

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE FOLHAS DE *Eucalyptus globulus* (Labill.) ATACADAS POR *Mycosphaerella* spp. NAS REGIÕES DO VISÍVEL E DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

SPECTRAL BEHAVIOR OF *Eucalyptus globulus* (Labill.) LEAVES ATTACKED BY *Mycosphaerella* spp. in REGIONS OF VISIBLE AND INFRARED NEAR THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Diogo Belmonte Lippert¹ Ana Caroline Paim Benedetti² Marlove Fatima Brião Muniz³
Rudiney Soares Pereira⁴ Carlos Alberto Biernaski Junior⁵ Elder Finkenauer⁶ Elias Fernando Berra⁷

RESUMO

O trabalho tem como objetivo analisar o comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* atacadas em quatro diferentes níveis de severidade pelo fungo *Mycosphaerella* spp. em diferentes posições na copa da árvore, nas quatro estações climáticas, considerando duas regiões do espectro eletromagnético: visível e infravermelho próximo. Foram realizadas coletas de material vegetativo em todas as estações climáticas, em diferentes posições na árvore (base, meio e extrato superior da copa). Em laboratório, as folhas foram classificadas em quatro níveis de severidade (sadio, pouco, medianamente e muito atacado) e posteriormente efetuadas as medidas de reflectância espectral com auxílio de um espectrorradiômetro. O comportamento espectral das folhas de *Eucalyptus globulus* é característico de acordo com o nível de severidade da doença, diferindo dos demais principalmente em altos níveis de infecção por *Mycosphaerella* spp. e diferenciam-se principalmente de folhas sadias e de folhas pouco atacadas, em ambas as regiões do espectro eletromagnético, esse comportamento ocorre para as diferentes posições da copa e estações climáticas variando a quantidade de energia refletida. Conclui-se que a reflectância das folhas de *Eucalyptus globulus* atacadas por *Mycosphaerella* spp. difere de acordo com a posição na copa da árvore e a estação climática em que foram coletadas e níveis avançados da severidade da doença.

Palavras-chave: epidemiologia; nível de severidade; espectrorradiometria; reflectância foliar.

ABSTRACT

The study aims to analyze the spectral behavior of leaves of *Eucalyptus globulus* attacked in four different severity levels by *Mycosphaerella* spp. in different positions in the canopy of the tree in the four seasons,

1 Engenheiro Florestal, Msc., Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. diogolippert@gmail.com

2 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria(RS), Brasil. anacaroline@politecnico.ufsm.br

3 Engenheira Agrônoma, Dr^a., Professora do Departamento de Defesa Fitossanitária, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. marlove@smail.ufsm.br

4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. rudiney.s.pereira@gmail.com

5 Engenheiro Florestal, Curso de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. carlosbiernaski@hotmail.com

6 Bacharel em Ecologia, Pesquisador da FIBRIA Celulose e Papel, CEP 96000-000, Pelotas (RS). elder.finkenauer@yahoo.com.br

7 Engenheiro Florestal, Msc., Doutorando do Programa de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, s/n, CEP 12227-010, São José dos Campos (SP), Brasil. eliasberra@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 16/07/2012 e aceito em 3/06/2013

considering two regions of the electromagnetic spectrum: visible and near infrared. The plant material was collected in all seasons, in different positions in the tree (base, middle and top of the canopy extract). In the laboratory, leaves were classified into four levels of severity (healthy, little, medium and heavy fire) and then made measurements of spectral reflectance measured with a spectroradiometer. The spectral behavior of *Eucalyptus globules* leaves is characteristic according to the severity degree of the disease, differing primarily in the other high levels of infection by *Mycosphaerella* spp. and differ mainly of healthy leaves and leaves which are little attacked, in both regions of the electromagnetic spectrum, this behavior occurs for different treetop positions and climate seasons, varying the amount of reflected energy. It is concluded that the reflectance of the *Eucalyptus globules* leaves attacked by *Mycosphaerella* spp. differs according to the position in the tree crown and the weather station when they were collected and to the advanced levels of disease severity.

Keywords: epidemiology; severity level; spectroradiometry; leaf reflectance.

INTRODUÇÃO

Para os plantios florestais no estado do Rio Grande do Sul, espécies com características silviculturais de resistência a frios severos com ocorrências de geadas, com pouca exigência a solos férteis e profundos, como *Eucalyptus globulus* (Labill.), são promissoras para utilização industrial. Essa espécie foi introduzida no sul do Brasil em 1970, com a finalidade de uso para a produção de celulose e, além de apresentar características propícias à região, é uma importante fonte de matéria-prima para a fabricação de celulose e papel, pois possui altos rendimentos e elevada resistência à tração e ao arrebentamento, contendo ainda, fibras com baixo teor de lignina (BARRICHELO; FOELKEL, 1976). No entanto, a espécie enfrenta problemas de desenvolvimento em diversos países do mundo, por ser suscetível ao ataque do fungo *Mycosphaerella* spp. (ALFENAS, 2009; PÉREZ, 2009). A doença causada por esse patógeno apresenta como sintomas manchas foliares, as quais sucedem o desfolhamento da copa das árvores atacadas (CROUS et al., 2004).

No Brasil e em grande parte do mundo, a maioria dos métodos utilizados para a detecção de doenças em povoamentos florestais é baseada em avaliação visual (NILSSON, 1995; STEDDOM et al., 2005). No entanto, a limitação das técnicas visuais reside na demora e no intenso trabalho quando implementadas em grandes áreas (KOBAYASHI et al., 2001). Uma das maiores dificuldades enfrentadas por produtores e pesquisadores no controle de doenças florestais é o tamanho dos povoamentos, pois, nos grandes plantios, a localização e o conhecimento da distribuição espacial dos patógenos e o estágio em que a infecção se encontra são de extrema dificuldade, sendo a doença apenas

detectada após as plantas estarem muito atacadas e comprometidas.

Há alguns anos, imagens de satélite vêm sendo utilizadas para o monitoramento de culturas agrícolas e florestais (AGRIOS, 2005). Mais recentemente, a disponibilidade de sensores eficientes em descrever o comportamento espectral da vegetação aumentou a possibilidade de se obter informações sobre a tipologia, a estrutura do dossel, o estágio fenológico da cultura, as condições de estresse e a falta de nutrientes (JENSEN, 2009). Um desses sensores é o espectrorradiômetro, sensor terrestre que tem a função de registrar a energia refletida por um determinado alvo como, por exemplo, a vegetação, gerando uma assinatura espectral capaz de descrever seu comportamento fisiológico (HATCHELL, 1999).

A resposta espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, na região do visível do espectro eletromagnético, corresponde a uma baixa reflectância devido à absorção da radiação incidente pela clorofila e pelos carotenóides da planta; já na região do infravermelho próximo ocorre uma alta reflectância devido à estrutura celular da folha (PONZONI e SHIMABUKURU, 2010), a qual tem essas condições alteradas quando submetida a situações de estresse, em virtude, por exemplo, do ataque de doenças e de pragas. Quanto à doença causada por *Mycosphaerella* spp. Em *Eucalyptus globulus*, a hipótese é de que muitas das alterações nas propriedades foliares são induzidas pela infecção, e diante disso, irão influenciar a reflectância foliar nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi analisar o comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* atacadas em quatro diferentes níveis de

severidade pelo fungo *Mycosphaerella* spp. em diferentes posições na copa da árvore, nas quatro estações climáticas, considerando duas regiões do espectro eletromagnético: visível e infravermelho próximo.

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

O estudo foi realizado na fazenda florestal São Cipriano (Figura 1), localizada no município de Herval, Rio Grande do Sul, Brasil, de propriedade da empresa multinacional Fibria. A fazenda está situada entre as coordenadas 31°59' e 32°01' de Latitude Sul e 53°36' e 53°38' de Longitude Oeste. Possui um total de 270 ha, dos quais 144 ha são de efetivo plantio de *Eucalyptus* spp. e 126 ha, de Área de Preservação Permanente (APP) e reserva legal. O talhão de *Eucalyptus globulus*, no qual foram coletados os dados, possui 6,71 ha, é de origem seminal e as sementes são precedentes de Otways - Austrália. A coleta do material vegetativo teve início no dia 9 de dezembro de 2009, quando o plantio estava com 14 meses de idade, período em que os indivíduos apresentaram alturas variando de 2,5 a 6 m, e diâmetro a altura do peito (DAP) entre 1,3 e 8 cm.

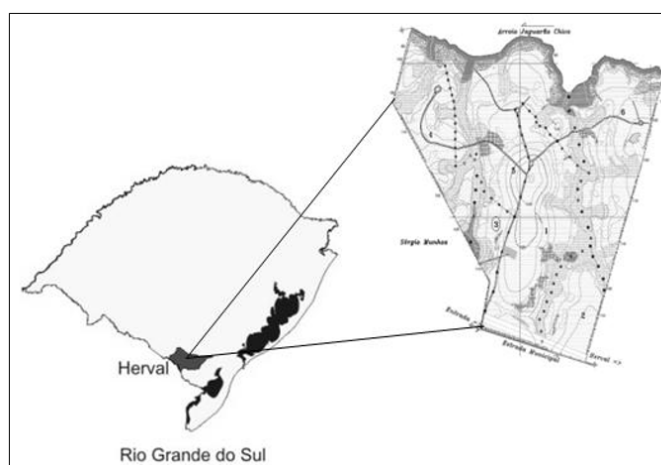
Coleta do material vegetativo

A coleta de dados foi realizada em quatro períodos: dezembro de 2009, março de 2010, junho

de 2010 e setembro de 2010, sempre ao final das quatro estações climáticas. O experimento foi instalado em cinco blocos de 336 m² (7x48 m), cada um contendo quatro parcelas de 84 m². Em cada coleta realizou-se o sorteio de uma parcela por bloco. Cada parcela foi composta de 12 árvores das quais foi medido o comprimento de copa vertical, dentre estas foi escolhida a árvore mediana para o abate, de modo a proceder-se a coleta de folhas em três posições (base, meio e superior da copa). Em cada posição coletaram-se 100 folhas, caracterizando as diferentes condições de severidade da doença. No entanto, diante das condições climáticas agindo sobre as árvores e essas já debilitadas pela doença, determinadas regiões das copas sofreram desfolha, no outono foi possível coletar folhas apenas na porção da base e na porção superior da copa e no inverno a coleta foi realizada apenas na parte superior da copa. As folhas coletadas foram armazenadas em embalagens plásticas identificadas e acondicionadas em caixas térmicas para posterior análise em laboratório.

Classificação visual das amostras

A classificação visual foi uma etapa prévia às leituras de reflectância espectral, e compreendeu a distribuição em quatro diferentes níveis conforme a severidade de dano na superfície foliar: "Sadio" (folhas saudáveis, sem a presença de sintomas de dano na face adaxial ou abaxial); "Pouco atacado" (folhas com presença de sintomas distribuídos em até 25% da superfície foliar); "Medianamente atacado"



Fonte: IBGE / VCP - Estrada de Terra Engenharia de Águia de e Solo.

FIGURA 1: Localização da fazenda florestal São Cipriano, Herval - RS.

FIGURE1: Location of the farm forestry São Cipriano, Herval, Rio Grande do Sul state.

(folhas com presença de sintomas distribuídos entre 26 e 60% da superfície foliar) e “Muito atacado” (folhas com presença de sintomas distribuídos em mais de 61% da superfície foliar).

Leitura de reflectância espectral

Medidas de reflectância espectral foliar de 10 amostras classificadas em cada nível de severidade foram obtidas através do espectrorradiômetro FieldSpec R³ conectado à esfera integradora do próprio equipamento. Para cada leitura, o instrumento sensor registrou 10 médias de reflectância, distribuídas dentro de uma faixa de 350 nm a 2500 nm do espectro eletromagnético. A conversão e o processamento dos dados foi realizada através dos aplicativos RS³ 16052 *versão 1* e ASD *ViewSpec PRO versão 4.05*. Os arquivos obtidos originaram planilhas individuais por amostra, posteriormente usadas para o cálculo de médias por nível de severidade, de acordo com as posições de coleta.

Procedimento estatístico

As análises foram realizadas segundo os valores do visível (intervalo de 400 nm a 700 nm) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (entre 700 nm e 1100 nm), subdivisão proposta em estudos de reflectância de alvos como a vegetação (PONZONI E SHIMABUKURO, 2010), (PONZONI, 2001 e JENSEN, 2009). O delineamento estatístico empregado foi blocos ao acaso (DBC), com experimento bifatorial para análise dos valores de reflectância para cada estação climática, tendo como fontes de variação (F.V.): posição na árvore (base, meio e superior) e níveis severidade (“Sadio”, “Pouco atacado”, “Medianamente atacado” e “Muito atacado”). A interação entre os fatores foi avaliada pela análise de variância (ANOVA), sendo que, para as interações significativas, efetuou-se o teste de comparação de médias Tukey HSD ao nível de 5% de probabilidade de erro, através do aplicativo “R” *versão 2.12.0* (REIS; RIBEIRO JÚNIOR, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resposta espectral de *Eucalyptus globulus* atacado por *Mycosphaerella* spp. na região do visível

Os valores relativos de reflectância espectral das folhas, na região do visível do espectro eletromagnético, foram submetidos à ANOVA (Tabela 1), com o objetivo de detectar diferenças entre as posições de coleta e a severidade de dano foliar em cada estação climática.

A posição de inserção da folha na árvore está relacionada com sua idade; folhas presentes em posições inferiores são mais maduras, por isso, apresentam parede celular mais rígida, o que influencia sua reação ao ataque de patógenos. As folhas jovens, em geral presentes na parte superior da copa, apresentam maior concentração hídrica em suas células e, quando danificadas, perdem material vegetativo com mais facilidade, afetando mais rapidamente a coloração da folha. Com relação à idade da planta, Moreira (2007) relata que a capacidade das folhas em realizar fotossíntese aumenta desde a emergência da plântula até sua maturidade fisiológica, a partir da qual a taxa fotossintética declina fortemente até a completa maturação.

As diferenças entre os níveis de severidade devido à infecção por *Mycosphaerella* spp. alteram as propriedades foliares (PIETRZYKOWSKI, 2007) e, por consequência, influenciam a resposta espectral do *Eucalyptus globulus*. Nas áreas de necrose, a estrutura do parênquima lacunoso de uma folha sadia é modificada e a atividade fotossintética é inibida, não havendo absorção de energia eletromagnética na região do vermelho e, por consequência, faz com que a folha seja visualizada em coloração vermelho-alaranjada. Carter (1994) sugere que o aumento da reflectância na região do visível é a mais consistente resposta da folha ao estresse.

A ANOVA aplicada aos valores de reflectância espectral das folhas coletadas na primavera indica a existência de diferenças entre as posições de coleta, entre os níveis de severidade e ainda para a interação entre esses dois fatores. Nessa estação foram observados baixos valores de reflectância, os quais podem ocorrer, segundo Tucker (1978) e Ponzoni (2001), devido ao aumento da atividade fotossintética nesse período, tendo como consequência os maiores picos de absorção observados nas regiões do azul e do vermelho.

No verão, quando considerada a região do visível do espectro eletromagnético, o comportamento espectral das folhas não se diferiu estatisticamente. Nessa coleta, foram observadas as maiores reflectâncias espectrais, o que pode ser associado à redução no conteúdo hídrico no interior das folhas e ao aumento das áreas necróticas nas mesmas. No entanto, fenômenos como diminuição da absorção da radiação pela clorofila e perda de umidade nas folhas devido às altas temperaturas e o consequente aumento das reflectâncias das folhas verdes saudáveis, podem explicar a inexistência de diferença entre essas folhas e as demais com

presença de necrose.

No outono, observou-se a primeira desfolha, por isso não foram coletadas folhas no meio da copa; o comportamento espectral das folhas foi distinto com relação ao nível de severidade de dano e também de acordo com as duas posições de coleta. Conforme Jensen (2009), no outono cessa a produção de clorofila, fazendo com que a coloração amarela dos carotenos e de outros pigmentos torne-se mais visível.

Na última estação de coleta, o inverno, haviam folhas apenas na porção superior da copa e a ANOVA indicou a existência de diferenças

TABELA 1: Análise de variância (ANOVA) para a reflectância espectral na região do visível do espectro eletromagnético.

TABLE 1: Analysis of variance (ANOVA) for the factors of spectral reflectance in the visible region of the electromagnetic spectrum.

Primavera					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(>F)
Posição	2	0,0050549	0,0025275	4,0491	0,02385 *
Severidade	3	0,0272769	0,0090923	14,5662	7,69e ⁻⁰⁷ *
Posição x Severidade	6	0,0120122	0,0020020	3,2073	0,01010 *
Blocos	4	0,0000011	0,0000011	0,0017	0,96732
Resíduo	47	0,0293378	0,0006242		
Verão					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(>F)
Posição	2	0,01623	0,00812	0,9016	0,4128
Severidade	3	0,05675	0,01898	2,1013	0,1127
Posição x Severidade	6	0,06573	0,01096	1,2170	0,3145
Blocos	4	0,00004	0,00004	0,0043	0,9481
Resíduo	47	0,42309	0,00900		
Outono					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(>F)
Posição	1	0,0017139	0,0017139	4,1883	0,04955 *
Severidade	3	0,0178495	0,0059498	14,5399	4,994e ⁻⁰⁶ *
Posição x Severidade	3	0,0005675	0,0001892	0,4420	0,72466
Blocos	4	0,0000752	0,0000752	0,1837	0,67129
Resíduo	30	0,0122762	0,0004092		
Inverno					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(>F)
Severidade	3	0,0195067	0,0065022	52,9814	3,40e ⁻⁰⁷ *
Blocos	4	0,0011709	0,0002927	2,3852	0,1093

Em que: FV = fonte de variação; * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

significativas entre os quatro níveis de severidade de dano foliar.

Posteriormente, foi aplicado o teste de Tukey (Tabela 2) para comparação de médias entre as fontes de variação (F.V) para as quais detectou-se a existência de diferenças significativas na ANOVA.

Na primavera, as folhas coletadas no meio da árvore, com nível de severidade “Muito atacado” diferem-se significativamente dos demais níveis.

No outono foram amostradas apenas folhas da base e da posição superior da árvore, pois todos os indivíduos amostrados apresentaram ocorrência de desfolha em sua porção central. O teste de Tukey (Tabela 2) indica que folhas da base “Muito atacadas” diferem das folhas sadias. Na posição superior foram verificadas diferenças significativas entre as reflectâncias do nível “Muito” quanto comparadas aos níveis “Sadio” e “Pouco atacado”.

No inverno, observou-se uma severa desfolha nos indivíduos de todo o talhão, sendo coletadas apenas folhas na porção superior da copa. Alfenas et al. (2009) propõem uma escala

de severidade com base na desfolha da copa, diretamente relacionada à posição de inserção dos galhos. Através do teste de Tukey (Tabela 2) verificou-se que na porção superior da copa, folhas “Muito atacadas” diferiram das demais. A distinção observada entre essas folhas e as “sadias” igualmente demonstra alterações na resposta espectral devido a mudanças no metabolismo da planta e nos pigmentos controladores da reflectância foliar (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Resposta espectral de *Eucalyptus globulus* atacado por *Mycosphaerella* spp. na região do infravermelho próximo

Segundo os dados da ANOVA (Tabela 3), aplicada aos valores de reflectância espectral na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, foi avaliada a existência de diferenças significativas entre as posições de coleta, os níveis de severidade de dano foliar e a interação entre essas duas fontes de variação. Quanto

TABELA 2: Comparação de médias entre dos valores de reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* atacadas por *Mycosphaerella* spp. na região do visível.

TABLE 2: Comparison between the average spectral reflectance factors of *Eucalyptus globulus* leaves attacked by *Mycosphaerella* spp. in the visible region.

Posição/ Severidade	Primavera				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco atacado	Medianamente atacado	Muito atacado		
Base	0,067068 Aa	0,084959 Aa	0,100815 Aa	0,105024 Ab	0,089466	19,28
Meio	0,088192Bb	0,066122Bb	0,095388Bb	0,164666 Aa	0,103592	41,10
Superior	0,080728 Aa	0,110809 Aa	0,122039 Aa	0,133136 Aab	0,111678	20,20
Média	0,078667	0,087297	0,106081	0,134275		
CV(%)	13,62	25,70	13,28	22,22		
Posição/Severidade	Outono				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco atacado	Medianamente atacado	Muito atacado		
Base	0,078814 Ba	0,098841ABa	0,114341ABa	0,133516 Aa	0,106378	21,82
Superior	0,068781Ba	0,082851 Ba	0,094643ABb	0,132246 Aa	0,094630	28,76
Média	0,073797	0,090846	0,104492	0,132881		
CV (%)	9,61	12,44	13,33	0,67		
Severidade	Inverno				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco atacado	Medianamente atacado	Muito atacado		
	0,072116 b	0,080053 b	0,09177 b	0,151606 a		36,47

Em que: Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

à posição, segundo Tucker (1978) e Ponzoni (2001), os altos valores de reflectância encontrados no extrato superior podem ocorrer pela presença de folhas mais jovens, com maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, maiores picos de reflectância nessa região do espectro eletromagnético. Baixos valores de reflectância podem ser explicados pela maior proporção de tecidos necrosados presentes nas folhas mais velhas da árvore que, por sua vez, têm maiores alterações em sua estrutura interna e, portanto, mais afetada será a reflectância na região do infravermelho próximo (DATT, 1998).

Na primavera foram detectadas diferenças significativas entre as posições de coleta e os níveis de severidade, bem como para a interação entre

esses fatores. Para os dados coletados no verão foram encontradas diferenças apenas entre as posições de coleta; entre os valores de reflectância observados no outono foram detectadas diferenças entre os níveis de severidade. No inverno, foram analisadas folhas apenas do extrato superior, sendo encontradas diferenças significativas entre os níveis de severidade.

O teste de Tukey (Tabela 4) aplicado para avaliar as diferenças significativas detectadas na ANOVA, demonstrou que, na primavera, as folhas do meio da copa, que apresentavam os níveis de severidade “Muito atacado” e “Pouco atacado” diferiram entre si.

No verão, as folhas do ápice da copa foram

TABELA 3: Análise de variância (ANOVA) para os valores de reflectância espectral na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

TABLE 3: Analysis of variance (ANOVA) for the factors of spectral reflectance in the near-infrared region of the electromagnetic spectrum.

Primavera					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(> F)
Posição	2	0,0273810	0,0136905	23,5848	1,095e ⁻⁰⁷ *
Severidade	3	0,0069877	0,0023292	4,0126	0,01311 *
Posição x Severidade	6	0,0106254	0,0017709	3,0508	0,01391 *
Blocos	4	0,0006152	0,0001538	0,2650	0,89888
Resíduo	44	0,0255411	0,0005805		
Verão					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(> F)
Posição	2	0,008911	0,0044555	3,2666	0,04756 *
Severidade	3	0,001723	0,0005743	0,4211	0,73878
Posição x Severidade	6	0,012859	0,0021432	1,5714	0,17819
Blocos	4	0,005742	0,001435	1,0524	0,39134
Resíduo	44	0,060013	0,001364		
Outono					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(> F)
Posição	1	0,0000758	0,00007584	0,1054	0,74783
Severidade	3	0,0069882	0,00232939	3,2380	0,03703 *
Posição x Severidade	3	0,0020218	0,00067394	0,9368	0,43600
Blocos	4	0,0061085	0,0015271	2,1228	0,10441
Resíduo	28	0,0201429	0,0007194		
Inverno					
FV	GL	SQ	QM	F(calculado)	Pr(> F)
Blocos	4	0,0037433	0,0009358	11,1095	0,0005289
Severidade	3	0,0015927	0,00053089	6,3025	0,0082003 *
Resíduo	12	0,0010108	0,0000842		

Em que: FV = fonte de variação; * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

distintas estatisticamente das folhas presentes na base. Essas últimas apresentaram maior gravidade nas lesões. Para Salgado e Amorim (1995), sintomas necróticos são caracterizados pela degeneração do protoplasma, seguida de morte de células, tecidos e órgãos. No caso da mancha foliar ocasionada por *Mycosphaerella* spp. ocorre a necrose, morte de tecidos foliares que se tornam pardos e secos (ALFENAS, 2009).

Na coleta de outono, as árvores não apresentavam folhas no meio da copa, apenas na base e na posição superior, no entanto, essas posições não diferiram no infravermelho próximo; o teste de Tukey (Tabela 4) demonstra a existência de diferença significativa entre folhas saudáveis e “Muito atacadas” por *Mycosphaerella* spp. Altos valores de reflectância são observados em folhas “Muito atacadas”, tanto na base quanto no ápice da árvore. Guyot (1990) apresenta curvas de reflectância espectral para folhas verdes e senescentes, demonstrando que a reflectância de folhas senescentes no infravermelho próximo é

menor do que em folhas saudáveis.

No inverno verificou-se a presença apenas de folhas na posição superior da copa, sendo então avaliada a existência de diferenças apenas entre os níveis de severidade (Tabela 3). O teste de Tukey (Tabela 4) indica que o comportamento espectral das folhas é diferente para o nível “Muito atacado” em relação aos demais. Tal resposta evidencia que mudanças espectrais no infravermelho próximo da vegetação verde saudável podem fornecer informações sobre estresse de plantas (JENSEN, 2009), porém, em condições de severidade avançada. Segundo os autores, podem-se esperar valores muito altos de reflectância no infravermelho próximo em folhas secas, característica similar de folhas com muitas lesões necróticas em superfície.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram diferenças no comportamento espectral das folhas de *Eucalyptus globulus* nas duas regiões do espectro

TABELA 4: Comparação de médias entre os valores de reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* atacadas por *Mycosphaerella* spp. na região do infravermelho próximo.

TABLE 4: Comparison between the average spectral reflectance factors of *Eucalyptus globules* leaves attacked by *Mycosphaerella* spp. in the infrared region.

Posição/Severidade	Primavera				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco atacado	Medianamente atacado	Muito atacado		
Base	0,45033Aa	0,428643Aa	0,402548Ab	0,427419Ab	0,427236	4,57
Meio	0,469826ABa	0,429793Ba	0,467271ABa	0,495565Aa	0,465614	5,82
Superior	0,472171Aa	0,477183Aa	0,471471Aa	0,488095Aa	0,47723	1,61
Média	0,464111	0,445206	0,447097	0,470359		
CV(%)	2,582909	6,221514	8,641842	7,946005		
Posição	Verão			Média	CV(%)	
	Base	Meio	Superior			
	0,468927B	0,488346AB	0,498271A	0,485181	3,08	
Severidade	Outono				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco	Medianamente atacado	Muito		
	0,438857 B	0,465158AB	0,460082 AB	0,475013 A	0,459777	3,32
Severidade	Inverno				Média	CV(%)
	Sadio	Pouco	Medianamente atacado	Muito		
	0,468694 B	0,474167 B	0,475135 B	0,492478 A	0,477618	2,16

Em que: Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

eletromagnético consideradas no estudo. É possível afirmar que a resposta espectral das folhas de *Eucalyptus globulus* é distinta em níveis altos de infecção por *Mycosphaerella* spp., tanto na região do visível quanto no infravermelho próximo, em diferentes posições da copa e estações climáticas.

Na região do visível foram detectadas diferenças entre as posições de coleta nas estações primavera e outono. Quanto ao nível de severidade, foram encontradas diferenças significativas na primavera, no outono e no inverno. Na região do infravermelho próximo, as diferenças entre as posições de coleta na árvore influenciaram apenas na primavera e no verão. Já os níveis de severidade de dano foram distintos na primavera, no outono e no inverno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5. ed. San Diego: Academic Press, 2005. 948 p.
- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 500 p.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Estudos para produção de celulose sulfato de seis espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba v. 1, n. 12, p. 77-95, 1976.
- CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v. 80, n. 3, p. 2310-2343, 1994.
- CROUS, P. W. et al. Phylogenetic reassessment of *Mycosphaerella* spp. and their anamorphs occurring on *Eucalyptus*. **Studies in Mycology**, v. 1, n. 50, p. 195-214, 2004.
- DATT, B. Remote sensing of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, chlorophyll *a+b*, and total carotenoid content in *Eucalyptus* leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, n. 66, p. 111-121, 1998.
- GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: STEVEN, M. D.; CLARK, J. A. **Applications of remote sensing in agriculture**. London: Butterworths, 1990. p. 19-43.
- HATCHELL, D. C. **Analytical Spectral Devices (ASD): Technical Guide**. USA: Boulder, 4th ed., 1999. 136 p.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- KOBAYASHI, T. et al. Detection of rice panicle blast with multispectral radiometer and the potential of using airborne multispectral scanners. **Phytopathology**, v. 1, n. 91, p. 316-323, 2001.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: UFV, 2007. 320 p.
- NILSSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, v. 1, n. 15, p. 489-527, 1995.
- PÉREZ, C. A. et al. *Mycosphaerellaceae* and *Teratosphaeriaceae* associated with *Eucalyptus* leaf diseases and stem cankers in Uruguay. **Blackwell Verlag**, v. 1, n. 39, p. 349-360, 2009.
- PIETRZYKOWSKI, E. **New tools for determining incidence and severity of Mycosphaerella Leaf Disease in Eucalypt plantations**. 2007. 210 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Agricultural Science, University of Tasmania, Australia, 2006.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 157-199.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127 p.
- REIS, G. M.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Ferramentas Estatísticas Básicas da Qualidade - guia prático do R**. 2007. Disponível em: <http://www.estatisticador.xpg.com.br>. Acesso em: 15 dez. 2010.
- SALGADO, C. L.; AMORIM, L. Sintomatologia. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 212-223.
- STEDDOM, K. et al. Comparison of visual and multispectral radiometric disease evaluations of *Cercospora* leaf spot of sugar beet. **Plant Disease**, v. 1, n. 89, p. 153-158, 2005.
- TUCKER, C. J. A comparison of satellite sensors for monitoring vegetation. **Photogrammetric. E. R.**, v. 1, n. 44, p. 1369-1380, 1978.