



CARACTERIZAÇÃO DA REFLETÂNCIA ESPECTRAL DE VARIEDADES DE ALFACE EM PÓS-COLHEITA

M.R. Verruma-Bernardi¹, F.C. Sala¹, M.H.F. Spoto², K.R. Borba³, M.D. Ferreira⁴, A.C.C. Bernardi⁵

- (1) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Rodovia Anhanguera, Km 174, Araras, SP, verruma@cca.ufscar.br, fcsala@cca.ufscar.br
- (2) Escola Superior Luiz de Queirós, ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, 13418900, Piracicaba, SP, mhfspoto@esalq.usp.br
- (3) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Rod. Araraquara-Jaú, Km 1, 14800-901, Araraquara, SP, borbakr@gmail.com
- (4) Embrapa Instrumentação, Rua Quinze de Novembro, 1452, 13561-206, São Carlos, SP, marcos.david@embrapa.br
- (5) Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, Km 234, 13560-970, São Carlos, SP, alberto.bernardi@embrapa.br

Resumo: O monitoramento da qualidade dos produtos agrícolas é essencial em todas as etapas desde a produção até a comercialização. O uso de sensores baseados na refletância do visível é um método sem contato e não destrutivo o qual pode ser muito útil para avaliar a qualidade da alface armazenada. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a refletância espectral de nove variedades de alface durante o armazenamento. O índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI) e o teor de clorofila (Chl) foram medidos com o sensor óptico ativo *Crop Circle*. Os resultados indicaram que os sensores oferecem rápida e estimativa não-destrutiva dos índices de vegetação de alfaces armazenadas e podem fornecer indicações de qualidade do produto.

Palavras-chave: NDVI, NDRE, Chl, *Lactuca sativa*, armazenamento, cor.

SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERIZATION OF PPOST-HARVESTED LETTUCE VARIETYS

Abstract: Monitoring the quality of agricultural products is essential from production to marketing. Sensors use based on visible reflectance is non-destructive and contactless method which can be very useful to assess the quality of the stored lettuce. The aim of this study was to characterize the spectral reflectance of nine varieties of lettuce during storage. NDVI, NDVRE and chlorophyll content (Chl) readings were taken each two days during a 8-day period storage with a crop circle active optical sensor. The results indicated that the sensors offer fast and non-destructive estimation of vegetation indices stored lettuces and can provide indications of product quality.

Keywords: NDVI, NDRE, Chl, *Lactuca sativa*, storage, colour.

1. Introdução

O monitoramento da qualidade dos produtos agrícolas é essencial em todas as etapas desde a produção até a comercialização (ABBOTT, 1999). Os diversos sensores podem desempenhar um papel-chave na identificação das propriedades e características dos produtos. Por isso sua utilização em ensaios não destrutivos são fundamentais para o monitoramento e controle de qualidade e segurança do produto (RUIZ-ALTISENT et al., 2010).

As propriedades de refletância de um produto agrícola, na região do visível (aproximadamente 400-780 nm) são percebidas pelos seres humanos como a cor dos produtos. A cor é um atributo diretamente relacionado com a aparência do produto (ABBOTT, 1999), e o espectro da refletância no visível tem sido relacionado com os processos de maturação e/ou deterioração de frutos e também de vegetais folhosos (RUIZ-ALTISENT et al., 2010).

A mensuração da refletância espectral é uma abordagem sem contato e não destrutiva que tem sido utilizada com sucesso para a determinação de deficiências nutricionais, estresse abióticos, e estimativos da biomassa das culturas (TUMBO et al., 2002). A luz vermelha é absorvida pelos pigmentos verdes (clorofila), em tecidos fotosinteticamente ativos, e, portanto, a proporção refletida varia inversamente à quantidade de biomassa vegetal. No entanto, no campo, a intensidade de luz vermelha refletida vai depender não apenas da proporção absorvida, mas, também, da intensidade incidente, que varia com a localização e hora do dia. O índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI), por ser uma ferramenta rápida e eficiente de detecção de variações na vegetação (ROUSE et al., 1973), é comumente usado para avaliar a sanidade, a biomassa e o teor de nutrientes das plantas. O conteúdo de clorofila (Chl) do dossel de uma cultura é uma variável biofísica que expressa quantitativamente a capacidade

fotossintética da vegetação e está relacionada a parâmetros biofísicos do dossel, como teor de nitrogênio, biomassa, coloração verde, índice de área foliar total, balanço de troca de CO₂, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida - PAR (GITELSON et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a refletância espectral de nove variedades de alface durante o armazenamento.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido no Laboratório de Pós-colheita em Frutas e Hortaliças da Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP. As variedades de alfaces (*Lactuca sativa*): Brunela, Crocantela, Green Frisly, Pira Roxa, Romanela, Rubinela, Sophia, SVR, Vanda foram cultivadas em sistema hidropônico. As alfaces foram colhidas, embaladas e armazenadas em câmara fria à 10°C umidade relativa de 90%.

Os dados de refletância das variedades de alface foram coletadas utilizando o sensor *Crop Circle ACS-430* (Holland Scientific, Lincoln, NE) periodicamente a cada dois dias, desde a colheita até o 8º dia de armazenamento. O sensor ativo ACS-430 mede a refletância da luz do solo e das culturas emitida por um diodo emissor de luz policromática modulada (LED) em três canais ópticos (670, 720 e 760 nm) (Solari et al., 2008). As medidas foram realizadas a aproximadamente 0,5 m acima e perpendicular ao dossel das plantas. A partir das medidas foram calculados os índices descritos nas equações a, b e c:

a) *Normalized difference vegetation index* ou Índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI), relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = (Nir_{760} - Vis_{670}) (Nir_{760} + Vis_{670})^{-1} \quad (1)$$

b) *Normalized difference red edge* ou diferença normalizada na banda do vermelho (NDRE), relacionado aos teores de clorofila e N na biomassa (Barnes et al., 2000; Rodriguez et al., 2006):

$$NDRE = (Nir_{760} - Re_{720}) (Nir_{760} + Re_{720}) \quad (2)$$

c) *Chlorophyll Index* ou índice de clorofila (Chl), relacionado ao teor de clorofila (Gitelson et al., 2003):

$$Chl = 1 - [(Nir_{760}) (Re_{720})^{-1}] \quad (3)$$

onde, NIR₇₆₀, Re₇₂₀ e VIS₆₇₀ são as refletâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760, 720 e 670nm.

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial, sendo os fatores: nove variedades de alface, cinco avaliações com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando os efeitos de bloco e de tratamentos.

3. Resultados e Discussão

O cálculo do NDVI é feito pela diferença de refletância entre a faixa de infravermelho próximo (NIR) e a do vermelho visível (VIS) e normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (ROUSE et al., 1973). Neste índice, é incluída especificamente a região do vermelho, em substituição a de toda região do visível, devido à maior absorção da radiação eletromagnética pela clorofila para esta faixa espectral em relação às demais. Na Tabela 1 é mostrada a variação das leituras de NDVI das variedades Brunela, Green Frisly, Pira Roxa, Romanela, Sophia, e Vanda de alface em função dos dias de armazenamento. As leituras obtidas no presente estudo foram altas, e apresentam pouca variação, sendo que os valores observados variaram de 0,416 a 0,932.

Outra área espectral de considerável interesse tem sido a NDRE ou *Normalized difference red edge* (diferença normalizada na banda do vermelho) normalizada pela divisão da soma das faixas de forte absorção de luz vermelha de clorofila (~ 720 nm) e a banda altamente reflexiva do infravermelho próximo (~ 760 nm). Esta região de comprimento de onda é muitas vezes referida como a *red edge* ("banda vermelha"). De acordo com Barnes et al. (2000) e Rodriguez et al. (2006) a *red edge* se modifica para comprimentos de onda ligeiramente mais longos com o aumento do teor de clorofila. Dessa forma, sendo um índice útil para avaliar a qualidade de alfaces armazenadas. Na Tabela 1 estão as leituras de NDRE para as variedades estudadas em função do tempo de armazenamento. As leituras obtidas no presente estudo apresentaram pouca variação com valores variando de 0,107 a 0,332.

A concentração de clorofila (Chl) é muito importante, pois esta estrutura molecular controla o potencial fotossintético e, por consequência, a produção primária de uma cultura. Como a clorofila incorpora uma grande parte do N total das folhas, e o seu teor é uma estimativa indireta precisa do estado nutricional de plantas (MARS-CHNER, 1995). A Tabela 1 mostra as leituras de Chl das variedades de alface. Observou-se que o Chl variou significativamente ao longo do período de armazenamento para as variedades Brunela, Crocantela, Green Frisly, Pira Roxa, Romanela, Sophia, e Vanda. Sendo que apenas a SRV não apresentou variação neste índice. As leituras de Chl variam de 0,243 a 1,000. E as variações significativas indicaram redução do índice até o 4 e 6 dias de armazenamento e posteriormente um aumento dos valores das leituras.

Tabela 1. Média e desvio padrão das leituras de NDVI¹, NDRE², Chl³ das variedades de alface em função dos dias de armazenamento.

Variedades	Armazenamento	NDVI		NDRE		Chl	
	Dias						
Brunela	0	0,883	±0,007	0,216	±0,023	0,553	±0,077
	2	0,800	±0,031	0,155	±0,011	0,368	±0,030
	4	0,805	±0,019	0,155	±0,004	0,367	±0,012
	6	0,794	±0,023	0,149	±0,006	0,351	±0,016
	8	0,820	±0,001	0,170	±0,013	0,410	±0,037
Teste F		17,30***		13,96***		16,08***	
Crocantela	0	0,891	±0,017	0,271	±0,051	0,754	±0,184
	2	0,834	±0,027	0,203	±0,041	0,519	±0,129
	4	0,811	±0,033	0,167	±0,038	0,406	±0,111
	6	0,795	±0,097	0,193	±0,042	0,483	±0,127
	8	0,799	±0,043	0,178	±0,044	0,439	±0,130
Teste F		2,32 ^{NS}		3,51*		3,96*	
Green Frisly	0	0,855	±0,060	0,291	±0,031	0,826	±0,127
	2	0,653	±0,164	0,236	±0,031	0,627	±0,100
	4	0,711	±0,089	0,242	±0,017	0,640	±0,057
	6	0,798	±0,054	0,263	±0,018	0,718	±0,067
	8	0,793	±0,035	0,246	±0,013	0,658	±0,047
Teste F		2,98*		3,55*		3,70*	
Pira Roxa	0	0,919	±0,011	0,303	±0,021	0,874	±0,087
	2	0,875	±0,012	0,253	±0,011	0,681	±0,038
	4	0,840	±0,036	0,218	±0,031	0,560	±0,106
	6	0,876	±0,016	0,245	±0,027	0,653	±0,095
	8	0,851	±0,011	0,243	±0,012	0,644	±0,042
Teste F		9,63**		8,19**		8,73**	
Romanela	0	0,867	±0,014	0,251	±0,044	0,681	±0,164
	2	0,826	±0,020	0,205	±0,016	0,522	±0,051
	4	0,831	±0,055	0,210	±0,049	0,541	±0,162
	6	0,735	±0,059	0,162	±0,020	0,388	±0,055
	8	0,662	±0,158	0,146	±0,033	0,347	±0,091
Teste F		2,81 ^{NS}		3,85*		3,75*	
Rubinela	0	0,881	±0,024	0,210	±0,031	0,534	±0,103
	2	0,817	±0,041	0,169	±0,011	0,408	±0,032
	4	0,813	±0,028	0,158	±0,022	0,376	±0,063
	6	0,808	±0,022	0,143	±0,014	0,333	±0,038
	8	0,832	±0,012	0,181	±0,017	0,444	±0,051
Teste F		4,84*		6,09*		5,84**	
Sophia	0	0,831	±0,044	0,195	±0,018	0,493	±0,054
	2	0,694	±0,072	0,148	±0,010	0,352	±0,029
	4	0,745	±0,034	0,126	±0,014	0,289	±0,035
	6	0,789	±0,025	0,163	±0,003	0,392	±0,008
	8	0,734	±0,032	0,142	±0,018	0,336	±0,049
Teste F		5,60**		14,72***		15,96***	
SVR	0	0,842	±0,019	0,191	±0,033	0,476	±0,103
	2	0,787	±0,067	0,176	±0,051	0,438	±0,156
	4	0,794	±0,030	0,151	±0,020	0,356	±0,057
	6	0,816	±0,020	0,189	±0,023	0,468	±0,068
	8	0,822	±0,026	0,193	±0,021	0,480	±0,064
Teste F		1,46 ^{NS}		1,25 ^{NS}		1,15 ^{NS}	
Vanda	0	0,869	±0,012	0,236	±0,012	0,622	±0,039
	2	0,836	±0,024	0,197	±0,039	0,497	±0,122
	4	0,811	±0,022	0,165	±0,024	0,397	±0,071
	6	0,829	±0,019	0,191	±0,025	0,476	±0,075
	8	0,834	±0,011	0,210	±0,024	0,536	±0,074
Teste F		5,09**		4,05*		4,17*	

¹Índice de Diferença de Vegetação Normalizado; ²Diferença Normalizada na Banda do Vermelho; ³Índice de clorofila.

4. Conclusões

Os resultados indicaram que os sensores oferecem rápida estimativa não-destrutiva dos índices de vegetação de alfaces armazenadas e podem fornecer indicações de qualidade do produto.

Referências

- ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v.15, n.3, p. 207-225, 1999.
- BARNES, E.M.; CLARKE, T.R.; RICHARDS, S.E.; COLAIZZI, P.D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LUSCANO, R.J.; LI, H.; MORAN, M.S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. Unpaginated CD-ROM (13.pdf). Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN. 16–19, July 2000. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- GITELSON, A.A.; VIÑA, A.; CIGANDA, V.; RUNDQUIST, D.C.; ARKEBAUER, T.J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, v.32, L08403, 2005. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL022688>
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- RODRIGUEZ, D.; FITZGERALD, G.J.; BELFORD, R.; CHRISTENSEN, L. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-biophysiological concepts. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.57, n.7, p.781-89, 2006.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium*, 3, 1973, Washington. Anais. Washington, D.C.: NASA, Goddard Space Flight Center 1:309-317. 1973
- RUIZ-ALTISENT, M.; RUIZ-GARCIA, L.; MOREDA, G.; LU, R.; HERNANDEZ-SANCHEZ, N.; CORREA, E.; DIEZMA, B.; NICOLAI, B.; GARCIA-RAMOS, J. Sensors for product characterization and quality of specialty crops - A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.74, n.2, p.176-194, 2010.
- SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.B.; SCHEPERS, J.S.; GITELSON, A.A. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agronomy Journal*, v.100, n.3, p.571-579, 2008.
- TUMBO, S.D.; WAGNER, D.G.; HEINEMANN, P.H. Hyperspectral-based neural network for predicting chlorophyll status in corn. *Transactions of the ASAE*, v.45, n.3, p.825-832, 2002.