

Sensoriamento proximal para caracterização e diferenciação espectral *in situ* de cultivares de alho

José Lucas Safanelli ¹
Alexandre ten Caten ¹
Leosane Cristina Bosco ¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC campus Curitibanos
Caixa Postal 101 - 89520-000 - Curitibanos - SC, Brasil
zecojl@gmail.com, alexandre.ten.caten@ufsc.br, leosane.bosco@ufsc.br

Abstract. The improvement and expansion of a more sustainable and productive garlic crop system should consider the constant monitoring and recognition of the determining factors in the field scale. The proximal sensing has been highlighted in recent years by generating agricultural information in a quick, efficient and less laborious way. This technique could be used as a tool in identifying and assessing garlic crops. The aim of this study was to characterize and differentiate garlic cultivars under different cultural treatments using in-situ proximal sensing. At the experimental farm of the Federal University of Santa Catarina, located in Curitibanos-SC, it was established a split plot experiment with two factors in each subplot, outlined in randomized blocks with four replications. It was used two levels for the factors planting dates, cultivars and bulblets-seed treatments. The radiometric data was collected using the portable spectroradiometer Field Spec Hand Held II when the plants were with 32 and 62 days after emergence. The bidirectional reflectance factors of canopy and leaf were characterized by spectral curves, and subsequently delimited in bands for description and variance analysis. The green (545-565 nm), red to near infrared (700-710 nm) and near infrared (840-880 nm) bands were used in this study. The in-situ proximal sensing enabled the characterization of Ito and Chonan garlic cultivars under different cultural treatments. The bidirectional reflectance factor of the canopy in the green and red to near infrared bands allowed differentiate the cultivars and plants exposed to vernalization at different stages of plant development.

Palavras-chave: *Allium Sativum* L., spectroradiometry, bidirectional reflectance factor, espectrorradiometria, fator de reflectância bidirecional.

1. Introdução

O estado de Santa Catarina é o segundo maior produtor de alho do Brasil. A produção é concentrada, em sua maioria, no planalto catarinense, e o município de Curitibanos se destaca como maior produtor catarinense (62%). No entanto, a cadeia produtiva dessa *Allioideae* na região sofre com diversos problemas sanitários, na obtenção de sementes de qualidade, com a concentração do período de colheita, entre outros fatores. A melhoria e ampliação de um sistema de produção sustentável e mais produtivo depende de tecnologias que favoreçam diretamente ou indiretamente o sistema produtivo. Aliado a isso, o monitoramento constante e o reconhecimento dos fatores determinantes também devem ser igualmente considerados.

O sensoriamento proximal tem se destacado nos últimos anos por gerar dados de forma rápida, eficiente e menos onerosa de diferentes sistemas. Essas informações dentro dos cultivos agrícolas sofrem variações decorrentes das diferenças físicas, químicas e biológicas das plantas (Abrahão et al., 2009), como também da estrutura do dossel e de outros parâmetros de interação objeto-energia eletromagnética-sensor (Ponzoni et al., 2002). No entanto, quando utilizados métodos adequados de mensuração e análise, as variações presentes na resposta espectral desses cultivos possibilitam aplicar a técnica em diferentes propósitos que favoreçam o monitoramento e reconhecimento de padrões do sistema.

No trabalho de Abrahão et al. (2009), os autores utilizaram índices de vegetação calculados a partir de dados hiperespectrais obtidos por sensores a campo para discriminação de doses de nitrogênio aplicadas em *Panicum maximum* Jacq. Os resultados mostraram que índices que utilizaram a região de transição do vermelho para o infravermelho próximo foram os que melhor discriminaram as doses e que ainda apresentaram as melhores correlações com as leituras de clorofila e massa seca (pelo menos 0,68). Outro trabalho, desenvolvido por Keabian et al.

(1999), destaca a presença de bandas que estão relacionados com o estado fisiológico das plantas, mostrando que o sensoriamento e caracterização espectral das culturas pode favorecer o monitoramento do estado nutricional das mesmas.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar e diferenciar espectralmente cultivares de alho submetidos a diferentes tratamentos culturais com uso do sensoriamento proximal *in situ*, para verificar o potencial da técnica como ferramenta auxiliadora na identificação e avaliação dos cultivos.

2. Metodologia de Trabalho

O experimento será conduzido na Fazenda Experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina Campus Curitibanos, localizado no município de Curitibanos. As coordenadas geográficas aproximadas da área experimental são latitude 27° 16' 25" S e longitude 50° 30' 12" W, altitude 993 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cfb - subtropical úmido com verões amenos. O solo predominante da Fazenda Experimental Agropecuária é Nitossolo Bruno Distroférrico.

O experimento foi estabelecido em parcela subdividida delineada em blocos casualizados contendo dois fatores na subparcela (2x(2x2)), com 4 repetições para cada tratamento. Os fatores da parcela foram duas épocas de plantio e da subparcela duas cultivares de alho com dois tratamentos nos bulbilhos-semente. O primeiro plantio foi realizado no dia 24 de maio de 2014, com a emergência das plantas datada no primeiro dia de junho de 2014, enquanto que o segundo plantio foi feito em 21 de junho de 2014, com a presença das plantas emergidas no dia 29 de junho de 2014. As cultivares Ito e Chonan foram utilizadas nesse estudo, as quais possuem ciclo precoce e semi-precoce respectivamente, sendo que ambas são pertencentes do grupo nobre com coloração roxa do bulbilho. Os bulbilhos-semente de cada cultivar foram ainda diferenciados em relação ao tratamento de vernalização, onde metade dos bulbilhos-semente receberam esse tratamento. A vernalização é um procedimento que favorece as plantas iniciarem a fase reprodutiva, devido à exposição dos propágulos a baixas temperaturas durante o período de armazenamento. Os bulbilhos-sementes vernalizados foram armazenados em temperatura de 4°C durante 20 dias antes do plantio.

O plantio foi realizado em canteiros de 1,20 m de largura, sendo que cada canteiro compreendeu uma data de plantio com quatro tratamentos. As plantas ficaram dispostas em três linhas duplas de cultivo, com espaçamento entre essas linhas de 0,35 m. Dentro da linha dupla, o espaçamento entre plantas e entre as sublinhas foi de 0,10 m. O manejo para o cultivo de alho (adubações, controle fitossanitário, irrigação, etc.) foi realizado seguindo as orientações técnicas para a produção de alho no estado de Santa Catarina (Epagri, 2002).

A coleta radiométrica foi feita com o uso do espectralradiômetro portátil *Field Spec Hand Held II* no primeiro dia de agosto de 2014, com as plantas apresentando 62 e 32 dias após emergência (DAE). O aparelho realizou a leitura da reflectância média de 25 leituras calculadas sistematicamente em 68 ms pelo próprio aparelho, nos comprimentos de onda entre 325 e 1075 nm e em intervalos contíguos de 1 nm. O espectralradiômetro foi calibrado a cada 5 min utilizando uma placa Spectralon®, a qual possui 100% de reflectância. As coletas radiométricas foram efetuadas entre as 10h00 e 12h00.

Nesse estudo, foram utilizados dois métodos de coleta com o aparelho portátil. No primeiro método, o aparelho ficou posicionado a 1,20 m de altura do solo, com o sensor mirado a nadir para a coleta do fator de reflectância bidirecional (FRB) do dossel da linha dupla central, com campo de visão de 10°. O segundo método de coleta se deu pelo sensoriamento de uma folha da planta, com o aparelho mirado a nadir e posicionado a 3 cm de distância da face adaxial da folha mantida paralela ao nível do solo. O campo de visão nesse método também foi de 10° para a coleta do FRB da folha. A penúltima folha do terço médio superior de cada planta foi utilizada para mensuração, salientando que para cada unidade experimental, foram feitas 3 leituras para

os FRB da folha e do dossel. A coleta em horário específico do dia e com o aparelho posicionado a nadir em todas as unidades experimentais permitiu padronizar os efeitos da geometria de iluminação e visada nos FRB (Ponzoni et al., 2002). Os dados apresentavam-se em escala decimal e ficaram armazenados na memória interna do aparelho até serem processados.

Ao final da coleta *in situ*, os dados foram importados no computador, organizados em planilhas, processados com o cálculo médio dos FRB por unidade experimental e delimitados no espectro eletromagnético de 400 a 1000 nm. Em seguida, os dados foram caracterizados graficamente pelas curvas espectrais de reflectância e pela análise componentes principais de todos os tratamentos em ambos os métodos de coleta. Essa etapa foi realizada com o programa The Unscrambler® X. Posteriormente a esse processo, determinou-se três bandas espectrais para análise descritiva e análise de variância, pois as mesmas apresentaram as maiores diferenças visuais nas Figuras 1 e 2. Os intervalos espectrais das bandas foram delimitados conforme Abrahão et al. (2009): verde com intervalo de 545 a 565 nm (G); transição do vermelho ao infravermelho próximo com intervalo de 700 a 710 nm (RNIR) e infravermelho próximo com intervalo de 840 a 880 nm (NIR).

Na análise descritiva, foram calculados os valores da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV%), coeficiente do teste de normalidade Shapiro-Wilk e valor p (0,05) para o teste de normalidade Shapiro-Wilk das três bandas espectrais em ambos os métodos de coleta. A análise de variância foi feita pelo teste F para identificar diferenças estatísticas entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Essas análises foram feitas em linguagem de programação R.

3. Resultados e Discussão

Na mensuração da folha, as radiações provenientes de outros objetos no campo de visão do aparelho foram minimizadas, possibilitando assim, caracterizar a reflectância da folha de alho para identificar feições de interesse (Figura 1). Na reflectância do dossel, o solo ocasionou uma redução do albedo da curva espectral de cada unidade experimental, atenuando algumas feições presentes na curva espectral da folha. Entretanto, foi possível diagnosticar variações decorrentes principalmente dos diferentes estádios de desenvolvimento do cultivo (Figura 2). As plantas com 32 DAE possuíam em média 4 folhas, enquanto as plantas com 62 DAE possuíam de 5 a 6 folhas.

Na caracterização espectral média de cada tratamento considerando o FRB da folha permitiu identificar alguns comportamentos e feições, como destacado na figura 1. Na região de 760 nm, a banda O²-A apresenta-se nítida em todas as curvas espectrais, e esse comportamento está relacionado à fluorescência da clorofila presente nas células vegetais (Figura 1). A intensidade e o formato dessa banda estão relacionados com o estado fisiológico das plantas, podendo ser utilizada como indicador da condição nutricional (Kebabian et al., 1999).

A cultivar Chonan apresentou uma maior intensidade que a cultivar Ito com 62 DAE na banda O²-A. Foi possível identificar também que os tratamentos da primeira época de plantio apresentaram maior reflectância na região do infravermelho próximo, com a cultivar Chonan sendo superior que a cultivar Ito. O tratamento de vernalização também favoreceu numa maior reflectância das cultivares para essa região do espectro eletromagnético (Figura 1).

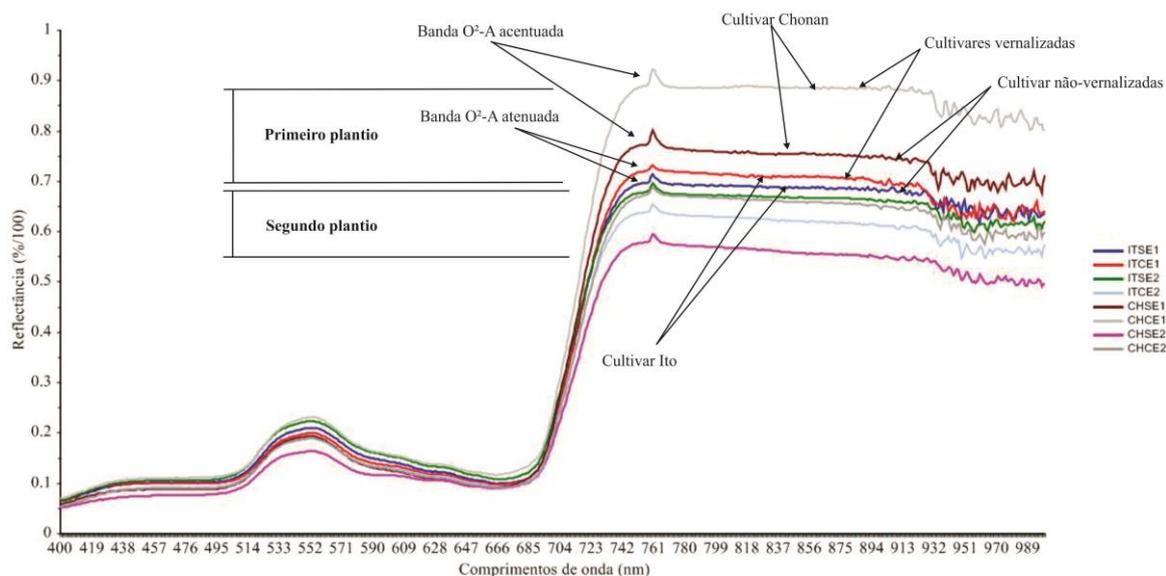


Figura 1. Caracterização do fator de reflectância bidirecional médio da folha. Os tratamentos estão agrupados pelas siglas IT: Ito, CH: Chonan, S: sem vernalização, C: com vernalização, E1: primeiro plantio com 62 DAE, E2: segundo plantio com 32 DAE.

As curvas de reflectância estão visualmente distintas entre as épocas de desenvolvimento na região do infravermelho próximo, com maior reflectância para o dossel das plantas do primeiro plantio (62 DAE) (Figura 2). Esse comportamento foi esperado, visto que as plantas apresentavam maior desenvolvimento e conseqüentemente maior representação de suas estruturas vegetativas no campo de visão do sensor (Figura 2).

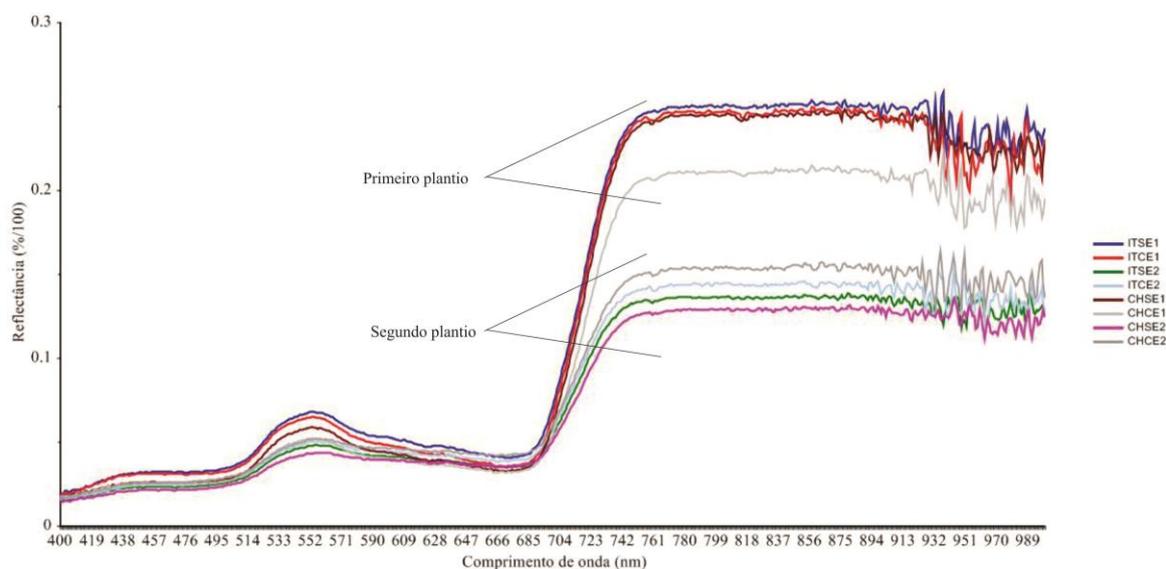


Figura 2. Caracterização do fator de reflectância bidirecional médio do dossel. Os tratamentos estão agrupados pelas siglas IT: Ito, CH: Chonan, S: sem vernalização, C: com vernalização, E1: primeiro plantio com 62 DAE, E2: segundo plantio com 32 DAE.

A figura 3 apresenta um gráfico *biplot* dos componentes 1 (99,9% da variação explicada) e 2 (0,1% da variação explicada) calculados para o agrupamento de todos os FRB médios dos tratamentos para os dois métodos de coleta. A maioria da variação explicada pelo primeiro

componente ocorreu devido aos comprimentos de onda (variáveis) obtidos por sensores remotos e proximais estarem correlacionáveis entre si (Wang et al., 2007). A distribuição dos *scores* dos tratamentos para os dois primeiros componentes evidencia uma discriminação entre os dois métodos de coleta (sigla D e F representam FRB do dossel e da folha respectivamente) e os estádios de desenvolvimentos dentro de cada método.

As bandas espectrais da região do verde, transição do vermelho para o infravermelho próximo e do infravermelho próximo foram submetidas a análises de diferenças estatísticas para corroborar com as diferenças diagnosticadas pela análise das curvas espectrais e dos componentes principais. A tabela 1 apresenta os resultados da análise descritiva dos FRB das bandas espectrais que foram submetidos a análise de variância. Os valores médios do FRB da folha para todas as bandas foram maiores que os valores médios do FRB do dossel. Também observou-se que os coeficientes de variação dos FRB da banda infravermelho próximo foram maiores que das demais bandas nos dois métodos de coleta. As bandas do infravermelho próximo obtiveram distribuição não-normal de acordo com o teste de normalidade Shapiro-Wilk e foram submetidas à transformação logarítmica para análise de variância.

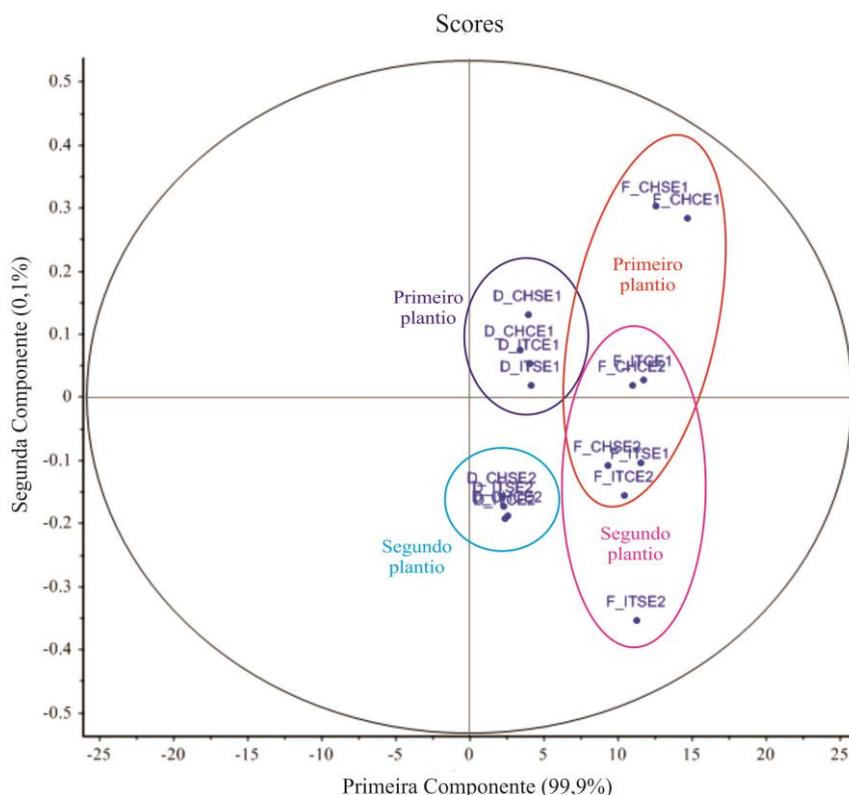


Figura 3. *Biplot* dos dois primeiros componentes da resposta espectral de todos os tratamentos. Os tratamentos estão agrupados pelas siglas IT: Ito, CH: Chonan, S: sem vernalização, C: com vernalização, E1: primeiro plantio com 62 DAE, E2: segundo plantio com 32 DAE, D: FRB do dossel e F: FRB da folha.

A tabela 2 apresenta a análise de variância para as bandas espectrais verde, transição do vermelho para o infravermelho próximo e infravermelho próximo obtidas dos FRB da folha. Para as bandas obtidas do FRB da folha, não foi constatada nenhuma diferença estatística e interação entre os tratamentos com probabilidade de erro de 5%. As diferenças visuais diagnosticadas na figura 1 não foram suficientes para confirmar estatisticamente as variações.

Tabela 1. Análise descritiva dos fatores de reflectância bidirecionais da folha e do dossel para as bandas espectrais verde (G), transição do vermelho para o infravermelho próximo (RNIR) e infravermelho próximo (NIR).

Banda espectral (%/100)	FRB da folha							
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	<i>s</i>	CV (%)	S-W _w	S-W _p
G	0,195	0,196	0,098	0,371	0,195	27,66	0,944	0,096
RNIR	0,269	0,272	0,130	0,517	0,074	26,89	0,942	0,083
NIR	0,691	0,688	0,312	1,450	0,209	30,20	0,889	<u>0,003*</u>
Banda espectral (%/100)	FRB do dossel							
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	<i>s</i>	CV (%)	S-W _w	S-W _p
G	0,054	0,049	0,037	0,081	0,011	19,78	0,951	0,151
RNIR	0,076	0,068	0,051	0,109	0,013	18,94	0,952	0,016
NIR	0,190	0,173	0,106	0,332	0,063	33,16	0,915	<u>0,016*</u>

s: desvio padrão; CV%: coeficiente de variação; S-W_w: coeficiente do teste de normalidade Shapiro-Wilki; S-W_p: probabilidade do teste de normalidade Shapiro-Wilki. Valores com asterisco e sublinhado apresentaram distribuição não-normal ($p < 0,05$) segundo teste de Shapiro-Wilki.

Tabela 2. Análise de variância dos fatores de reflectância bidirecionais da folha para as bandas espectrais verde (G), transição do vermelho para o infravermelho próximo (RNIR) e infravermelho próximo (NIR).

FV	GL	G		RNIR		NIR	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Bloco	3	3,017	0,194	3,503	0,165	4,153	0,136
E	1	0,627	0,486	0,955	0,400	2,592	0,206
Resíduos	3						
Total parcela	7						
C	1	0,518	0,481	0,001	0,988	0,496	0,490
V	1	0,084	0,775	0,054	0,819	0,795	0,384
E x C	1	1,398	0,252	2,329	0,144	2,384	0,140
E x V	1	0,338	0,568	0,277	0,605	0,059	0,811
C x V	1	3,000	0,100	1,213	0,285	0,819	0,377
E x C x V	1	0,030	0,864	0,007	0,933	0,273	0,608
Resíduos	18						
Total subparcela	24						
Total	31						

E: época de plantio; C: cultivares; V: Vernalização; FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; F: estatística do teste F calculado; *p*: probabilidade de diferença estatística ($p < 0,05$).

No entanto, para as bandas obtidas pelo FRB do dossel (Tabela 3), a técnica mostrou-se capaz de identificar variações entre os tratamentos ($p < 0,05$). Para a banda do verde, após realizar os desdobramentos das interações (dados não apresentados), foi constatado que a cultivar Ito apresentou pouca variação na reflectância com 32 DAE e 62 DAE, enquanto que a cultivar Chonan teve uma reflectância menor aos 32 DAE e superior que a cultivar Ito aos 62 DAE. Em relação a vernalização, as cultivares que foram vernalizadas possuíam reflectância inferior aos 32 DAE e superior as 62 DAE comparadas as cultivares não vernalizadas.

Tabela 3. Análise de variância dos fatores de reflectância bidirecionais da folha para as bandas espectrais verde (G), transição do vermelho para o infravermelho próximo (RNIR) e infravermelho próximo (NIR).

FV	GL	G		RNIR		NIR	
		F	p	F	p	F	p
Bloco	3	0,544	0,685	0,649	0,635	0,730	0,599
E	1	5,157	0,108	4,880	0,114	18,190	<u>0,024*</u>
Resíduos	3						
Total parcela	7						
C	1	9,423	<u>0,007*</u>	7,750	<u>0,012*</u>	0,538	0,473
V	1	0,012	0,913	0,027	0,872	0,119	0,734
E x C	1	5,434	<u>0,032*</u>	5,613	<u>0,029*</u>	0,676	0,422
E x V	1	6,053	<u>0,024*</u>	8,115	<u>0,011*</u>	2,760	0,114
C x V	1	0,093	0,764	0,096	0,760	0,061	0,808
E x C x V	1	1,314	0,267	1,089	0,310	2,256	0,150
Resíduos	18						
Total subparcela	24						
Total	31						

E: época de plantio; C: cultivares; V: Vernalização; FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; F: estatística do teste F calculado; p: probabilidade de diferença estatística ($p < 0,05$).

As interações e diferenças diagnosticadas na banda verde para o FRB do dossel foram semelhantes para as interações da banda de transição do vermelho para o infravermelho próximo (Tabela 3). As interações desdobradas (dados não mostrados) também tiveram resultados semelhantes da banda verde. Na região do infravermelho próximo, foi somente constatada diferença de reflectância entre as épocas de plantio (Tabela 3), sendo que os tratamentos da primeira época de plantio, com 62 DAE, apresentaram maiores albedos para essa região do espectro eletromagnético.

As diferenças nas curvas espectrais e na distribuição dos tratamentos sobre os *scores* do primeiro e segundo componente principal para FRB da folha (Figura 1) não foram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) pela análise de variância. Para o FRB do dossel, a região do infravermelho próximo apresentou diferenças visuais entre as épocas de plantio e diferentes agrupamentos no *biplot* dos componentes principais, as quais foram confirmadas estatisticamente. Salienta-se que mesmo não sendo possível visualizar claramente os padrões corroborados para as bandas verde e transição do vermelho para o infravermelho próximo, essas regiões apresentaram interações entre os tratamentos e diferenças estatísticas a nível de 5% de probabilidade de erro.

Essas diferenças diagnosticadas podem viabilizar a técnica, denominada também de espectrorradiometria, como uma ferramenta auxiliadora na avaliação e tomada de decisões importantes sobre os cultivos de alho. O trabalho conduzido por Marino et al. (2013) utilizou a espectrorradiometria como ferramenta para diagnosticar diferenças entre híbridos de cebola manejados em diferentes tratamentos, os quais encontraram resultados interessantes utilizando índices de vegetação calculados a partir de sensores hiperespectrais proximais. Os mesmos índices obtiveram ainda correlações significativas com produtividade e outros parâmetros produtivos, tais como biomassa produzida e peso dos bulbos.

Os autores ainda comentaram da contribuição da espectrorradiometria para avaliação dos cultivos de cebola, pois esses dados poderiam vir a contribuir para todos os envolvidos na cadeia produtiva, tanto os agricultores com o monitoramento rápido, menos oneroso e constante dos cultivos, quanto os atacadistas e comerciantes com informações para pressuposição das produções e dos preços da cebola.

4. Conclusões

O sensoriamento proximal *in situ* do cultivo de alho possibilitou caracterizar as cultivares de alho Ito e Chonan sob diferentes tratamentos culturais. Foi possível diferenciar as cultivares e as plantas submetidas a vernalização a partir do fator de reflectância bidirecional do dossel em diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao CNPq pelo financiamento do experimento (MCTI/CNPq N°14/2013) e pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor, e a FAPESC pelo financiamento do espectrorradiômetro (FAPESC 2012000094).

Referências Bibliográficas

Abrahão, S. A.; Pinto, F. A. C.; Queiroz, D. M.; Santos, N. T.; Gleriani, J. M.; Alves, E. A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1637–1644, 2009.

Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Orientações técnicas para a produção de alho em Santa Catarina**. Florianópolis, 2002. 54p. (Epagri, Sistemas de Produção, 42).

Kebabian, P. L.; Theisen, A. F.; Kallelis, S.; Scott, H. E.; Freedman, A. **Passive two-band plant fluorescence sensor with applications in precision agriculture**. In: Proceedings SPIE 3543, Precision Agriculture and Biological Quality, 238. 1999.

MARINO, S.; Basso, B.; Leone, A. P.; Alvino, A. Agronomic traits and vegetation indices of two onion hybrids. **Scientia Horticulturae**, v. 155, p. 56–64, 2013.

Ponzoni, F. J.; Rodrigues, A. G.; Maldonado, F. D.; Yamasaki, H. S. S.; Numata, I.; Spinelli, L. A. Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de eucalyptus grandis e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas. **CERNE [On-line]**, v.8, n.1, p.059-068. 2002.

Wang, Z.; Tyo, J. S.; Hayat, M. M. Data interpretation for spectral sensors with correlated bands. **Journal of the Optical Society of America**, vol.24, n.9, 2007.