília Alta Seleção os menores valores, respectivamente. Aos 60 dias pode-se observar diferenças significativas entre as cultivares Nantes, Brasília Raiz Longa, Carandaí, população 931177, População RGS, Brazlândia, com relação aos 80 dias, não se observou diferenças significativas entre as 14 cultivares ao nível de significância considerado.

Observou-se aos 100 dias que a cultivar Alvorada apresentou o maior valor e a Raiz Longa o menor valor, diferindo significativamente entre si e das demais cultivares. Aos 120 dias a cultivar Nova Kuroda apresentou o maior valor e a cultivar Brasília Alta Seleção o menor; diferindo significativamente entre si mas não diferindo das demais. Assim como observado aos 80 dias não se observou diferenças significativas entre as 14 cultivares.

Com exceção para as cultivares Nova Kuroda e Alvorada que apresentaram diferenças significativas entre os períodos de colheita de 60 e 80 dias para os períodos de 100 e 120 dias, não se observou para nenhuma das cultivares, diferenças significativas nas épocas de colheita praticadas ao nível de significância considerado.

#### 4.3.1.4. Valores para Saturação (Ch)

O resumo da análise de variância para os valores **Ch**, calculados a partir dos valores **a** e **b**, sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 22.

QUADRO 22 - Resumo da análise de variância dos valores **Ch**, sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,2627	2,9266	2,3139	1,2826
Cultivares	13	5,2901**	8,3712**	22,1076**	11,6274**
Resíduo	39	0,1579	0,1739	0,1227	0,3024
CV (%)		1,55	1,45	1,04	1,75

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de **Ch**, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores Ch calculados a partir dos valores a e b obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenoura colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 23.

QUADRO 23 – Valores **Ch**, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	28,15 Aa	31,80 Aa	39,64 Ba	34,93 ABa
Alvorada	27,33 Aa	30,90 Aab	37,47 Bb	33,36 ABb
Pop. 971272	27,32 Aa	30,16 Abc	35,18 Bc	32,58 ABbc
Pop. 931177	25,81 Ab	29,67 Bcd	34,78 Bcd	32,35 Bbc
Tropical	25,75 Ab	29,34 Bcde	34,02 Bde	32,06 Bbcd
Carandaí	25,46 Abc	28,78 Adef	33,68 Bef	32,11 ABbcd
População RGS	25,12 Abcd	28,17 Afgh	33,06 ABefg	31,63 ABCde
Brasília ISLA	25,55 Abc	28,00 Afghi	33,17 Bfg	30,91 ABde
Brazlândia	24,94 Abcd	28,33 Befg	32,61 Bgh	30,89 Bde
Brasília CNPH	25,07 Abcd	28,08 ABfgh	32,50 Bgh	30,26 ABef
Brasília HORTEC	24,55 Acd	27,73 Afghi	32,49 Bgh	30,35 ABef
Brasília Alta Seleção	24,94 Abcd	27,35 Aghi	31,82 Bghi	29,43 ABfg
Nantes	24,72 Acd	27,18 Ahi	31,84 Bhi	29,16 AB fg
Brasília Raiz Longa	24,39 Ad	26,99 ABi	30,98 Bj	28,87 ABg

Médias seguida de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Observou-se aos 60, 80, 100 e 120 dias que os maiores valores obtidos foram para a cultivar Nova Kuroda e os menores para a Raiz Longa, diferindo significativamente entre si. Também não se observou diferença significativa entre as cultivares do grupo Brasília ao nível de significância considerado.

Para todas as cultivares em todos os períodos de colheita, semelhantemente aos valores de a. O menor valor foi observado no sexagésimo dia de colheita e o maior no centésimo dia de colheita.

#### 4.3.1.5. Valores para Tonalidade (H)

O resumo da análise de variância para os valores **H**, calculados a partir dos valores **a** e **b**, sistema Hunter, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio é apresentado no Quadro 24.

QUADRO 24 - Resumo da análise de variância dos valores **H**, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,0083	0,0061	0,0033	0,0118
Cultivares	13	0,0434**	0,035 **	0,0082**	0,0057**
Resíduo	39	0,0014	0,0018	0,0013	0,0020
CV (%)		0,04	0,05	0,04	0,05

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de H, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **H** calculados a partir dos valores **a** e **b** obtidos pela medição no sistema Hunter, em 14 cultivares de cenoura colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 25.

QUADRO 25 – Valores **H**, sistema Hunter, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	89,54 Aa	89,79 Aa	89,70 Aabc	89,69 Aa
Alvorada	89,46 Aa	89,69 Aab	89,70 Aabc	89,67 Aab
Pop. 971272	89,31 Abc	89,59 Aab	89,75 Aa	89,71 Aa
Pop. 931177	89,36 Ab	89,56 Abcd	89,71 Aabc	89,68 ab
Tropical	89,31 Abc	89,54 Acd	89,72 Aab	89,65 Aab
Carandaí	89,31 Abc	89,56 Abcd	89,71 Aab	89,61 Aab
População RGS	89,32 Abc	89,57 Abcd	89,68 Aabcd	89,63 Aab
Brasília ISLA	89,25 Acdef	89,56 Acd	89,65 Abcd	89,66 Aab
Brazlândia	89,29 Abcd	89,49 Acde	89,68 Aabcd	89,64 Aab
Brasília CNPH	89,24 Acdef	89,49 Acde	89,67 Aabcd	89,67 Aab
Brasília HORTEC	89,26 Acde	89,49 Acde	89,61 Ad	89,59 Aab
Brasília Alta Seleção	89,19 Aef	89,50 Acde	89,64 Abcd	89,65 Aab
Nantes	89,20 Adef	89,46 Ade	89,60 Ad	89,57 Ab
Brasília Raiz Longa	89,15 Af	89,42 Ae	89,62 Acd	89,63 Aab

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Para os valores **L**, **b**, **Ch** e **H**, sistema hunter, as variações observadas são pequenas entre cultivares e dentro de épocas de colheita praticadas, o que indica reduzidas possibilidades de se explicar às variações nas concentrações dos pigmentos observados, carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno. Assim apenas o valor **a**, característico para a cor vermelha, mostrou variação significativa entre as cultivares, caracterizando-se como uma coordenada que isoladamente, pode explicar as variações das concentrações dos pigmentos presentes nas cenouras de coloração alaranjadas, nas cultivares e em todos os períodos de colheita estudados.

## 4.3.2. MEDIDAS NO SISTEMA CIELAB

### 4.3.2.1. Valores para Luminosidade (L\*)

O resumo da análise de variância para os valores L\*, obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio é apresentado no Quadro 26.

QUADRO 26 - Resumo da análise de variância dos valores L\*, sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,0873	3,4784	2,9633	0,4311
Cultivares	13	1,0912**	1,2362**	2,0244**	3,4565**
Resíduo	39	0,3737	0,4734	0,5944	0,3832
CV (%)		1,16	1,33	1,42	1,15

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores L\*, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores L\* obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 27.

QUADRO 27 – Valores L\*, sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	51,76 Ab	51,59 Aab	53,61 Abc	52,63 Ad
Alvorada	51,92 Aab	50,71 Ab	53,20 Ac	52,69 Ad
Pop. 971272	52,46 Aab	51,51 Aab	53,33 Ac	53,32 Abcd
Pop. 931177	52,16 Aab	51,87 Aab	53,79 Aabc	52,71 Ad
Tropical	53,11 Aab	51,86 Aab	53,94 Aabc	53,21 Acd
Carandaí	52,48 Aab	52,27 Aab	54,83 Aabc	53,65 Aabcd
População RGS	52,33 Aab	51,97 Aab	54,14 Aabc	52,85 Ad
Brasília ISLA	53,15 Aab	51,70 Aab	54,59 Aabc	54,37 Aabcd
Brazlândia	53,13 Aab	52,00 Aab	54,36 Aabc	53,61 Aabcd
Brasília CNPH	52,90 Aab	52,26 Aab	54,05 Aabc	54,63 Aabc
Brasília HORTEC	52,21 Aab	51,95 Aab	54,57 Aabc	54,89 Aa
Brasília Alta Seleção	52,12 Aab	51,54 Aab	54,32 Aabc	54,79 Aab
Nantes	53,42 Aa	53,00 Aa	55,65 Aa	55,07 Aa
Brasília Raiz Longa	52,19 Aab	52,72 Aab	55,41 Aab	54,84 Aab

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se aos 60 e 80 dias, semelhantemente ao observado no sistema Hunter, que a cultivar Nantes apresentou o maior valor e a cultivar Nova Kuroda o menor valor. Excetuando-se essas duas cultivares que diferiram significativas entre si ao nível de significância considerado, as demais não apresentaram diferenças significativas.

Observou-se aos 100 dias que L\* variou de 53,20 para a cultivar Alvorada a 55,65 para a cultivar Nantes. Com exceção para a cultivar Alvorada e a população 971272 que não diferiram significativamente entre si, mas diferiram da cultivar Nantes, as demais não apresentaram diferenças significativas.

Aos 120 dias observou-se comportamento semelhante àqueles observados aos 60 e 80 dias, a cultivar Nantes apresentou o maior valor e a cultivar Nova Kuroda o menor valor. Não se observou, para nenhuma das cultivares, diferenças

significativas para os valores de  $L^*$  entre as épocas de colheita praticadas ao nível de significância considerado.

#### 4.3.2.2. Valores para Vermelho ( $a^*$ )

O resumo da análise de variância para os valores  $a^*$ , obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 28.

QUADRO 28 - Resumo da análise de variância dos valores  $L^*$ , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	0,6510	0,9621	1,3875	0,9238
Cultivares	13	11,4412**	16,0182**	23,7588**	12,5097**
Resíduo	39	0,0678	0,0924	0,1526	0,1575
CV (%)		1,24	1,19	1,26	1,39

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se, que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de  $a^*$ , nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores  $a^*$  obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 29.

QUADRO 29 – Valores  $a^*$ , sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	24,89 Aa	30,16 Ba	36,76 Da	32,27 Ca
Alvorada	23,55 Ab	28,54 Bb	34,79 Db	30,70 Cb
Pop. 971272	22,36 Ac	27,05 Bc	33,04 Dc	30,25 Cbc
Pop. 931177	21,49 Ad	26,38 Bcd	32,31 Dcd	29,77 Cbcd
Tropical	21,05 Ade	25,93 Bd	31,72 Dd	29,32 Ccde
Carandaí	20,80 Aef	25,62 Bde	31,35 Dde	29,03 Cdef
População RGS	20,62 Aef	25,11 Bef	30,50 Def	28,70 Cefg
Brasília ISLA	20,40 Aefg	24,87 Bef	30,31 Df	28,37 Cefg
Brazlândia	20,22 Afgh	24,67 Bfg	30,04 Dfg	28,18 Cfgh
Brasília CNPH	19,95 Aghi	24,47 Bfgh	29,84 Dfgh	27,82 Cghi
Brasília HORTEC	19,71 Ahi	24,10 Bghi	29,31 Dghi	27,28 Chij
Brasília Alta Seleção	19,50 Ai	23,86 Bhi	29,00 Dhij	26,91 Cij
Nantes	19,39 Aij	23,43 Bi	28,74 Dij	26,46 Cjk
Brasília Raiz Longa	18,81 Aj	22,94 Bj	28,08 Dj	25,77 Ck

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se para todas as épocas de colheita praticadas, comportamento semelhante àqueles encontrados para os valores de  $a$  do sistema Hunter, a cultivar Nova Kuroda apresentou os maiores valores e a Raiz Longa os menores. Ambas diferindo significativamente entre si e das demais cultivares ao nível de significância considerada.

Entre as cultivares do grupo Brasília os maiores e menores valores observados, em todas as épocas de colheita praticadas, foram para as cultivares Brasília ISLA e Brasília Alta Seleção, respectivamente. Não se observou diferença significativa entre as cultivares Brasília ISLA, Brazlândia e CNPH, assim como não ocorreram diferenças entre Brasília CNPH, HORTEC e Brasília Alta Seleção.

Para todas as cultivares, semelhantemente aos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, ocorreram diferenças significativas para os valores de  $a^*$  entre as épocas de colheitas praticadas. O menor valor foi observado no sexagésimo dia e o maior no centésimo.

#### 4.3.2.3. Valores para Amarelo (b\*)

O resumo da análise de variância para os valores **b\***, obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 30.

QUADRO 30 - Resumo da análise de variância dos valores **b\***, sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	80	100	120
Blocos	3	1,5594	9,2015	5,6715	6,3969
Cultivares	13	2,1847**	2,0652*	19,6072**	10,5612**
Resíduo	39	0,6979	0,9523	0,5915	1,3639
CV (%)		2,53	2,89	2,04	3,30

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observa-se, que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de **b\***, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **b\*** obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 31.

QUADRO 31 – Valores **b\***, sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	33,24 Aab	33,72 Aa	43,69 BCa	38,75 Ba
Alvorada	33,31 Aab	34,27 Aa	41,22 Bb	37,20 ABab
Pop. 971272	35,14 Aa	34,95 Aa	37,95 Acd	35,83 Aabcd
Pop. 931177	32,66 Ab	34,80 Aa	38,24 Ac	36,07 Aabcd
Tropical	33,16 Aab	34,69 Aa	37,15 Acde	36,13 Aabc
Carandaí	32,80 Ab	33,70 Aa	36,90 Acde	36,79 Aab
População RGS	32,22 Ab	32,92 Aa	36,74 Acde	36,04 Aabcd
Brasília ISLA	33,59 Aab	32,86 Aa	37,42 Acd	34,65 Abcd
Brazlândia	32,35 Ab	34,12 Aa	36,32 Acde	34,94 Abcd
Brasília CNPH	33,06 Aab	33,80 Aa	36,39 Acde	33,81 Acd
Brasília HORTEC	32,15 Ab	33,44 Aa	37,35 Acd	35,06 Abcd
Brasília Alta Seleção	33,38 Aab	32,86 Aa	36,04 Ade	33,66 Acd
Nantes	32,99 Ab	33,12 Aa	36,59 Acde	33,22 Acd
Brasília Raiz Longa	32,97 Ab	33,41 Aa	35,36 Ae	33,13 Ad

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com relação aos 60 dias a população 971272 apresentou o maior valor e a cultivar Brasília HORTEC o menor, com exceção para esses dois cultivares que diferiram significativamente entre si, não se observou diferenças significativas entre as demais cultivares ao nível de significância considerado. Aos 80 dias o População RGS e a cultivar Brasília Seleção apresentaram os menores valores, não se observando porém diferenças significativas entre as 14 cultivares.

Observou-se aos 100 e 120 dias que a cultivar Nova Kuroda apresentou os maiores valores e a Raiz Longa os menores, diferindo significativamente entre si mas não diferindo das demais. Entre as cultivares do grupo Brasília não ocorreram diferenças significativas ao nível. Assim como observado aos 80 dias não se observou diferenças significativas entre as 14 cultivares.

Com exceção para as cultivares Nova Kuroda e Alvorada que apresentaram diferenças significativas entre os períodos de colheita de 60 e 80 dias para os períodos de 100 e 120 dias, não se observou para nenhuma das cultivares, diferenças significativas nas épocas de colheita praticadas ao nível de significância considerado.

#### 4.3.2.4. Valores para Saturação (Ch\*)

O resumo da análise de variância para os valores **Ch\***, calculados a partir dos valores **a\*** e **b\***, sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 32.

QUADRO 32 - Resumo da análise de variância dos valores **Ch\***, sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	100	100	120
Blocos	3	0,8826	8,8294	6,0844	4,4089
Cultivares	13	6,5731**	10,1230**	40,9310**	21,5908**
Resíduo	39	0,5562	0,6557	0,3822	1,0213
CV (%)		1,91	1,91	1,27	2,22

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se, que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de **Ch\***, nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores **Ch\*** calculados a partir dos valores **a** e **b**, obtidos pela medição no sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 33.

QUADRO 33 – Valores **Ch\***, sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	41,66 Aa	45,24 Aa	57,10 a	50,43 ABa
Alvorada	40,79 Aab	44,60 Aa	53,94 Bb	48,24 ABab
Pop. 971272	41,53 Aa	44,21 Aab	50,32 Bc	46,90 ABbc
Pop. 931177	39,09 Abc	43,67 Babcd	50,06 c	46,78 Bbc
Tropical	39,28 Abc	43,31 Babcd	48,85 Bcd	46,53 Bbc
Carandaí	38,85 Ac	42,33 Abcde	48,42 Bde	46,86 ABbc
População RGS	38,25 Ac	41,40 Ade	47,75 ABdef	46,09 ABbcd
Brasília ISLA	39,30b Ac	41,22 Ae	48,16 Bde	44,78 Abcde
Brazlândia	38,15 Ac	42,11 Bcde	47,14 Bef	44,88 Bcde
Brasília CNPH	38,61 Ac	41,73 ABcde	47,07 Bef	43,79 Abde
Brasília HORTEC	37,97 Ac	41,23 Ae	47,48 Bdef	44,42 Abcde
Brasília Alta Seleção	38,66 Ac	40,61 Ae	46,26 Bfg	42,70 Abe
Nantes	38,27 Ac	40,57 Ae	46,52 Bfg	42,48 Abe
Brasília Raiz Longa	37,71 Ac	40,53 ABe	45,16 Bg	42,39 Abe

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Observou-se aos 60, 80, 100 e 120 dias comportamento semelhante àquele observado para os valores de Ch, sistema Hunter, os maiores valores obtidos foram para a cultivar Nova Kuroda e os menores para a Raiz Longa, diferindo significativamente entre si. Também não se observou diferença significativa entre as cultivares do grupo Brasília ao nível de significância considerado.

Para todas as cultivares em todos os períodos de colheita, semelhantemente aos valores de a. O menor valor foi observado no sexagésimo dia de colheita e o maior no centésimo dia de colheita.

#### 4.3.2.5. Valores Para Tonalidade ( $H^*$ )

O resumo da análise de variância para os valores  $H^*$ , calculados a partir dos valores  $a^*$  e  $b^*$ , sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias após o plantio, é apresentado no Quadro 34.

QUADRO 34 - Resumo da análise de variância dos valores de  $H^*$ , sistema CIELAB, em 14 cultivares de Cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

FV	GL	Quadrados médios			
		60	100	100	120
Blocos	3	0,0131	0,0083	0,0040	0,0144
Cultivares	13	0,0678**	0,0459**	0,0100**	0,0071**
Resíduo	39	0,0023	0,0024	0,0016	0,0025
CV (%)		0,06	0,06	0,05	0,06

\*\* F significativo a 1% de probabilidade

Observou-se, que houve efeito significativo entre as cultivares para os valores de  $H^*$ , nas quatro épocas de colheitas praticadas (60, 80, 100 e 120) dias. Desta forma a análise estatística teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade, com a finalidade de se determinar as diferenças significativas entre cultivares e entre épocas de colheita.

Os valores  $H^*$  calculados a partir dos valores  $a^*$  e  $b^*$ , sistema CIELAB, em 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80 100 e 120 dias após o plantio, são apresentados no Quadro 35.

QUADRO 35 – Valores **H\***, sistema CIELAB, de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60, 80, 100 e 120 dias.

Cultivares	Período (dias)			
	60	80	100	120
Nova Kuroda	88,92 Aa	89,20 Aa	89,11 Aabc	89,09 Aa
Alvorada	88,83 Aa	89,09 Aab	89,11 Aabc	89,08 Aab
Pop. 971272	88,65b Ac	88,98 Abc	89,16 Aa	89,11 Aa
Pop. 931177	88,71 Ab	88,95 Acd	89,11 Aabc	89,08 Aab
Tropical	88,64 Abc	88,92 Acd	89,13 Aab	89,05 Aab
Carandaí	88,64 Abc	88,95 Acd	89,12 Aab	89,01 Aab
População RGS	88,66 Abc	88,95 Acd	89,09 Aabcd	89,02 Aab
Brasília ISLA	88,56 Acdef	88,94 Acd	89,05 Abcd	89,07 Aab
Brazlândia	88,62 Abcd	88,87 Acde	89,09 Aabcd	89,04 Aab
Brasília CNPH	88,55 Acdef	88,87 Acde	89,07 Aabcd	89,07 Aab
Brasília HORTEC	88,58 Acde	88,86 Acde	88,99 Ad	88,99 Aab
Brasília Alta Seleção	88,49 Aef	88,87 Acde	89,04 Abcd	89,05 Aab
Nantes	88,50 Adef	88,83 Ade	89,00 Ad	89,02 Aab
Brasília Raiz Longa	88,44 Af	88,78 Ae	89,02 Acd	88,96 Ab

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Observou-se que aos 60 e 80 dias os maiores valores encontrados foram para a cultivar Nova Kuroda e os menores para a Brasília Raiz Longa. A cultivar Nova Kuroda e a Alvorada, não diferiram significativamente entre si, mas diferiram significativamente das demais cultivares. Aos 100 e 120 dias os maiores valores foram observados para a população 971272 e os menores para a cultivar Nantes. As cultivares do grupo Brasília não apresentaram diferenças significativas entre seus valores nas quatro épocas de colheitas praticadas.

Assim, como observado nas medidas Hunter, os valores **L\***, **b\***, **Ch\*** e **H\***, apresentaram variações pequenas entre cultivares e dentro de épocas de colheita, o que indica também, reduzidas possibilidades de se explicar às variações nas concentrações dos pigmentos observados. Assim apenas o valor **a\***, característico para a cor vermelha, mostrou variação significativa entre as cultivares, caracterizando-se como uma coordenada que isoladamente, pode explicar as variações das concentrações dos pigmentos presentes nas cenouras.

## 4.4. ESTIMATIVA DOS TEORES DE CAROTENÓIDES EM FUNÇÃO DAS MEDIDAS DE COR

### 4.4.1. Cenouras Colhidas aos 60 Dias

Os Quadros 36 a 39 mostram as equações polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno de 14 cultivares de cenoura obtidos aos 60 dias após o plantio, em função dos valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** do sistema Hunter e **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** do sistema CIELAB.

Utilizando-se o método de *all possible regression* (DRAPER & SMITH, 1981) e a análise de  $R^2$ , observou-se que os valores de **L**, **b**, **L\*** e **b\*** não são parâmetros adequados à estimação dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno aos 60 dias após o plantio, quando utilizados em modelos polinomiais. Combinados com os valores de **a** e **a\*** em modelos múltiplos, esses parâmetros melhoram a qualidade do ajuste; entretanto, não se justifica seu uso, uma vez que melhores estimativas podem ser obtidas unicamente com os valores de **a** e **a\***. Os parâmetros **Ch**, **H**, **Ch\*** e **H\*** possibilitaram estimativas confiáveis dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, tanto nos modelos polinomiais como nos múltiplos. Também neste caso, o uso desses parâmetros não se justifica em virtude das estimativas obtidas com os valores de **a** e **a\***. Esse comportamento foi observado nos dois sistemas e nos dois métodos. Observou-se, então, que as melhores equações ajustadas foram as polinomiais quadráticas, em função de **a** e **a\*** (Quadros 35 a 38).

As Figuras 31 e 33 apresentam as estimativas dos teores de carotenóides totais obtidas por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** em função dos valores de **a** e de **a\***, nos sistemas Hunter e CIELAB, respectivamente.

No sistema Hunter os valores de **a** variam de 15 a 23, (Figura 19), no sistema CIELAB (Figura 20) **a\*** variou de 19 a 25. Embora haja essa discrepância, o comportamento dos teores de carotenóides totais  $\beta$ -caroteno em ambos os sistemas foi semelhante, aumentando até atingir um ponto de máximo, decrescendo a partir daí.

O máximo de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, no sistema Hunter foram 48,00 e 48,95 mcg/g, quando o valor de **a** equivale a 20,54 e 20,55; respectivamente.

QUADRO 36 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = 304,6670 - 5,9498 L$	0,14
2	a	$y = 45,9883 + 4,6658 a$	0,86
3	b	$y = 91,6138 + 6,952 b$	0,16
4	Ch	$y = -110,3890 + 5,7422 Ch$	0,84
5	H	$y = -5.458,2000 + 61,5372 H$	0,79
6	L, L <sup>2</sup>	$y = 15.075,70 - 661,3930 L + 7,2704 L^2$	0,16
7	a, a <sup>2</sup>	$y = -437,6780 + 47,2829 a - 1,1508 a^2$	0,99
8	b, b <sup>2</sup>	$y = 963,3930 - 105,6100 b + 3,0005 b^2$	0,17
9	L, a	$y = -128,3280 + 1,7268 L + 4,9260 a$	0,87
10	a, b	$y = -71,6087 + 4,5138 a + 1,5328 b$	0,87
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.413,9000 + 105,3820 Ch - 1,8998 Ch^2$	0,92
12	H, H <sup>2</sup>	$y = -824.801,00 + 18.399,40 H - 102,6060 H^2$	0,89
13	Ch, H	$y = -2.459,27 + 3,6390 Ch + 26,9082 H$	0,88
14	a, a <sup>2</sup> , a <sup>3</sup>	$y = -567,8410 + 68,8609 a - 2,3296 a^2 + 0,02120 a^3$	0,99
15	L, a, b	$y = -137,0290 + 1,4785 L + 4,7668 a + 1,2288 b$	0,88
16	L, Ch, H	$y = -2.821,94 + 1,5967 L + 3,6535 Ch + 30,1606 H$	0,88

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 37 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno, obtidos por **CLAE**, com os valores **L, a, b, Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = 314,2828 - 6,1492 L$	0,14
2	a	$y = -47,5778 + 4,7913 a$	0,86
3	b	$y = -95,3254 + 7,1907 b$	0,16
4	Ch	$y = -113,8290 + 5,9012 Ch$	0,84
5	H	$y = -5.599,3100 + 63,1246 H$	0,79
6	L, L <sup>2</sup>	$y = 15.630,600 - 685,7500 L + 7,5379 L^2$	0,16
7	a, a <sup>2</sup>	$y = -448,4230 + 48,4047 a - 1,1777 a^2$	0,99
8	b, b <sup>2</sup>	$y = 970,4880 - 106,5290 b + 3,031 b^2$	0,17
9	L, a	$y = -129,6750 + 1,7217 L + 5,0507 a$	0,87
10	a, b	$y = -74,8065 + 4,6297 a + 1,6291 b$	0,87
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.228,3800 + 107,9130 Ch - 1,9445 Ch^2$	0,92
12	H, H <sup>2</sup>	$y = -841.428,00 + 18.771,20 H - 104,6770 H^2$	0,89
13	Ch, H	$y = -2.487,9400 + 3,7755 Ch + 21,1972 H$	0,88
14	L, a, b	$y = -139,0940 + 1,4529 L + 4,8783 a + 1,3302 b$	0,88
15	L, Ch, H	$y = -2.846,3300 + 1,5779 L + 3,7897 Ch + 30,4113 H$	0,88

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 38 – Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L*	$y = 305,6380 - 5,1168 L^*$	0,14
2	a*	$y = -46,0340 + 3,9663 a^*$	0,86
3	b*	$y = -91,4922 + 3,8819 b^*$	0,16
4	Ch*	$y = -152,1120 + 4,8276 Ch^*$	0,73
5	H*	$y = -4.353,66 + 49,5399 H^*$	0,80
6	L*, L* <sup>2</sup>	$y = 15.036,00 - 565,2040 L^* + 5,3235 L^{*2}$	0,16
7	a*, a* <sup>2</sup>	$y = -438,2550 + 40,2240 a^* - 0,8319 a^{*2}$	0,99
8	b*, b* <sup>2</sup>	$y = 962,6970 - 58,9525 b^* + 4,1884 b^{*2}$	0,17
9	L*, a*	$y = -128,3450 + 1,4788 L^* + 4,1884 a^*$	0,87
10	a*, b*	$y = -71,6089 + 3,8375 a^* + 0,8547 b^*$	0,87
11	Ch*, Ch* <sup>2</sup>	$y = -1.453,2500 + 70,3477 Ch^* - 0,8238 Ch^{*2}$	0,76
12	H*, H* <sup>2</sup>	$y = -660.901,00 + 14.854,10 H^* - 83,4569 H^{*2}$	0,91
13	Ch*, H*	$y = 2.897,18 + 2,4901 Ch^* + 31,8029 H^{*2}$	0,89
14	L*, a*, b*	$y = -137,1370 + 1,2679 L^* + 4,0543 a^* + 0,6861 b^*$	0,88
15	L*, Ch*, H*	$y = -3.162,65 + 1,2648 L^* + 2,4953 Ch^* + 34,2495 H^*$	0,90

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 39 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno, obtidos por **CLAE**, com os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L*	$y = 315,2790 - 5,2882 L^*$	0,14
2	a*	$y = -47,6250 + 4,0730 a^*$	0,86
3	b*	$y = -95,1982 + 4,0133 b^*$	0,16
4	Ch*	$y = -156,8570 + 4,9651 Ch^*$	0,74
5	H*	$y = -4.466,2100 + 50,8170 H^*$	0,80
6	L*, L <sup>*2</sup>	$y = 15.590,90 - 586,0980 L^* + 5,5204 L^{*2}$	0,16
7	a*, a <sup>*2</sup>	$y = -449.0150 + 41,1782 a^* - 0,8513 a^{*2}$	0,99
8	b*, b <sup>*2</sup>	$y = 969,8810 - 59,4697 b^* + 0,9453 b^{*2}$	0,17
9	L*, a*	$y = -129,6880 + 1,4743 L^* + 4,2944 a^{*2}$	0,87
10	a*, b*	$y = -74,8040 + 3,9361 a^* + 0.9083 b^*$	0,87
11	Ch*, Ch <sup>*2</sup>	$Y = 1.488,0000 + 71,9964 Ch^* - 0,8429 Ch^{*2}$	0,76
12	H*, H <sup>*2</sup>	$y = -672.859,00 + 15.122,40 H^* - 84.9623 H^{*2}$	0,90
13	Ch*, H*	$y = -2937,46 + 2,5817 Ch^* + 32,4273 H^*$	0,89
14	L*, a*, b*	$y = -139,2050 + 1,2461 L^* + 4,1482 a^* + 0,7426 b^*$	0,88
15	L*, Ch*, H*	$y = -3.216,70 + 1,2459 L^* + 2,5890 Ch^* + 34,8373 H^*$	0,90

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

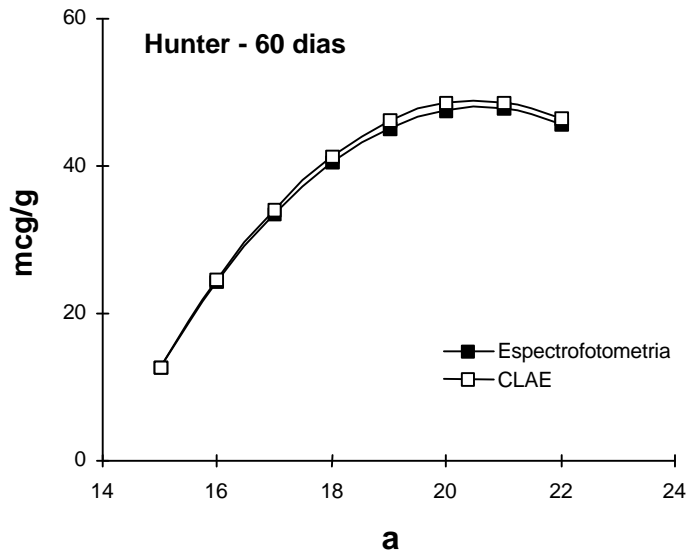


FIGURA 19 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por CLAE, em função dos valores de a de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

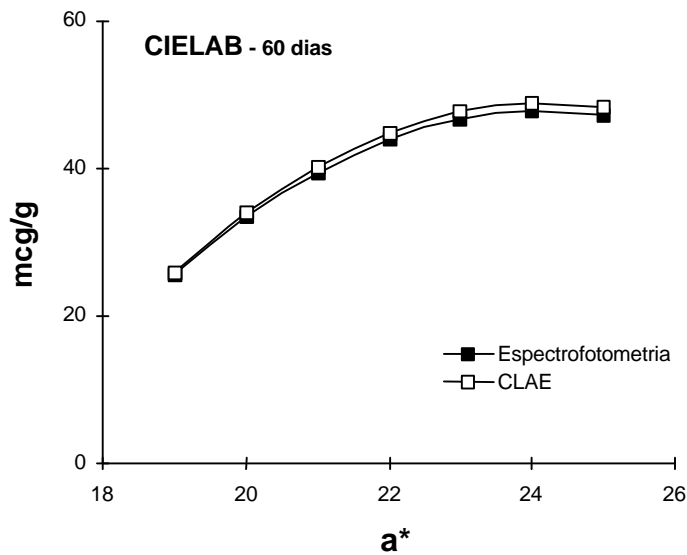


FIGURA 20 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por CLAE, em função dos valores de  $a^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 60 dias.

De acordo com o teste F proposto por (GRAYBILL 1976) não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) entre as estimativas geradas pelos métodos de espectrofotometria e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**.

No sistema CIELAB, as estimativas máximas foram 47,97 mcg/g, **a** igual a 24,18; obtida por espectrofotometria e 48,94 mcg/g, **a** igual a 24,19; obtidas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**. Neste sistema, também não foram observadas diferenças significativas entre as estimativas geradas, de acordo com (GRAYBILL, 1976).

Assim, as estimativas dos teores de carotenóides totais obtidas por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** aos 60 dias após o plantio, não diferem estatisticamente nos dois sistemas estudados.

#### 4.4.2. Cenouras Colhidas aos 80 Dias

Da mesma forma que aos 60 dias, os valores de **L**, **L\***, **b** e **b\*** não se mostraram adequados ao ajuste dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno aos 80 dias após o plantio (Quadros 40 a 43), quando utilizados em modelos polinomiais. Os valores de **H** e **H\***, apresentaram melhores ajustes que os valores de **Ch** e **Ch\***, apesar de não superarem os modelos ajustados apenas em função de **a** e **a\***, quando comparados pelo método de *all possible regression*, proposto por (DRAPER & SMITH, 1981). Desta forma, as melhores estimativas dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno foram obtidas com os modelos polinomiais em função de **a** e **a\***, optando-se pelo modelo quadrático para os métodos de espectrofotometria e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, nos sistemas Hunter e CIELAB (Figuras 21 e 22), respectivamente. No sistema Hunter, método Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, embora o modelo polinomial cúbico tenha apresentado coeficiente de determinação,  $R^2$  igual a 0,99; maior que o modelo quadrático,  $R^2$  igual a 0,98; optou-se por esse último pela simplicidade do modelo.

Na Figura 33, observou-se que o método de espectrofotometria apresenta o máximo de carotenóides totais quando o valor de **a** é igual a 25,44 correspondendo (75,41 mcg/g) e o método Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE** o máximo de  $\beta$ -caroteno, quando **a** igual a 25,45 correspondendo a (76,66 mcg/g).

QUADRO 40 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = 155,5100 - 2,2047 L$	0,01
2	a	$y = -79,6811 + 6,3262 a$	0,89
3	b	$y = -273,5890 + 17,5498 b$	0,38
4	Ch	$y = -159,3080 + 7,5389 Ch$	0,91
5	H	$y = -9.472,6000 + 106,4230 H$	0,77
6	L, L <sup>2</sup>	$y = 34.336,20 - 1.539,3000 L + 17,2789 L^2$	0,28
7	a, a <sup>2</sup>	$y = -612,9030 + 54,1066 a - 1,0633 a^2$	0,98
8	b, b <sup>2</sup>	$y = 2.731,4100 - 300,2790 b + 8,4004 b^2$	0,39
9	L, a	$y = -291,5590 + 4,5846 L + 6,6905 a$	0,92
10	a, b	$y = -174,5190 + 5,6559 a + 5,7985 b$	0,92
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.205,1300 + 79,1992 Ch - 1,2244 Ch^2$	0,96
12	H, H <sup>2</sup>	$y = -1.598.010,00 + 35,556 H - 197,7780 h^2$	0,89
13	Ch, H	$y = -303,8570 + 7,4403 Ch + 1,6458 H$	
14	L, L <sup>2</sup> , L <sup>3</sup>	$y = 9.576,7500 + 140,0690 L - 20,6749 L^2 + 0,2858 L^3$	0,28
15	L, a, b	$y = -290,4060 + 3,2034 L + 6,1377 a + 3,8324 b$	0,93
16	L, Ch, H	$y = -2.397,1700 + 3,7083 L + 6,3906 CH + 23,5167 H$	0,93

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 41 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno obtidos por **CLAE**, com os valores **L, a, b, Ch e H** de 14 cultivares de cenoura colhidas aos 80 dias

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = 158,0310 - 2,2398 L$	0,01
2	a	$y = -80,9835 + 6,4306 a$	0,89
3	b	$y = -277,8380 + 17,8260 b$	0,38
4	Ch	$y = -161,9060 + 7,6626 Ch$	0,91
5	H	$y = -9.630,3300 + 108,1950 H$	0,77
6	L, L <sup>2</sup>	$y = 34.914,70000 - 1.565,2400 L + 17,5701 L^2$	0,28
7	a, a <sup>2</sup>	$y = -622,4610 + 54,9511 a - 1,0798 a^2$	0,98
8	b, b <sup>2</sup>	$y = 2.764,8600 - 303,9820 b + 8,5053 b^2$	0,39
9	L, a	$y = -296,4240 + 4,6617 L + 6,8010 a$	0,92
10	a, b	$y = -177,0970 + 5,7513 a + 5,8765 b$	0,92
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.223,6700 + 80,4154 Ch - 1,2431 Ch^2$	0,96
12	H, H <sup>2</sup>	$y = -1.622.810,00 + 36.108,20 H - 200,8460 H^2$	0,89
13	Ch, H	$y = -322,6610 + 7,5530 Ch + 1,8304 H$	0,91
14	L, L <sup>2</sup> , L <sup>3</sup>	$y = 9.671,6200 + 146,3110 L - 21,1085 L^2 + 0,2913 L^3$	0,28
15	a, a <sup>2</sup> , a <sup>3</sup>	$y = -853,4360 + 86,0352 a - 2,4705 a^2 + 0,0207 a^3$	0,99
16	L, a, b	$y = -295,2590 + 3,2662 L + 6,2426 a + 3,8718 b$	0,93
17	L, Ch, H	$y = -2.455,5600 + 3,7784 L + 6,4835 Ch + 24,1148 H$	0,93

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 42 – Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $Ch^*$  e  $H^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	$L^*$	$y = 155,8630 - 1,8960 L^*$	0,01
2	$a^*$	$y = -79,7039 + 5,3758 a^*$	0,89
3	$b^*$	$y = -273,4700 + 9,8008 b^*$	0,38
4	$Ch^*$	$y = -230,4950 + 6,8001 Ch^*$	0,90
5	$H^*$	$y = -8.346,1400 + 94,4936 H^*$	0,79
6	$L^*, L^{*2}$	$y = 34.471,9000 - 1.324,2500 L^* + 12,7377 L^{*2}$	0,29
7	$a^*, a^{*2}$	$y = -613,3420 + 46,0023 a^* - 0,7682 a^{*2}$	0,98
8	$b^*, b^{*2}$	$y = 2.687,3000 - 165,1420 b^* + 2,5831 b^{*2}$	0,39
9	$L^*, a^*$	$y = -291,7400 + 3,9309 L^* + 5,6866 a^*$	0,92
10	$a^*, b^*$	$y = -174,5560 + 4,8054 a^* + 3,2405 b^*$	0,92
11	$Ch^*, Ch^{*2}$	$y = -1.179,9800 + 51,3098 Ch^* - 0,5209 Ch^{*2}$	0,91
12	$H^*, H^{*2}$	$y = -1.510.750,00 + 33.854,60 H^* - 189,6540 H^{*2}$	0,91
13	$Ch^*, H^*$	$y = -2.978,99 + 4,9874 Ch^* + 31,7684 H^*$	0,92
14	$L^*, a^*, b^*$	$y = -290,4780 + 2,7465 L^* + 5,2164 a^* + 2,1395 b^*$	0,93
15	$L^*, Ch^*, H^*$	$y = -4.437,77 + 3,1227 L^* + 4,2834 Ch^* + 46,6836 H^*$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 43 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno obtidos por **CLAE**, com os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L*	$y = 158,3910 - 1,9262 L^*$	0,01
2	a*	$y = -81,0065 + 5,4645 a^*$	0,89
3	b*	$y = -277,7180 + 9,9551 b^*$	0,38
4	Ch*	$y = -234,2360 + 6,9111 Ch^*$	0,90
5	H*	$y = -8.485,0500 + 96,0664 H^*$	0,79
6	L*, L <sup>*2</sup>	$y = 35.053,1000 - 1.346,5800 L^* + 12,925 L^{*2}$	0,29
7	a*, a <sup>*2</sup>	$y = -622,9150 + 6,7206 a^* - 0,7801 a^{*2}$	0,98
8	b*, b <sup>*2</sup>	$y = 2.719,9000 - 167,1680 b^* + 2,6153 b^{*2}$	0,39
9	L*, a*	$y = -296,6080 + 3,9970 L^* + 5,7806 a^*$	0,92
10	a*, b*	$y = -177,1350 + 4,8864 a^* + 3,2841 b^*$	0,92
11	Ch*, Ch <sup>*2</sup>	$y = -1.197,7600 + 52,0789 Ch^* - 0,5286 Ch^{*2}$	0,91
12	H*, H <sup>*2</sup>	$y = -1.534.290,00 + 34.382,00 H^* - 192,6080 H^{*2}$	0,91
13	Ch*, H*	$y = -3.036,7000 + 5,0682 Ch^* + 32,3922H^*$	0,92
14	L*, a*, b*	$y = -295,3320 + 2,8004 L^* + 5,3055 a^* + 2,1615 b^*$	0,93
15	L*, Ch*, H*	$y = -4.523,1000 + 3.1818 L^* + 4,3455 Ch^* + 47,5898 H^*$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

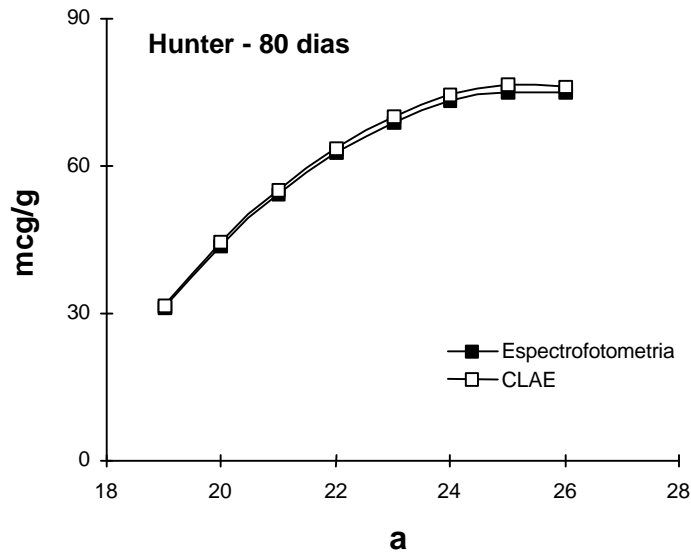


FIGURA 21 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ - caroteno por CLAE, em função dos valores de a de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.

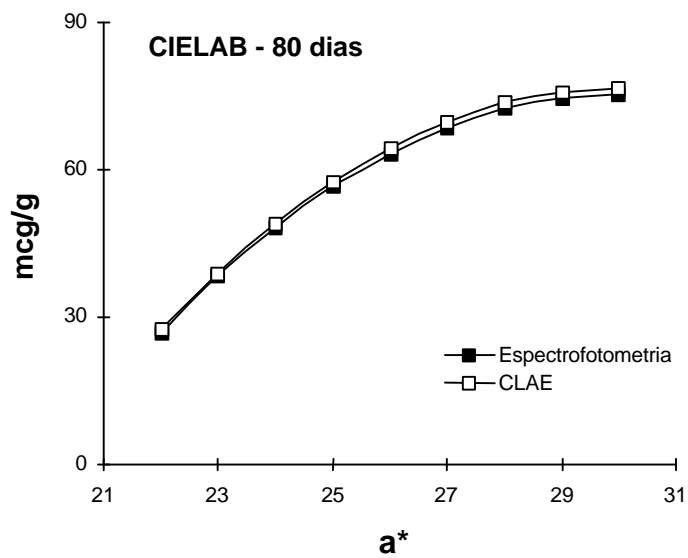


FIGURA 22 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ - caroteno por CLAE, em função dos valores de a\* de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 80 dias.

As estimativas máximas obtidas no sistema CIELAB foram 75,35 mcg/g,  $a^*$  igual a 29,94 por espectrofotometria e 76,62 com  $a^*$  igual a 29,95 por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência CLAE. Embora os valores de  $a$  e de  $a^*$  nos sistemas Hunter e CIELAB, tenham variado de 19 a 26 e 22 a 30, respectivamente, o comportamento das estimativas dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, obtidos aos 80 dias após o plantio, em função dos valores de  $a$  e de  $a^*$ , foi o mesmo, podendo ser estimados com eficiência em função desses parâmetros.

As diferenças entre as estimativas obtidas pelos dois métodos em ambos os sistemas não foram significativas pelo teste F proposto por GRAYBILL, 1976, a 5% de probabilidade.

#### 4.4.3. Cenouras Colhidas aos 100 Dias

O Quadro 44 apresenta as equações ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos aos 100 dias após o plantio, por espectrofotometria no sistema Hunter. Pode-se observar que apenas os valores de  $L$  e  $L^*$  não se mostraram adequados para descrever sua correlação com os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno. Os valores de  $b$  e  $b^*$ , contrariamente ao que ocorreu aos 60 e aos 80 dias, já apresentaram melhor relação com os carotenóides, apesar dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de suas equações não serem os melhores dentre todos os modelos ajustados. Constatou-se que os melhores modelos ajustados foram os polinomiais quadráticos em função de  $a$ ,  $a^*$ ,  $Ch$  e  $Ch^*$ .

No método Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, sistema Hunter, as melhores estimativas foram obtidas com o modelo polinomial quadrático, em função de  $Ch$ . Além deste modelo, outros foram igualmente adequados como os modelos em função de  $Ch$  e  $H$ ,  $L$   $Ch$  e  $H$ ,  $a$  e  $a^2$ , e  $L$  e  $a$  (Quadro 45).

Neste caso, optou-se por apresentar o modelo polinomial quadrático, em função de  $a$  e  $a^*$ , (Figura 23 e 24). As estimativas dos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno não diferiram significativamente pelo teste F de (GRAYBILL, 1976), com valores de  $a$  e  $a^*$  variando de 24 a 31. Os maiores teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, estimados foram, 121,31 mcg/g,  $a$  igual a 32,73 e 123,53;  $a^*$  igual a 32,67, decrescendo a partir desses valores de  $a$  e  $a^*$ .

QUADRO 44 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = -169,8000 + 5,5657 L$	0,04
2	a	$y = -122,2920 + 7,9906 a$	0,91
3	b	$y = -154,1010 + 115542 b$	0,68
4	Ch	$y = -142,0020 + 6,8347 Ch$	0,86
5	H	$y = -27.504,80 + 307,7130 H$	0,65
6	L, L <sup>2</sup>	$y = -27.873,90 + 1.194,1700 L - 12,7468 L^2$	0,13
7	a, a <sup>2</sup>	$y = -691,5210 + 49,8041 a - 0,7468 a^2$	0,95
8	b, b <sup>2</sup>	$y = -2.044,8400 + 183,6220 b - 3,8946 b^2$	0,80
9	L, a	$y = -153,2870 + 0,6873 L + 7,9541 a$	0,91
10	a, b	$y = -81,8909 + 11,5113 a - 6,3447 b$	0,63
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.197,8500 + 67,1061 Ch - 0,8551 Ch^2$	0,95
12	Ch, H	$y = -12.575,00 + 5,1398 Ch + 139,2860 H$	0,94
13	L, a, b	$y = -103,9950 + 0,4864 L + 11,4707 a - 6,3182 b$	0,63
14	L, Ch, H	$y = -12.547,70 + 0,3178 L + 5,1312 Ch + 138,8190 H$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 45 - Equações de regressão polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno, obtidos por **CLAE**, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = -173,8340 + 5,6850 L$	0,04
2	a	$y = -124,1920 + 8,1198 a$	0,91
3	b	$y = -156,7160 + 117505 b$	0,68
4	Ch	$y = -144,2760 + 6,9468 Ch$	0,86
5	H	$y = -27.907,70 + 312,2230 H$	0,65
6	L, L <sup>2</sup>	$y = -28.329,50 + 1.213,67 L - 12,9546 L^2$	0,13
7	a, a <sup>2</sup>	$y = 699,8110 + 50,4033 a - 0,7714 a^2$	0,91
8	b, b <sup>2</sup>	$y = -2.072,4600 + 186,0940 b - 3,9461 b^2$	0,81
9	L, a	$y = -157,0570 + 0,7288 L + 8,0810 a$	0,91
10	a, b	$y = -83,5810 + 11,6587 a - 6,3777 b$	0,63
11	Ch, Ch <sup>2</sup>	$y = -1.213,0100 + 67,9543 Ch - 0,8656 Ch^2$	0,95
12	Ch, H	$y = -12.701,50 + 5,2350 Ch + 140,6770 H$	0,94
13	L, a, b	$y = -107,5240 + 0,5269 L + 11,6148 a - 6,3489 b$	0,63
14	L, Ch, H	$y = -12.670,80 + 0,3657 L + 5,2253 Ch + 140,1530 H$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

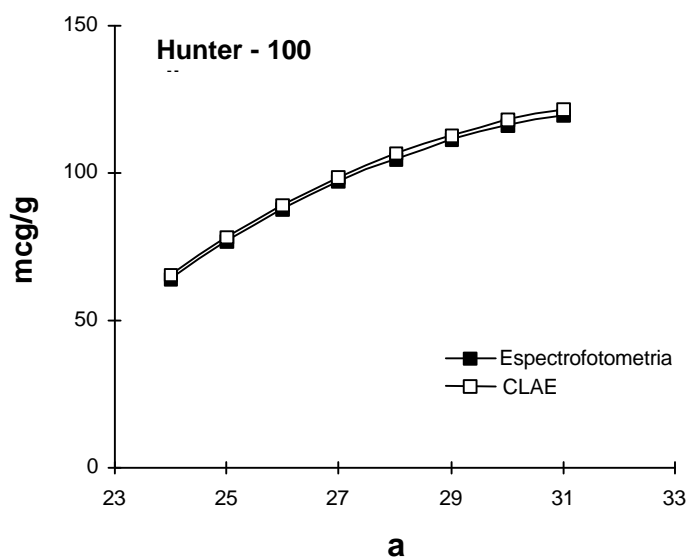


FIGURA 23 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por CLAE, em função dos valores de a de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

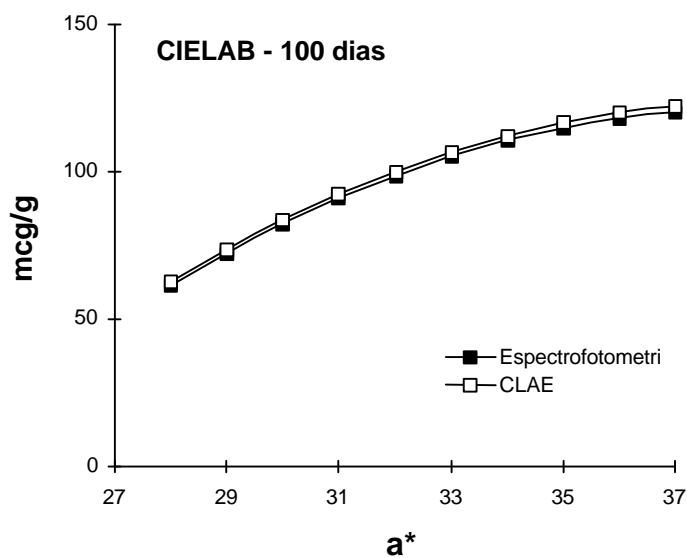


FIGURA 24 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por **CLAE**, em função dos valores de **a\*** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

QUADRO 46 – Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $Ch^*$  e  $H^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	$L^*$	$y = -171,5720 + 4,8019 L^*$	0,04
2	$a^*$	$y = -122,2590 + 6,7878 a^*$	0,91
3	$b^*$	$y = -154,0910 + 6,4545 b^*$	0,68
4	$Ch^*$	$y = -149,9590 + 4,8899 Ch^*$	0,82
5	$H^*$	$y = -24.738,30 + 278,7190 H^*$	0,65
6	$L^*, L^{*2}$	$y = -27.691,9000 + 1.016,5700L^* - 9,2978 L^{*2}$	0,13
7	$a^*, a^{*2}$	$y = -691,5480 + 42,3166 a^* - 0,5507 a^{*2}$	0,95
8	$b^*, b^{*2}$	$y = -2.044,8400 + 102,5810 b^* - 1,2155 b^{*2}$	0,80
9	$L^*, a^*$	$y = -153,5490 + 0,5497 L^* + 6,7563 a^*$	0,91
10	$a^*, b^*$	$y = -81,8067 + 9,7827 a^* + -3,5489 b^*$	0,63
11	$Ch^*, Ch^{*2}$	$y = -1.531,1600 + 59,2490 Ch^* - 0,5319 Ch^{*2}$	0,93
12	$Ch^*, H^*$	$y = -13.322,40 + 3,5627 Ch^* + 148,6060 H^*$	0,94
13	$a^*, a^{*2}, a^{*3}$	$y = 1.996,5900 - 209,9290 a^* + 7,2933a^{*2} - 0,0881 a^{*3}$	0,97
14	$L^*, a^*, b^*$	$y = -104,0660 + 0,4197 L^* + 9,7477 a^* - 3,5338 b^*$	0,63
15	$L^*, Ch^*, H^*$	$y = -13.300,10 + 0,2191 L^* + 3,5578 Ch^* + 148,2250 H^*$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 47 - Equações de regressão polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno, obtidos \_CLAE, com os valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $Ch^*$  e  $H^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 100 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	$L^*$	$y = -175,6350 + 4,9047 L^*$	0,04
2	$a^*$	$y = -124,1590 + 6,8975 a^*$	0,91
3	$b^*$	$y = -156,7060 + 6,5642 b^*$	0,68
4	$Ch^*$	$y = -152,4010 + 4,9709 Ch^*$	0,82
5	$H^*$	$y = -25.101,50 + 282,8140 H^*$	0,65
6	$L^*, L^{*2}$	$y = -28.144,30 + 1.033,1600 L^* - 9,4493 L^{*2}$	0,13
7	$a^*, a^{*2}$	$y = -699,8590 + 42,8261 a^* - 0,5569 a^{*2}$	0,95
8	$b^*, b^{*2}$	$y = -2.072,4400 + 103,9610 b^* - 1,2315 b^{*2}$	0,81
9	$L^*, a^*$	$y = -157,3260 + 0,6303 L^* + 6,8641 a^*$	0,91
10	$a^*, b^*$	$y = -83,4964 + 9,9080 a^* - 3,5673 b^*$	0,63
11	$Ch^*, Ch^{*2}$	$y = -1.551,0500 + 60,0167 Ch^* - 0,5386 Ch^{*2}$	0,93
12	$Ch^*, H^*$	$y = -13.474,40 + 3,6286 Ch^* + 150,2930 H^*$	0,94
13	$L^*, a^*, b^*$	$y = -107,6010 + 0,4546 L^* + 9,8700 a^* - 3,5509 b^*$	0,63
14	$L^*, Ch^*, H^*$	$y = -13.448,80 + 0,2516 L^* + 3,6230 Ch^* + 149,8560 H^*$	0,94

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Nos Quadros 46 e 47 foram apresentadas as equações ajustadas aos teores de carotenóides totais determinados por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, no sistema CIELAB. Observou-se também que os parâmetros **L** e **L\*** em modelos polinomiais não se prestam para ajustes que têm por objetivo estimar os carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, aos 100 dias após o plantio.

O modelo com maior coeficiente de determinação, no método de espectrofotometria, foi o polinomial cúbico, em função de **a** e **a\***, apesar de ter-se optado pela apresentação do modelo polinomial quadrático para os dois métodos (Figura 38).

Todas as estimativas de carotenóides totais obtidas por ambos os métodos, neste sistema foram estatisticamente iguais, pelo teste F de (GRAYBILL, 1976), com valores de **a\*** variando entre 28 e 37. As maiores estimativas de carotenóides totais obtidas por espectrofotometria foram 121,37; para **a\*** igual 38,42 e 123,48 para **a\*** igual 38,45; mostrando que ainda aos 100 dias, as estimativas dos carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno poderão ser obtidas com eficiência a partir dos valores de **a** e **a\***.

#### 4.4.4. Cenouras Colhidas aos 120 Dias

Como pode ser observado nos (Quadros 48 a 51), os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno apresentaram ajustes adequados em função da maioria das variáveis independentes **L**, **a**, **b**, **Ch**, **H**, **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\***, tanto nos modelos polinomiais como nos múltiplos. Observou-se, em relação às épocas anteriores, que os parâmetros **L** e **L\*** nos dois métodos apresentaram melhoria em sua correlação com o teor de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, apesar de ainda **a** não ser o melhor parâmetro a ser utilizado em estimativas dessa natureza.

Com os métodos por espectrofotometria e **CLAE**, no sistema Hunter (Quadro 47 e 48) e (Figuras 24 e 25), observou-se que o modelo polinomial cúbico apresentou maior coeficiente de determinação, entretanto, optou-se pela apresentação do modelo polinomial linear, por ser um modelo mais simples e que se mostrou também adequado, segundo o método de *all possible regression* e pela análise dos resíduos da regressão.

QUADRO 48 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores **L**, **a**, **b**, **Ch** e **H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = -575,8460 + 14,3248 L$	0,48
2	a	$y = -170,0610 + 10,4689 a$	0,92
3	b	$y = -219,4530 + 15,3840 b$	0,72
4	Ch	$y = -199,3610 + 9,0580 Ch$	0,88
5	H	$y = -28,683,40 + 320,9060 H$	0,54
6	b, b <sup>2</sup>	$y = 4,3680 - 7,1467 b + 0,5659 b^2$	0,72
7	L, a	$y = -101,0190 - 1,9049 L + 11,2411 a$	0,92
8	a, b	$y = -149,6460 + 12,2624 a - 3,2402 b$	0,85
9	Ch, H	$y = -9.929,57 + 7,7524 Ch + 109,0600 H$	0,92
10	a, a <sup>2</sup> , a <sup>3</sup>	$y = 7.750,66 - 957,4510 a + 39,3066 a^2 + 0,5304 a^3$	0,98
11	L, a, b	$y = -138,6820 - 0,3727 L + 12,1900 a - 2,8366 b$	0,87
12	L, Ch, H	$y = -9.025,51 - 1,0024 L + 8,0913 Ch + 99,3092 H$	0,92

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 49 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno obtidos por **CLAE**, com os valores **L, a, b, Ch e H** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L	$y = -577,7810 + 14,3950 L$	0,48
2	a	$y = -170,5520 + 10,5427 a$	0,92
3	b	$y = -220,0280 + 15,4790 b$	0,72
4	Ch	$y = -199,9820 + 9,1194 Ch$	0,89
5	H	$y = -28.940,10 + 323,7850 H$	0,54
6	b, b <sup>2</sup>	$y = -19,5751 - 4,6999 b + 0,5068 b^2$	0,72
7	L, a	$y = -98,3366 - 1,9925 L + 11,3504 a$	0,92
8	a, b	$y = -149,4640 + 12,3954 a - 3,3472 b$	0,84
9	Ch, H	$y = -10.097,50 + 7,6083 Ch + 110,9350 H$	0,93
10	a, a <sup>2</sup> , a <sup>3</sup>	$y = 7.638,46 - 944,9230 a + 38,8358 a^2 - 0,5244 a^3$	0,96
11	L, a, b	$y = -136,3870 - 0,4445 L + 12,3091 a - 2,8658 b$	0,87
12	L, Ch, H	$y = -9.132,0600 - 1,0704 L + 8,1624 Ch + 100,5220 H$	0,93

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 50 – Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de carotenóides totais, obtidos por espectrofotometria, com os valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $Ch^*$  e  $H^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	$L^*$	$y = -575,8650 + 12,2751 L^*$	0,48
2	$a^*$	$y = -170,2000 + 8,8994 a^*$	0,92
3	$b^*$	$y = -219,3530 + 8,5916 b^*$	0,72
4	$Ch^*$	$y = -211,5500 + 6,5057 ch^*$	0,85
5	$H^*$	$y = -25.433,60 + 286,5750 H^*$	0,54
6	$b^*, b^{*2}$	$y = 2,0955 - 3,8635 b^* + 0,1748 b^{*2}$	0,72
7	$L^*, a^*$	$y = -101,3670 - 1,6275 L^* + 9,5538 a^*$	0,92
8	$a^*, b^*$	$y = -149,9690 + 10,4124 a^* - 1,7964 b^*$	0,85
9	$Ch^*, H^*$	$y = -11.497,80 + 5,2325 Ch^* + 127,3980 H^*$	0,92
10	$L^*, a^*, b^*$	$y = -138,5770 - 0,3316 L^* + 10,3488 a^* - 1,5626 b^*$	0,87
11	$L^*, Ch^*, H^*$	$y = -10,736,80 - 1,0499 L^* + 5,6724Ch^* + 119,2610 H^*$	0,92

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 51 - Equações de regressões polinomiais e múltiplas ajustadas aos teores de  $\beta$ -caroteno, obtidos por **CLAE**, com os valores **L\***, **a\***, **b\***, **Ch\*** e **H\*** de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

N	Variáveis Independentes	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
1	L*	$y = -577,8050 + 12,3354 L^*$	0,48
2	a*	$y = -170,6920 + 8,9621 a^*$	0,92
3	b*	$y = -219,9300 + 8,6448 b^*$	0,72
4	Ch*	$y = -212,2040 + 6,5487 Ch^*$	0,85
5	H*	$y = -25.660,90 + 289,1420 H^*$	0,54
6	b*, b <sup>2</sup>	$y = -21,7272 - 5021 b^* + 0,1564 b^{*2}$	0,72
7	L*, a*	$y = -98,7032 - 1,70 22 L^* + 9,6465 a^*$	0,92
8	a*, b*	$y = -149,7980 + 10,5426 a^* - 1,8551 b^*$	0,84
9	Ch*, H*	$y = -11.658,70 + 5,2574 ch^* + 129,2070 H^*$	0,92
10	L*, a*, b*	$y = -136,2660 - 0,3939 L^* + 10,4490 a^* - 1,5774 b^*$	0,87
11	L*, Ch*, H*	$y = -10.852,90 - 1,1111 L^* + 5,7232 Ch^* + 120,5910 H^*$	0,92

Todos os coeficientes de regressão são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

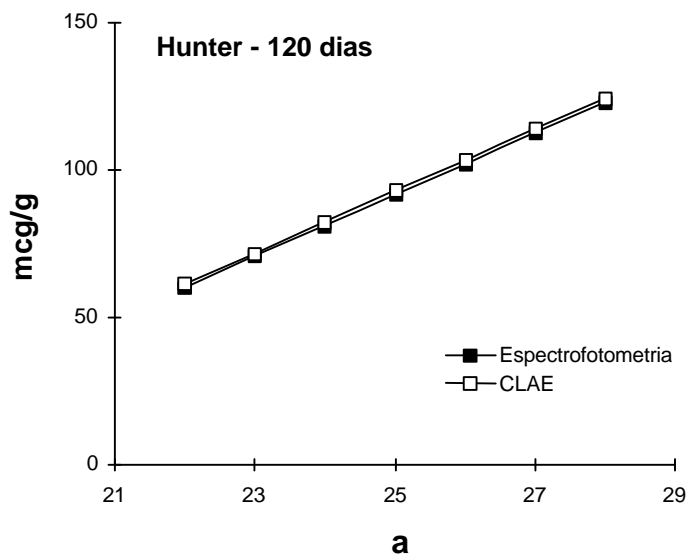


FIGURA 25 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por CLAE, em função dos valores de a de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

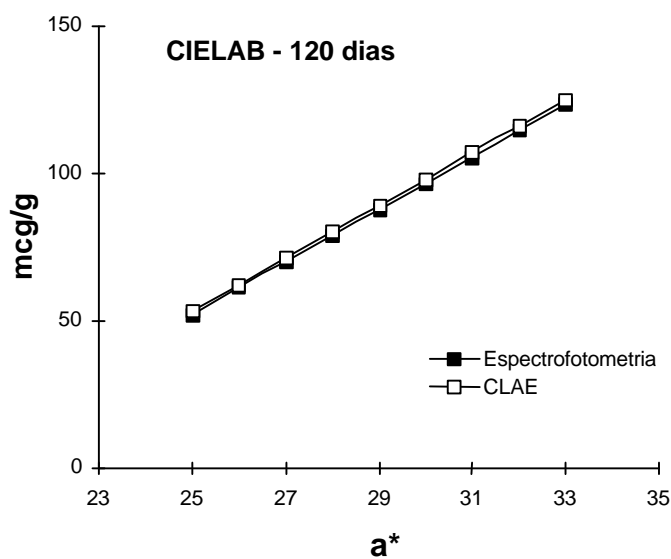


FIGURA 26 – Estimativa dos teores de carotenóides totais obtidos por espectrofotometria e  $\beta$ -caroteno por CLAE, em função dos valores de  $a^*$  de 14 cultivares de cenouras colhidas aos 120 dias.

Pode-se observar que aos 120 dias, as estimativas dos carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno são crescentes em função dos valores de **a**, não atingindo um ponto de máximo como nas épocas anteriores. Neste caso, quanto maior for o valor de **a**, maior será a estimativa. O mesmo comportamento foi observado no sistema CIELAB, cujos valores de **a\*** variaram de 25 a 33.

Também nessa época e nos dois sistemas, as estimativas obtidas por espectrofotometria e por cromatografia líquida de alto desempenho não apresentaram diferenças significativas pelo método de (GRAYBILL 1976).

Os coeficientes de determinação  $R^2$  das equações ajustadas mostram que os valores de **a** do sistema Hunter e **a\*** do sistema CIELAB explicam satisfatoriamente as variações nas concentrações de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno em todas as épocas de colheita e entre as cultivares estudadas. Este fato indica que as metodologias usadas para quantificar carotenóides, método espectrofotométrico e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência **CLAE**, poderão perfeitamente serem substituídas pelo método colorimétrico, de rápida e fácil execução, não necessitando da extração dos pigmentos. Desta forma nos estudos que necessitam de um número excessivo de análises de carotenóides, a exemplo de programas de melhoramento de cenoura, pode-se substituir com segurança os métodos espectrofotométricos e cromatográficos pela análise colorimétrica, utilizando o sistema Hunter ou CIELAB, especificamente, os valores de **a** ou **a\***.

O uso do método colorimétrico, além da redução de custos e de tempo, pela simplicidade dos procedimentos, poderá também, evitar as transformações nas estruturas dos carotenóides, notadamente, isomerização que freqüência ocorre nos processos de extração, reduzindo as interferências no processo. Ainda em experimentos em que há necessidade de se trabalhar com grande quantidade de amostras, o método colorimétrico, poderá ser uma ferramenta importante na quantificação dos carotenóides, tornando possível a execução da metodologia, sem se correr o risco de se chegar a resultados não confiáveis.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados observados no presente trabalho permitiram concluir que:

Ocorreram diferenças significativas entre os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno das 14 cultivares de cenoura em todas as épocas de colheita praticadas. A cultivar a Nova Kuroda apresentou, em todas as épocas de colheita, os mais altos teores e a cultivar Brasília Raiz Longa os mais baixos. Os valores encontrados para a cultivar Nova Kuroda, não diferiram significativamente daqueles encontrados para a cultivar Alvorada.

Ocorreram diferenças significativas entre os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno nas épocas de colheita. Os valores mais altos, em todas as cultivares, foram observados no centésimo dia de colheita e os mais baixos no sexagésimo dia, aos 120 dias observou-se pequeno decréscimo.

A relação que melhor explicou o comportamento dos carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno nas épocas de colheita praticadas foi a cúbica, aumentando até atingirem um ponto de máximo, decrescendo a partir daí. A semelhança entre as curvas, para todas as cultivares, é um indicativo de que o processo biossintético dos carotenóides em cenouras, segue um padrão definido e uniforme, independente da cultivar.

Considerando que os pontos de máximo das equações ajustadas, correspondem às épocas nas quais as cenouras apresentam os mais altos teores de carotenóides, conclui-se que a melhor época para colher cenouras é aos 109 dias,.

Para as medidas de cor os valores  $a$  do sistema Hunter e  $a^*$  do sistema CIELAB apresentaram comportamento semelhante àqueles observados para os valores de

carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno, os menores valores foram observados no sexagésimo dia de colheita e os maiores no centésimo dia de colheita, ocorrendo diminuição aos 120 dias. Os valores **L**, e **b** do sistema Hunter, e os valores **L\*** e **b\*** do sistema CIELAB não apresentaram um comportamento que permitisse qualquer inferência em relação aos teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno observados.

Observou-se pela metodologia *all possible regression* (DRAPER E SMITH, 1981) e pela análise de resíduos, que os valores **L**, **b**, **L\*** e **b\*** não foram parâmetros adequados à estimativa dos teores de carotenóides totais. Os valores de **Ch**, **H**, **Ch\*** e **H\*** possibilitaram estimativas confiáveis, tanto nos modelos polinomiais como nos múltiplos, no entanto, o uso desses parâmetros não se justificou em virtude das estimativas obtidas com os valores de **a** e **a\***.

As melhores equações ajustadas aos 60, 80 e 100 dias, foram as polinomiais quadráticas em função de **a** e **a\***. Aos 120 observou-se que o modelo polinomial cúbico apresentou maior coeficiente de determinação, entretanto, optou-se pela apresentação do modelo linear por ser um modelo mais simples e que se mostrou também adequado.

Assim, os teores de carotenóides totais e  $\beta$ -caroteno:

- 1) São melhores estimadas quando se utiliza o valor de **a** ou **a\***,
- 2) Podem ser obtidos a partir de modelos polinomiais e múltiplos em função de **Ch**, **CH\***, **H** e **H\***;
- 3) Têm comportamento idêntico, quando obtidas em função de **a** ou **a\***.
- 4) Têm comportamento diferenciado quando colhida aos 120 dias.

Estes fatos indicam que as metodologias usadas, poderão perfeitamente serem substituídas pelo método colorimétrico, de rápida e fácil execução por não necessitar da extração dos pigmentos. Desta forma nos estudos que necessitam de um número excessivo de análises de carotenóides, a exemplo de programas de melhoramento de cenoura, pode-se substituir com segurança os métodos espectrofotométricos e cromatográficos pela análise colorimétrica, utilizando o sistema Hunter ou CIELAB, especificamente, os valores de **a** ou **a\***.

O uso do método colorimétrico, além da redução de custos e de tempo, pela simplicidade dos procedimentos, poderá ser uma ferramenta importante na quantificação dos carotenóides, sem se correr o risco de se chegar a resultados não confiáveis.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, L. B. & PENTEADO, M. V. C. Carotenóides com atividade pró-vitamínica A de cenouras (*Daucus carota* L.) comercializadas em São Paulo, Brasil. **R. Farm. Bioquím. Univ. São Paulo**, v. 23, n. 2, p. 133-141, 1987.

ALMEIDA-MURADIAN, L. B. **Carotenóides da batata-doce (*Ipomoea batatas*, Lam.) e sua relação com a cor das raízes**. São Paulo: USP, 1991, 97p. (Tese de Doutorado).

ARIMA, H. K. & RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from northeastern Brazil. **Arch. Latinoamer. Nutr.**, v. 40, n. 2, p. 284-292, 1990.

ARTHEY, V. D. **Quality for horticultural products**. London: Butterworker & CO Ltda., 1975. 228 p.

ARYA, S. S.; NATESAN, V.; PARIHAR, D. B.; VIJAYARAGHAVA, N. Stability of carotenoids in dehydrated carrots. **J. Food Technol.**, v. 14, n. 4, p. 579-586, 1979.

BALOCH, A. K.; BUCLE, K. A.; EDWARDS, R. A. Effect of sulphur dioxide and blanching on the stability of carotenoids of dehydrated carrot. **J. Sci. Food Agric.**, v. 40, n. 1, p. 179-187, 1987.

- BAUERNFEIND, J. C. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. **J. Agric. Food Chem.**, v. 20, n. 3, p. 456-473, 1972.
- BEN-AMOTZ, A. & FISHLER, R. Análisis of carotenoids with emphasis on 9-cis  $\beta$ -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel. **Food Chemistry**. v. 62, n. 4, p. 515 – 520, 1998.
- BENDICH, A. Carotenoids and the immune response. **J. Nutr.**, v. 119, n. 1, p. 112-115, 1989.
- BILLMEYER, F. W. & SALTZMAN, M. **Principles of color technology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 256 p.
- BOLIN, H. R. & HUXSOLL, C. C. Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. **J. Food. Sci.**, v. 56, n. 2, p. 416–418, 1991.
- BORENSTEIN, B. Stability of nutrients in foods. In: HARRIS, R. S. & KARMAS, E. eds. **Nutritional evaluation of food processing**. 2.ed. Westport: AVI, 1975. p. 16-18.
- BOYNTON, R. M. **Human color vision**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1979. 277p.
- BRITTON, G. Carotenoids. In: CHARLWOOD, B. & BANTHORPE, D. eds. **Methods in plant biochemistry**. London: Academic Press, 1991. v. 7, p. 473-518.
- BRITTON, G. Carotenoids. In: HENDRY, G. F. ed. **Natural foods colorants**. New York: Blackie, 1992. p. 141-148.
- BRITTON, G. Structure and nomenclature of carotenoids. In: YOUNG, A. & BRITTON, G. eds. **Carotenoids in photosynthesis**. London: Chapman and Hall, 1993a. p. 1-15.

- BRITTON, G. Biosynthesis of carotenoids. In: YOUNG, A. & BRITTON, G. eds. ***Carotenoids in photosynthesis***. London: Chapman and Hall, 1993b. p. 96-126.
- BUIHAND, J. G. & GABELMAN, W. H. Studies on inheritance of root color and carotenoid content in red x yellow and red x white crosses of carrots *Daucus carota* L.. ***Euphytica***, v. 29, n. 1, p. 241-260, 1980.
- BUREAU, J. L. & BUSHWAY, R. J. HPLC determination of carotenoids in fruits and vegetables in the United States. ***J. Food Sci.***, v. 51, n. 1, p. 128-130, 1986.
- BURTON, G. W. Antioxidant action of carotenoids. ***J. Nutr.***, v. 119, n. 1, p. 109-111, 1989.
- BUSHWAY, R. J. Determination of  $\alpha$  and  $\beta$ -carotene in some raw fruits and vegetables by high-performance liquid chromatography. ***J. Agric. Food Chem.***, v. 34, n. 3, p. 409-412, 1986.
- BUSHWAY, R. J. & WILSON, A. M. Determination of  $\alpha$  and  $\beta$ -carotene in fruits and vegetables by HPLC. ***J. Food Sci. Technol.***, v. 15, n. 1, p. 165-166, 1982.
- CARVALHO, P. R. N.; COLLINS, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed phase high performance liquid chromatography. ***Chromatographia***, v. 33, n. 3/4, p. 136-137, 1992.
- CAVALCANTE, M. L. & RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of the tropical fruits *Eugenia uniflora* and *Malpighia glabra*. ***Food Sci. Hum. Nutr.***, v. 11, n.3, p. 643-650, 1992.
- CHANDLER, L. A. & SCHWARTZ, S. J. HPLC separation of cis-trans carotene isomers in fresh and processed fruits and vegetables. ***J. Food Sci.***, v. 52, n. 3, p. 669-672, 1987.

- CLYDESDALE, F. M. & FRANCIS, F. J. Pigments. In: FENNEMA, O. R. ed. ***Principles of food science - food chemistry***. New York: Marcel Dekker, 1976. parte 1, p. 417.
- CLYDESDALE, F. M.; HO, C.; LEE, C. Y.; MONDY, N. I.; SHEWFELT, R. L. The effects of postharvest treatment and chemical interactions on the bioavailability of ascorbic acid, thiamin, vitamin A, carotenoids and minerals. ***Crit. Rev. Food Sci. Nutr.***, v. 30, n. 6, p. 599-638, 1991.
- CLYDESDALE, F. M. Color as a factor in food choice. ***Crit. Rev. Food Sci. Nutr.***, v. 33, n. 1, p. 83–101, 1993.
- COLDITZ, G. A.; BRANCH, L. G.; LIPNICK, R. J.; WILLETT, W. C.; ROSNER, B.; POSNER, B. M.; HENNECKENS, C. H. Increased green and yellow vegetable intake and lowered cancer deaths in an elderly population. ***Amer. J. Clin. Nutr.***, v. 41, n. 1, p. 32-36, 1985.
- DAVIES, B. H. Carotenoids. In: GOODWIN, T. W. ed. ***Chemistry and biochemistry of plant pigments***. London: Academic Press, 1976. p. 38.
- DAVISON, A.; ROUSSEAU, E.; DUNN, B. Putative anticarcinogenic actions of carotenoids: nutritional implications. ***Can. J. Physiol. Pharmacol.***, v. 71, n. 9, p. 732-745, 1993.
- DORGAN, J. F.; ZIEGLER, R. G.; SCHOENBERG, J. B.; HARTGE, P.; McADAMS, M. J.; FALK, R. T.; WILCOX, H. B.; SHAW, F. L. Race and sex differences in associations of vegetables, fruits and carotenoids with lung cancer risk in New Jersey. ***Cancer Causes Control***, v. 4, n. 3, p. 273-281, 1993.
- DOWKER, B. D.; FENNEL, J. F. M.; JACKSON, J. C. Variation studies on carrots II. Effects of sites, years and densities on some quality characters. ***J. Hort. Sci.***, v. 49, p. 311-321, 1974.

- DOWKER, B. D.; FENNEL, J. F. M.; JACKSON, J. C. Genotypic and environmental variation in some colour characteristics of carrots. *Ann. App. Biol.*, v. 81, p. 377-383, 1975.
- DOWKER, B. D.; FENNEL, J. F. M.; JACKSON, J. C. Variation studies in carrots as an aid to breeding III. Size and shape characters. *J. Hort. Sci.*, v. 51, p. 235-244, 1976.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1981. 709 p.
- EAGERMAN, B. A.; CLYDESDALE, F. M.; FRANCIS, F. J. Comparison of color scales for dark colored beverages. *J. Food Sci.*, v. 38, n. 4, p. 1051-1055, 1973.
- EAGERMAN, B. A.; CLYDESDALE, F. M.; FRANCIS, F. J. Development of new transmission scales for dark colored beverages. *J. Food Sci.*, v. 38, n. 4, p. 1056-1059, 1973a.
- EDWARDS, C. G. & LEE, C. Y. Measurement of provitamin A and carotenoids in fresh and canned carrots and green peas. *J. Food Sci.*, v. 51, n. 2, p. 534-535, 1986.
- EPLER, K. S.; ZIEGLER, R. G.; CRAFT, N. E. Liquid chromatographic method for the determination of carotenoids, retinoids and tocopherols in human serum and in food. *J. Chromatogr.*, v. 619, n. 1, p. 37-48, 1993.
- FRANCIS, F. J. Pigment content and color in fruits and vegetables. *Food Technol.*, v. 23, n. 1, p. 32 – 36, 1969.
- FRANCIS, F. J. Colorimetry of food. In: PEELEG, M. & BAGLEY, E. B., eds. *Properties of foods*. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc., 1963. 380 p.

- FRANCIS, F. J. & CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc., 1975. 477 p.
- FRANCIS, F. J. Food colorimetry: measurement and interpretation. In: JOWITT, R. J.; ESCHER, E.; KENT, M.; McKENNA, B. eds. **Physical properties of foods-2**. London: Elsevier Applied Science, 1987. 380-422 p.
- FRANCIS, F. J. Colorimetric properties of foods. In: RAO, M. A. & RIZVI, S. S. H. eds. **Engineering properties of foods**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 460 – 512 p.
- FRANCIS, F. J. Color Analysis. In: NIELSEN, S. S. ed. **Food analysis**. 2 ed. Maryland: Aspen Publishers, Inc., 1998. P.599–612.
- FRANCIS, F. J. Color measurement and interpretation. In: FUNG, D. Y. C. ed. **Instrumental methods for quality assurance in foods**. New York: Marcel Dekker, 1998a. 524-544 p.
- FRANCO, G. **Nutrição - texto básico e tabela de composição química dos alimentos**. 9.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995. 307 p.
- GOLDMAN, M.; HOREV, B.; SAGUY, I. Decolorization of  $\beta$ -carotene in model systems simulating dehydrated foods: mechanism and kinetic principles. **J. Food Sci.**, v. 48, n3,. 751-754, 1983.
- GRABYLL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Massachussets: Ouxburg Press. 1976. 704 p.
- GREENBER, E. R. Retinoids or carotenoids: is there another choice? **Prev. Med.**, v. 22, n. 5, p. 723-737, 1993.
- GROSS, J. **Pigments in vegetables - Chlorophylls and carotenoids**. New York: AVI Publishing Company, Inc., 1991. 351 p.

- HARRIS, R. S. General discussion on the stability of nutrients. In: HARRIS, R. S. & KARMAS, E. eds. **Nutritional evaluation of food processing**. 2.ed. Westport: AVI, Publishing Company, Inc., 1975. p. 1-4.
- HANKINSON, S. E.; STAMPFER, M. J.; SEDDON, J. M.; COLDITZ, G. A.; ROSNER, B.; SPEIZER, F. E.; WILLETT, W. C. Nutrient intake and cataract extraction in women: a prospective study. **Brit. Med. J.**, v. 305, n. 6849, p. 335-339, 1992.
- HSIEH, Y. P. C. & KAREL, M. Rapid extraction and determination of  $\alpha$  and  $\beta$ -carotenes in foods. **J. Chromatogr.**, v. 259, n. 3, p. 515-518, 1983.
- HUNTER, R. S. & HAROLD, R. W. **The measurement of appearance**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 281 p.
- HUNTER, R. S. & YEATMAN, J. N. Direct reading tomato colorimeter. **J. Optic. Soc. Amer.**, v. 52, n. 1, p. 1-2, 1961.
- HUTCHINGS, J. B. **Food color and appearance**. London: Blackie Academic & Professional, 1994. 492 p.
- IMAN, M. K. & GABELMAN, W. H. Inheritance of carotenoids in carrot, *Daucus carota* L. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 9, n. 2, p. 419-428, 1968.
- JACQUES, P. F. & CHYLACK JUNIOR, L. T. Epidemiologic evidence of a role for the antioxidant vitamins and carotenoids in cataract prevention. **Amer. J. Clin. Nutr.**, v. 53, p. 352-355, 1991. (Supplement, 1).
- JORGENSEN, K. & SKIBSTED, L. H. Carotenoids scavenging of radical. Effect of carotenoid structure and oxygen partial pressure on antioxidative activity. **Z Lebensm. Unter Forsch.**, v. 196, n. 5, p. 423-429, 1993.
- JUDD, D. B. & WYSZECKI, G. **Color in business, science and industry**. 4 2d. New York: John Wiley & Sons, 1997. 576 p.

- KAMBER, M., PFANDER, H. Separation of carotenoids by high-performance liquid chromatography. **J. Chromatogr.**, v. 295, p. 295-298, 1984.
- KATTAN, A. A.; MOORE, J. N.; FLEMING, J. W. Sweet potatoes – color and enzymatic discoloration. **Arkansas Farm. Res.**, v 6, n.2, p.6 – 7, 1957.
- KRAMER, A. & TWIGG, P. A. **Fundamentals of quality control for the food industry**. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc., 1986. P. 19 – 42.
- KUEHNI, R. G. **Color. An introduction to practice and principles**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 288 p.
- KHACHIC, F.; BEECHER, G. R.; WHITTAKER, N. F. Separation, identification and quantification of the major carotenoid and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography. **J. Agric. Food Chem.**, v. 34, n. 4, p. 603-616, 1986.
- KONINGS, E. J. M. & ROOMANS, H. H. S. evaluation and validation of an LC method for the analysis of carotenoids in vegetables and fruit. **Food Chemistry**. v. 59, n. 4, p. 599 – 603, 1997.
- KRINSKY, N. I. Carotenoids and cancer in animal models. **J. Nutr.**, v. 199, n. 1, p. 123 -126, 1989.
- LAFERRIERE, L. & GABELMAN, W. H. Inheritance of color, total carotenoids, alpha-carotene and beta-carotene in carrots, *Daucus carota* L. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 93, n. 2, p. 408 - 418, 1968.
- LE-MARCHAND, L.; HANKIN, J. H.; KOLONEL, L. N.; BEECHER, G. R.; WILKENS, L. R.; ZHAO, L. P. Intake of specific carotenoids and lung cancer risk. **Cancer Epidemiol. Biom. Prev.**, v. 2, n. 3, p. 183-187, 1993.

- LEE, C. Y. Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage. **Food Chem.**, v. 20, n. 1, p. 285-293, 1986.
- MARTENS, M.; FJELDSSENDEN, B. & RUSSWURM, H. Evaluation of sensory and chemical quality criteria of carrots and swedes. **Acta Hort.**, v. 93, n. 1, p. 21 - 27, 1979.
- MICOZZI, M. S.; BEECHER, G. R.; TAYLOR, P. R.; KHACHIK, F. Carotenoid analyses of selected raw and cooked foods associated with a lower risk for cancer. **J. Nat. Cancer Inst.**, v. 82, n. 4, p. 282-285, 1990.
- MOSTAFA, K. I. & GABELMAN, W. H. Inheritance of carotenoids in carrots, *Daucus carota* L. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 93, n. 3, p. 419-428, 1967.
- MURAKOSHI, M.; NISHINO, H.; SATOMI, Y.; TAKAYASU, J.; HASEGAWA, T.; TOKUDA, H.; IWASHIMA, A.; OKUZUMI, J.; OKABE, H.; KITANO, H. Potent preventive action of alpha carotene against carcinogenesis: spontaneous liver carcinogenesis and promoting stage of lung and skin carcinogenesis in mice are suppressed more effectively by alpha carotene than by beta carotene. **Cancer Res.**, v. 52, n. 23, p. 6583-6587, 1992.
- NUNES, M. V. C. **Estimativas de parâmetros genéticos e de correlação de caracteres da raiz, parte aérea e semente de progênies de meio-irmãos da cenoura (*Daucus carota* L.) cv. Brasília.** Viçosa: UFV, 1991. 133 p. (Tese Doutorado).
- OLSON, J. A. Biological actions of carotenoids. **J. Nutr.**, v. 119, p. 94-95, 1989a.
- OLSON, J. A. Provitamin A function of carotenoids: the conversion of  $\beta$ -carotene into vitamin A. **J. Nutr.**, v. 119, p. 105-108, 1989b.
- O'NEIL, C. A. & SCHWARTZ, S. J. Chromatographic analysis of cis/trans carotenoid isomers. **J. Chromatogr.**, v. 624, p. 235-252, 1992.

- PENTEADO, M. V. C.; MINAZZI, R. S.; ALMEIDA, L. B. Carotenóides e atividade pró-vitamínica A de folhas de hortaliças consumidas no norte do Brasil. **R. Farm. Bioquím. Univ. São Paulo**, v. 22, n. 2, p. 97-102, 1986.
- PETERS, D. J. Studies on the inheritance of colour and total carotenoids contents in carrots (*Daucus carota* L.). **Dissert. Abs. Int.**, v. 42, n. 11, p. 4301-4302, 1982.
- PETERSON, C. E. & SIMON, P. W. Carrot breeding. In: BASSET, M. J. ed. **Proceeding vegetables crops**. Westport: AVI Publishing Company Inc. 1986. 584 p.
- PHAN, P. W. & HSU. H. Physical and chemical changes occurring in the carrot root during growth. **Canadian J. Plant Sci.**, v. 53, n. 3, p. 629-635, 1973.
- QUACKENBUSH, F. W. & SMALLIDGE, R. L. Nonaqueous reverse phase liquid chromatographic system for separation and quantification of provitamins A. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, v. 69, n. 5, p. 767-773, 1986.
- RAMOS, D. M. R. **Avaliação das perdas de carotenóides e valor de vitamina A durante a desidratação e a liofilização industrial de cenoura e espinafre**. Campinas: UNICAMP, 1991, 106 p. (Tese de Mestrado).
- REPPOND, K. D. & BABBITT, J. K. Gel properties of surimi from various fish species as affected by moisture content. **J. Food Sci.**, v. 62, n. 1, p. 33-36, 1997.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; RAYMUNDO, L. C.; LEE, T.; SIMPSON, K. L.; CHICHESTER, C. O. Carotenoid pigment changes in ripening *Momordica charantia* fruits. **Ann. Bot.**, v. 40, n. 3, p. 615-624, 1976.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Os carotenóides como precursores de vitamina A. **Bol. Soc. Bras. Ci. Tecnol. Alim.**, v. 19, n. 4, p. 227-242, 1985.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Critical review of provitamin A determination in plant foods. **J. Micronutr. Anal.**, v. 5, n. 1, p. 191-225, 1989.

- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. & AMAYA-FARFÁN, J. Estado actual de los métodos analíticos para determinar provitamina A. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, v. 42, n. 2, p. 180-191, 1992.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Nature and distribution of carotenoids in foods. In: CHARALAMBOUS, F. ed. *Shelf life studies of foods and beverages-chemical, biological, physical and nutritional aspects*. Amsterdam: Elsevier Science, 1993a. p. 547-589.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Stability of carotenoids during the storage of foods. In: CHARALAMBOUS, F. ed. *Shelf life studies of foods and beverages - chemical, biological, physical and nutritional aspects*. Amsterdam: Elsevier Science, 1993b. p. 591-624.
- RUBATZKY, V. E.; QUIROS, C. F.; SIMON, P. W. *Carrots and related vegetable umbelliferae*. Davis: CABI Publishing, 1999. 294 p. (Crop production science in horticultural, 10).
- SANT'ANA, H. M. P. *Efeito do método de preparo sobre a estabilidade de carotenóides em cenoura (Daucus carota L.)*. Viçosa: UFV, 1995. 115 p. (Tese de Mestrado).
- SIMON, P. W. & PETERSON, C. E. Genetic and environmental components of carrot culinary and nutritive value. *Acta Hort.*, v. 93, n. 2, p. 271-278, 1979.
- SIMON, P. W.; PETERSON, C. E. & LINDSAY, R. C. Correlation between sensory and objective parameters of carrot flavor. *J. Agri., Food Chem.*, v. 28, n. 3, p. 559-562, 1980.
- SIMON, P. W.; PETERSON, C. E.; LINDSAY, R. C. Genotype, soil and chemical effects on sensory and objective components of carrot flavor. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, v. 107, n. 4, p. 644-648, 1982.

- SIMON, P. W. & LINDSAY, R. C. Effects for processing upon objective and sensory variables of carrots. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 108, n. 6, p. 928-931, 1983.
- SIMON, P. W.; WOLFF, X. Y.; PETERSON, C. E. Selection for high carotene content in carrots. **HortScience**, v. 20, n. 3, p. 586-590, 1985.
- SIMON, P. W. & WOLFF, X. Y. Carotenes in typical and dark orange carrots. **J. Agric. Food Chem.**, v. 35, n. 6, p. 1017-1022, 1987.
- SIMON, P. W.; WOLFF, X. Y.; PETERSON, C. E. High carotene mass carrot population. **HortScience**, v. 24, n. 1, p. 174-176, 1989.
- SIMON, P. W.; PETERSON, C. E.; GABELMAN, W. H. B493 and B9304. Carrot inbreds for use in breeding, genetics and tissue culture. **HortScience**. v. 25, n. 4, p. 815 – 818, 1990.
- STOMMEL, J. R. & SIMON, P. W. Phenotypic recurrent selection and heritability estimates for total dissolved solids and sugar type in carrot. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 144, n. 4, p. 695-699, 1989.
- SPEEK, A. J.; TEMALILWA, C. R.; SCHRIJVER, J. Determination of  $\beta$ -carotene content and vitamin A activity of vegetables by high performance liquid chromatography and spectrophotometry. **Food Chem.**, v. 19, n. 1, p. 65-74, 1986.
- SPEEK, A. J.; SPEEK-SAICHUA, S.; SCHREURS, W. H. P. Total carotenoid and  $\beta$ -carotene contents of that vegetables and the effect of processing. **Food Chem.**, v. 27, n. 1, p. 245-257, 1988.
- SWEENEY, F. P. & MARSH, A. C. Effect of processing on provitamin A in vegetables. **J. Am. Diet. Assoc.**, v. 59, p. 238-243, 1971.
- TANNENBAUM, S. R. Vitamins and minerals. In: FENNEMA, O. R. ed. **Principles of food science - food chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1976. parte 1, p. 417.

- UMIEL, N. & GABELMAN, W. H. Inheritance of root colour and carotenoid synthesis in carrot, *Daucus carota* L.. Orange vs red. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 97, n. 4, p. 453-460, 1971.
- VAN-POPPEL, G. Carotenoids and cancer: an update with emphasis on human intervention studies. **Eur. J. Cancer**, v. 29A, n. 9, p. 1335-1344, 1993.
- VIEIRA, J. V. **Herdabilidade, correlações e índice de seleção em populações cenoura (*Daucus carota* L.)**. Viçosa: UFV, 1991. 86 p. (Tese Doutorado).
- WECKEL, K. G.; SANTOS, B.; HERNAN, E.; LAFERRIERI, L.; GABELMAN, W. H. Carotene components of frozen and processed carrots. **Food Technol.**, v. 16, n. 8, p. 91-94, 1962.
- WENZEL, F. W. & HUGGERT, R. L. Instruments to solve problems with citrus products. **Food Technol.**, v. 23, p. 147-150, 1969.
- WILBERG, V. C. & RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Quantificação de  $\beta$ -caroteno e licopeno em tomate e em alguns dos seus produtos por cromatografia líquida de alta eficiência. **Bol. Soc. Bras. Ci. Technol. Aliment.**, v. 13, n. 2, p. 132-141, 1993.
- WRIGHT, W. D. **The measurement of color**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1971. 434 p.
- ZIEGLER, R. G. A review of epidemiologic evidence that carotenoids reduce the risk of cancer. **J. Nutr.**, v. 119, p. 116-122, 1989.
- ZIEGLER, R. G. Vegetables, fruits and carotenoids and the risk of cancer. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 53, p. 251-259, 1991. (Suplement, 1).
- ZIEGLER, R. G.; SUBAR, A. F.; CRAFT, N. E.; URSIN, G.; PATTERSON, B. H.; GRAUBARD, B. I. Does beta carotene explain why reduced cancer risk is associated with vegetable and fruit intake? **Cancer Res.**, v. 52, p. 2060-2066, 1992. (Suplement, 7).