

MAX LENINE REZENDE DE OLIVEIRA

ESTIMATIVA DA DESFOLHA E DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO
PATOSSISTEMA SOJA-FERRUGEM ASIÁTICA UTILIZANDO O PROGRAMA
QUANT

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitopatologia, para a obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

MAX LENINE REZENDE DE OLIVEIRA

ESTIMATIVA DA DESFOLHA E DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO
PATOSSISTEMA SOJA-FERRUGEM ASIÁTICA UTILIZANDO O PROGRAMA
QUANT

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitopatologia, para a obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de março de 2007.

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Co-orientador)

Prof. Fabrício Ávila Rodrigues
(Co-orientador)

Prof. Luiz Cláudio Costa

Prof. Waldir Cintra de Jesus Jr.

Prof. Francisco Xavier Ribeiro do Vale
(Orientador)

A minha querida esposa Mariana

Ao meu Pai Maurílio Lopes

A minha mãe Maria José Rezende

Ao meu tio Reginaldo Rezende

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS que sempre esteve presente em minha vida, tanto nas horas difíceis quanto boas.

A toda minha família que sempre me apoiou em todas as minhas decisões e ajuda nos momentos difíceis.

À minha querida esposa e companheira Mariana pelo amor, pela compreensão, pelo respeito, pela dedicação e ajuda na realização deste trabalho.

Ao Professor Francisco Xavier Ribeiro do Vale, pelo apoio, orientação, pelo incentivo e amizade durante estes sete anos trabalhando no laboratório de Epidemiologia e Controle de Doenças de Plantas.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, pela amizade, pelo apoio e principalmente paciência para ajudar a realizar este trabalho.

Ao professor Fabrício Ávila Rodrigues pelo apoio e amizade.

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

A todos os professores do Departamento de Fitopatologia pelas valorosas horas de ensino.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão de bolsa de estudos e financiamento.

Aos meus sogros Eder e Rosângela pela amizade e incentivo.

Aos amigos e companheiros de todas as horas Antônio Marcos, André, Luciano, Juan Felipe, Fabiano, Alexandre e Marcelo.

A todos os funcionários do departamento de Fitopatologia, pela contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório Macabeu, Jéssica, Cristian, Kelly, Janilson, Cristiano, Wilker e Thiago, pelas incontáveis horas de ajuda para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MAX LENINE REZENDE DE OLIVEIRA, filho de Maurílio Lopes de Oliveira e Maria José Rezende de Oliveira, nasceu em Volta Redonda, Rio de Janeiro, em 19 de maio de 1981.

Em 2000, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais. Durante a graduação foi bolsista do programa iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em março de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Fitopatologia na Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Efeitos da desfolha na produtividade da cultura da soja.....	3
2.2. Quantificação do crescimento do hospedeiro.....	4
2.3. Importância da estimativa do LAI na quantificação de danos e Perdas.....	7
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. Objetivos Gerais.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1. Quantificação da desfolha causada pela ferrugem da soja utilizando Imagens digitais.....	17
5.2. Estimativa do Índice de área Foliar (LAI) utilizando-se o processamento de imagens digitais pelo programa QUANT.....	22
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

RESUMO

OLIVEIRA, Max Lenine Rezende de, M.Se. Universidade Federal de Viçosa, março de 2007. **Estimativa da desfolha e o índice de área foliar no patossistema soja-ferrugem asiática utilizando o programa QUANT.** Orientador: Francisco Xavier Ribeiro do Vale. Co-orientadores: Fabrício de Ávila Rodrigues e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

O objetivo deste trabalho foi propor uma nova metodologia para a quantificação do Índice de Área Foliar (LAI) e da desfolha causada pela ferrugem da soja, utilizando-se para esse fim o processamento de imagens digitais por meio do programa QUANT. Para tal, dois experimentos foram realizados, em áreas experimentais localizados no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa - MG, no ano agrícola de 2006/2007. Para se estabelecerem os diferentes tratamentos, visando obter-se o gradiente da doença, variando em intensidade da ferrugem e desfolha, as parcelas foram pulverizadas com o fungicida tebuconazole em diferentes estágios de crescimento do hospedeiro. Uma área de aproximadamente 2 m² na parte superior do dossel das plantas, de cada parcela, foi delimitada para se fazerem as fotos digitais a serem processadas com o programa QUANT. As imagens digitais foram, posteriormente, processadas e analisadas pelo QUANT utilizando-se o procedimento de redução de cores por paleta. As cores da imagem original foram reduzidas a somente duas, verde (área foliar) e preto

(solo), que correspondem a cobertura vegetal e a área sem cobertura vegetal, respectivamente. Os valores de área verde em cm^2 e de área preta (%) foram utilizados para quantificar o LAI e a desfolha causada pela ferrugem, respectivamente. Dados de desfolha obtidos com o QUANT foram correlacionados com a desfolha obtida através de amostragem destrutiva. Já os valores de área em cm^2 foram utilizados afim estimar um modelo para quantificar o LAI, que foi posteriormente correlacionado com outras metodologias de quantificação, como a amostragem destrutiva e o ceptômetro. Quando comparados entre si, a desfolha real e a desfolha estimada pelo programa QUANT apresentaram alto grau de associação. O modelo para estimar o LAI foi significativo e mostrou-se eficiente quando se utilizaram dados de avaliações até quando se iniciou o fechamento total do dossel, ou quando a ferrugem começou a desfolhar e o solo, a ficar exposto. Entretanto, mostrou-se ineficiente ao se realizar a quantificação nos estágios em que as plantas começam a alcançar um máximo estágio vegetativo, cobrindo toda a superfície do solo. Pode-se dizer, então, que o programa QUANT pode ser utilizado e adotado como um novo método para a estimativa de desfolha e o índice de área foliar na soja com grande rapidez e eficácia, tornando-se uma ferramenta muito útil em estudos epidemiológicos para a quantificação do crescimento do hospedeiro.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Max Lenine Rezende de, M.Se. Universidade Federal de Viçosa, March of 2007. **Estimating of defoliation and the leaf area index in the patossistem soybean-asiatic rust by using the software QUANT.** Adviser: Francisco Xavier Ribeiro do Vale. Co-Advisers: Fabrício de Ávila Rodrigues and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The objective of this work was propose a new methodology to quantify the Leaf Area Index (LAI) and defoliation caused by soybean rust, using digital images processing by Quant software. Two experiments were accomplished in areas located in Federal University of Viçosa, Viçosa County- MG, in agricultural year of 2006/2007. To establish the different treatments, seeking a gradient of disease, varying rust intensity and defoliation, the experimental units were powdered with fungicide tebuconazole in different stages of host growing. One area of approximately 2 m² in the superior part of plants canopy, of each experimental units, was delimited to be taken the digital images to be processed with the software Quant. The digital images were later processed and analyzed by Quant using the color reduction by palette. Colors of the original images were reduced to only two, green (leaf area) and black (soil), which correspond to plant covering and to the area without plant covering, respectively. The green area values in cm² and the black area (%) were used to quantify the LAI and defoliation caused by rust, respectively. Defoliation data obtained with Quant

were correlated with defoliation obtained through destructive sampling. The area values in cm^2 were used to estimate a model to quantify LAI, which was after correlated with other quantification methodologies, like destructive sampling and ceptometer. When compared between them, real defoliation and estimated defoliation by software Quant showed high association degree. The model to estimate LAI was significant and showed to be efficient when they were used with the data evaluated until the total closing of canopy or, when the rust started to defoliate the plants and the soil to be exposed. However, it showed to be inefficient to accomplish quantification in the stages that plants started to reach a maximum vegetative point, covering all soil surface. It can be said so, that the program Quant can be used and adopted as a new method to estimate defoliation and Leaf Area Index in soybean with great speed and effectiveness, becoming a useful tool in epidemiologic studies to quantify host growing.

1. INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) constitui um dos mais relevantes problemas para o agronegócio dos principais países produtores de soja da América do Sul devido aos danos que provoca na cultura da soja (Yorinori, 2004).

Embora as plantas sejam infectadas desde a fase inicial de desenvolvimento, a evolução da doença é mais lenta na fase vegetativa, atingindo o pico na fase de enchimento dos grãos. A infecção por *P. pachyrhizi* causa rápido amarelecimento ou bronzeamento e queda prematura das folhas, impedindo a plena formação dos grãos (Yorinori, 2003). Trabalhos envolvendo a redução da área foliar têm revelado que desfolhas que ocorrem durante os estádios vegetativos freqüentemente não reduzem a produção de grãos, entretanto, há decréscimo significativo quando a desfolha é realizada nos estádios reprodutivos (Santos et al., 1983; Diogo et al., 1997; Barros et al., 2002). É justamente nesta fase que a ferrugem é mais severa, culminado com danos e perdas de rendimento que podem ser superiores a 70% (Yorinori, 2004).

Na estimativa de danos e acompanhamento do crescimento do hospedeiro, as técnicas de sensoriamento remoto e análises de imagens digitais, vêm ganhando cada vez mais importância. Essas técnicas consistem em medir ou adquirir informações de plantas ou de lavouras com o auxílio de aparelho registrador que não entra em contato físico com a planta ou com seus órgãos (Nilsson, 1995). Vários autores demonstram que o sensoriamento remoto é uma técnica menos laboriosa e muito precisa na estimativa do índice de área foliar ou LAI (Jesus Junior, 2001; Nutter Jr, 1989) e da desfolha (Liberato, 2003).

O sensoriamento remoto torna-se assim uma importante ferramenta para facilitar estudos epidemiológicos e implementar o manejo integrado de doenças de plantas. Assim, objetivou-se com este trabalho, comparar e avaliar métodos de estimativa de área foliar (LAI) e de desfolha, utilizando aparelhos que aproveitam algumas propriedades da copa das plantas, como transmissão da luz solar, e principalmente, por meio de processamento de imagens digitais utilizando o programa QUANT (Liberato, 2003; Vale et al., 2003).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeitos da desfolha na produtividade da cultura da soja

A produtividade da soja depende da fotossíntese gerada pelas folhas, de modo que qualquer fator que interfira em sua área foliar poderá afetar a produção (Diogo, 1997). Dentre esses fatores, a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, tem se tornado um dos elementos mais importantes, uma vez que afeta diretamente o potencial fotossintético da planta devido ao rápido amarelecimento e a queda prematura das folhas (Yorinori, 2003).

Em inúmeros trabalhos, autores têm mostrado que desfolhas na cultura da soja inferior a 50%, antes do florescimento, não reduz o rendimento de grãos, enquanto que acima desse nível, durante os estádios reprodutivos, tem causado maiores reduções na produção (Gazzoni, 1974; Salvadori & Corseuil, 1979; Diogo, 1997; Peterson et al., 1998; Campelo & Sedyama, 1999; Barros et al, 2002). Tal comportamento é esperado, uma vez que no estágio de desenvolvimento reprodutivo, os fotoassimilados são canalizados para a formação de flores, vagens e sementes. Peluzzio et al. (2002) mostraram que o rendimento de grãos decresceu com o incremento da desfolha, principalmente quando realizada nos estádios mais avançados de desenvolvimento da cultura.

Barros et al. (2002) concluíram que a maior redução na produção de grãos foi observada quando as plantas estavam com as vagens completamente formadas, ou seja, no estágio R₄, e quando as folhas foram totalmente removidas. Resultados semelhantes foram observados por Diogo et al. (1997),

em que verificaram reduções de aproximadamente 80% na produção quando realizada a desfolha total da cultura da soja na fase de formação de vagens.

A remoção de folhas do terço mediano pode reduzir o rendimento de grãos em toda a planta, sendo os efeitos mais acentuados no terço mediano e superior. Esta afirmação pode ser justificada pelo fato de 40% dos nós, acima da parte inferior da planta, contribuírem com 54% do rendimento dos grãos (Weil et al, 1976). Santos (1980), estudando o comportamento de algumas variedades de soja, observou que a desfolha dos 2/3 superiores causou redução na produção de grãos, superada apenas pelos efeitos da desfolha total, mediante a diminuição do número de vagens por planta.

A quantificação de desfolha, causada pelas doenças, constitui importante ferramenta na tomada de decisão, no que se refere ao estabelecimento de medidas de controle e quantificação de danos e perdas. Usualmente, a quantificação da intensidade de desfolha é feita por meio estimativas visuais subjetivas com ou sem o auxílio de escalas de notas, ou por meio de aparelhos medidores de área foliar (Liberato, 2003). Como exemplo, a desfolha causada pela ferrugem da soja tem sido quantificada em experimentos em que se avalia a eficiência de medidas de controle, utilizando-se escalas de notas (Reis, 2005) ou pela contagem do número de folíolos em amostragens destrutivas (Hartman et al., 1991).

Segundo Liberato (2003), os problemas nos métodos para quantificar desfolha são os mesmos daqueles usados para quantificar a severidade de doenças, como, por exemplo, a falta de padronização de métodos, não permitindo a comparação de resultados obtidos em diferentes estudos e também reduzidas acurácia e precisão na estimativa visual.

2.2. Quantificação do crescimento do hospedeiro

Para a quantificação do crescimento do hospedeiro, a área foliar é a variável utilizada na maior parte dos estudos epidemiológicos (Bergamin Filho & Amorim, 1996). Nesses estudos, emprega-se a área do terreno disponível às plantas como base para expressar a área foliar e o peso matéria seca. A área foliar total por unidade de área de terreno é denominada de índice de área

foliar, do inglês “*leaf area index*” (LAI). Esta variável é dependente da área foliar por planta e do número de plantas por unidade de área.

O LAI pode ser estimado através de métodos diretos, em que as medidas de área são feitas diretamente na copa da planta; métodos alométricos, em que a área foliar é estimada, empiricamente, por meio de uma característica de fácil avaliação, não necessariamente relacionada à copa; e métodos indiretos, em que algumas propriedades da copa como transmissão ou refletância da luz solar, são relacionados à área foliar.

Em vários trabalhos, a estimativa da área foliar (cm²) é realizada por meio de equações empíricas, em que se utiliza a maior largura do folíolo central, com o auxílio de régua (Iamauti, 1995; Bassanezi, 1995; Gianasi, 2002). A determinação da maior largura do folíolo central das folhas de cada planta marcada tem a requerida acurácia e apresenta a vantagem de ser barata e não destrutiva. Entretanto, essa metodologia envolve uma grande quantidade de trabalho de campo, o que torna sua implementação em larga escala inviável.

Para acompanhamento da área foliar, escalas diagramáticas para tamanhos de folhas ou de plantas inteiras são ferramentas úteis; entretanto, não apresentam a acurácia necessária para permitir uma tomada de decisão (Bergamin Filho et al., 1997). Já a utilização de medidores de área foliar, como o LICOR modelo LI-3100, proporciona medidas bastante precisas, mas tem o inconveniente de utilizar amostras destrutivas.

A estimativa da área foliar e do LAI utilizando técnicas de sensoriamento remoto vem ganhando cada vez mais importância. Essas técnicas consistem em medir ou adquirir informações de plantas ou de lavouras com o auxílio de aparelho registrador que não entra em contato físico com a planta ou seus órgãos (Nilsson, 1995). Essa técnica tem sido utilizada em fitopatologia para a quantificação de danos e perdas e para o crescimento do hospedeiro de maneira rápida e precisa.

Nutter Jr. (1989) demonstrou que o sensoriamento remoto foi menos laborioso e muito preciso na estimativa do LAI. A área foliar e o ambiente que a contorna podem ser relacionados por diferentes abordagens, tanto pela radiação incidente quanto pela radiação refletida pela planta. Radiação incidente sob a copa e refletância da copa tem apresentado boa correlação

com o índice de área foliar e, conseqüentemente, com a desfolha (Bergamin Filho & Amorim, 1996).

Um grande número de equipamentos vem sendo utilizado para medir a radiação incidente ou refletida pela copa, como o analisador de copa LAI-2000 “Plant Canopy Analyzer” (LICOR, 1990), formado por um sistema portátil de sensores, que mede a luz difusa incidente em ângulos. A relação entre a luz incidente fora da cultura e aquela sob a copa das plantas fornece a transmitância de cada ângulo, que é inversamente proporcional ao LAI (Chanson et al., 1991). Trabalhos tem evidenciado a acurácia e precisão desse aparelho para a estimativa do LAI em diversas culturas, como feijão (Jesus Junior et al., 2001) e soja (Malone, et al., 2002; Martins, 2003).

O radiômetro de múltiplo espectro também vem sendo muito utilizado. Esse aparelho registra a intensidade de radiação incidente refletida. A refletância a 800nm é uma das variáveis mais utilizadas para estimar a área foliar em virtude de sua alta correlação com o LAI (Nutter Jr., 1989). Vários trabalhos abordaram a utilização desse aparelho na estimativa do LAI e da área foliar (Aquino et al., 1992; Bergamin Filho et al., 1997; Carneiro et al., 1997; Lopes et al., 1994; Nutter Jr., 1989; Nutter Jr., 1996; Silva et al., 1998).

Também muito usado, o ceptômetro (AccuPAR, Decagon Device, Pollman EUA) quantifica as radiações incidente, interceptada e transmitida pelo dossel de uma cultura medindo diretamente o LAI. Tewolde et al. (2005) utilizaram, com sucesso, o ceptômetro para a estimativa do LAI em plantas de algodão, demonstrando a utilização do aparelho sem amostras destrutivas.

O processamento de imagens digitais também vem sendo utilizado, nas mais diversas áreas da ciência, e apresenta grande perspectiva na quantificação de doenças e do dossel das plantas. As imagens digitais têm sido obtidas a partir de “scanners”, câmera fotográfica ou câmeras de vídeo. Um dos programas de computador desenvolvido com esse objetivo, na área de fitopatologia, foi o QUANT (Vale et al, 2001; Liberato, 2003). Inicialmente, o programa visava apenas quantificar a severidade de doenças a partir de imagens digitalizadas de folhas doentes de uma forma mais acurada e precisa. Entretanto, o programa tem sido amplamente utilizado, no Brasil e no exterior, com diferentes aplicações não só em fitopatologia, como também em outras áreas da ciência.

A principal característica desse programa é segmentar objetos em imagens digitais obtidas via “scanner” ou câmeras digitais, para quantificar dimensões. No caso da avaliação de severidade de doenças em folhas, são segmentados o fundo da imagem (a área da imagem não ocupada pela folha), tecido sadio, o clorótico e o necrótico. O QUANT fornece medidas da área foliar sadia e doente e a severidade, bem como o número e o tamanho de lesões na folha.

A quantificação de imagens digitais é uma mera contagem no número de pixels com cada cor e sua conversão em área. As dezenas ou centenas de milhares de cores da imagem digital original são reduzidas a três ou quatro cores apenas. Para tal fim, o QUANT utiliza cinco procedimentos de processamento de imagens: limiar preto e branco, seleção de cores por palletete, seleção de cores por intervalo de coordenadas de cores, seleção de cores por amostragem e seleção de cores por meio de funções discriminantes.

Devido a uma série de fatores que podem levar a resultados pouco acurados, precisos e trabalhosos quando se utiliza estimativa visual, ou utilizar aparelhos sofisticados e de alto custo ou por amostragem destrutiva, optou-se pela utilização do QUANT para a quantificação da desfolha e do LAI. Acredita-se que, com o uso desse programa é possível obter estimativas de desfolha e do índice de área foliar acuradas e precisas e menos trabalhosas que poupem tempo para o pesquisador.

2.3. Importância da estimativa do LAI na quantificação de danos e perdas

Um fator essencial no manejo integrado de doenças de plantas é o conhecimento da quantificação dos danos e das perdas que estas doenças causam. O dano pode ser definido como qualquer redução na quantidade e/ou qualidade da produção (Zadoks, 1985) e é geralmente determinado pela relação entre produção e severidade da doença.

Waggoner e Berger (1987) afirmaram que essas relações são às vezes desapontadoras e de lógica incerta, devido ao efeito da severidade da doença, considerado isoladamente, que pode ser diferente caso ocorra cedo ou tardiamente em uma estação de cultivo, ou porque não é incluída a desfolha,

enfim, porque a fisiologia ensina que a produção depende da área foliar sadia, verde e fotossinteticamente ativa e não da área foliar doente e necrosada.

Deste modo, nos conceitos de duração de área foliar sadia (HAD - "healthy leaf area duration") e absorção da área foliar sadia (HAA - "healthy leaf area absorption") (Waggoner e Berger, 1987), os autores juntaram aos conceitos fisiológicos os efeitos da doença sobre a folhagem da planta hospedeira. Com isso, muitas vantagens foram obtidas, dentre as quais Lopes *et al.* (1994) citaram: a sombra causada pelas folhas doentes é levada em consideração; a desfolha é considerada; em função do valor da eficiência de conversão (RUE - "radiation use efficiency") ter significado físico, pode-se testar o modelo em valores absolutos; uma vez que a desfolha causada pela doença diminui o valor de intensidade da doença, ela também diminui o valor de absorção da insolação pelas folhas sadias e, conseqüentemente, da fotossíntese.

Assim, as variáveis duração de área foliar sadia e a absorção de área foliar sadia têm se mostrado os melhores preditores da produção (ou do dano), em comparação com a severidade da doença (Waggoner e Berger, 1987).

Os conceitos de HAD e HAA podem ser utilizados na tomada de decisão em programas de manejo integrado de doenças, de modo a assegurar que a área foliar sadia presente será suficiente para garantir uma produção satisfatória. Como exemplificado por Lopes *et al.* (1994), para que isto ocorra seria necessário a utilização de uma dessas variáveis (HAD ou HAA), associada ao uso de uma parcela controle, na ausência de doença, indispensável para cada situação de produção e responsável pela transportabilidade do sistema. Assim, seria possível obter-se um limiar de dano baseado em variáveis realmente relacionadas com a produção. Porém, embora a metodologia seja coerente, a utilização em nível prático ainda não foi relatada. Talvez as técnicas de sensoriamento remoto, de aquisição de imagens por vídeo e de análise de fotossíntese, para avaliação das doenças e da sanidade da cultura possam viabilizar o uso dos conceitos de HAD e HAA em estudos envolvendo múltiplos patógenos em manejo integrado.

A técnica de sensoriamento remoto na quantificação de doenças de plantas traz uma perspectiva de viabilização do uso desses novos conceitos de HAD e HAA. A radiação refletida por uma folhagem é função de características

da própria espécie vegetal estudada e das condições em que se encontram as plantas.

A possibilidade da rápida estimativa do LAI e, conseqüentemente, do HAD e HAA, em condições de campo, e com alta precisão, permite a incorporação prática da abordagem de Waggoner e Berger (1987) em sistemas de manejo de doenças e corrobora a importância do sensoriamento remoto em epidemiologia, levando a estimativas precisas, rápidas e de baixo custo para a determinação da área foliar e do LAI.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é propor uma nova metodologia para a quantificação do índice de área foliar (LAI) e desfolha causada pela ferrugem da soja. Metodologia essa realizada por meio do processamento de imagens digitais utilizando o programa QUANT. Acredita-se que, com o uso deste programa, é possível obter estimativas mais eficazes, de baixo custo e que não sobrecarreguem os avaliadores com trabalho excessivo, como os métodos tradicionais de quantificação do crescimento do hospedeiro.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Avaliar a eficiência do programa QUANT na quantificação da desfolha causada pela ferrugem da soja

A desfolha não só na soja, mas em diversas outras culturas, tem sido quantificada através de metodologias de baixa precisão ou muito trabalhosas, tornando-se até inviáveis. Sendo assim, o presente trabalho objetiva estimar e avaliar a desfolha causada pela ferrugem da soja utilizando o programa QUANT, que irá auxiliar pesquisadores em estudos epidemiológicos envolvendo a ferrugem da soja.

3.2.2. Estimar o índice de área foliar (LAI) da cultura da soja utilizando o processamento de imagens digitais com o programa QUANT

A quantificação do crescimento do hospedeiro, mais precisamente do índice de área foliar, tem sido realizada com metodologias precisas, embora algumas o sejam com aparelhos sofisticados e outras muito onerosas. Devido isto, propõe-se aqui avaliar uma nova ferramenta na quantificação do índice de área foliar, utilizando isso o programa QUANT.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Experimento de Campo

Dois experimentos foram realizados, em áreas experimentais localizadas no Campus da Universidade Federal de Viçosa - MG, no ano agrícola de 2006/2007. Utilizou-se a cultivar de soja Conquista no primeiro experimento (onde a semeadura foi feita em julho de 2006), pois é uma variedade de ciclo mais longo e adequada para esta época de semeadura. Já no segundo experimento, foi utilizada a Vencedora, que é uma variedade de ciclo médio indicada para plantios realizados em estações do ano com dias mais longos. Para este segundo experimento o plantio foi realizado em outubro de 2006.

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* foi manejado sob condições naturais de inoculação e infecção para se garantir sucesso no desenvolvimento da ferrugem asiática.

O experimento foi instalado utilizando-se um delineamento em blocos casualizados, constituído por oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos com o objetivo de se ter um gradiente de doença nas plantas das parcelas a serem avaliadas. Cada parcela experimental (18 m²) foi constituída de nove linhas de plantio, com 4 m de comprimento e espaçadas de 0,5 m. Foram semeadas aproximadamente 15 sementes por metro linear. O experimento foi realizado, utilizando-se todas as práticas culturais convencionais empregadas nos plantios comerciais, incluindo semeadura, nutrição mineral, utilização de inseticidas, controle de plantas daninhas e, quando necessário, irrigação por aspersão.

Para estabelecer os diferentes tratamentos, visando obter-se o gradiente de doença variando em intensidade da ferrugem e desfolha, as parcelas foram

pulverizadas com o fungicida tebuconazole em diferentes estádios de crescimento do hospedeiro (antes, durante e após o florescimento). Os oito tratamentos foram assim constituídos: 1) plantas sem pulverização; 2) plantas pulverizadas aos 30 dias após a emergência (DAE); 3) plantas pulverizadas aos 60 DAE; 4) plantas pulverizadas aos 90 DAE; 5) plantas pulverizadas aos 30 e 60 DAE; 6) plantas pulverizadas aos 30 e 90 DAE; 7) pulverizadas aos 60 e 90 DAE; e 8) plantas pulverizadas aos 30, 60 e 90 DAE.

4.1. Aquisição e processamento de imagens digitais para estimativa do LAI e da desfolha

Uma área de aproximadamente 2 m² na parte superior do dossel das plantas, de cada parcela, foi delimitada para obtenção das fotos digitais a serem processadas pelo programa QUANT. Para obtenção dessas imagens utilizou-se uma câmera digital (Panasonic Lumix, 8.7 mega pixels). Para realizar tal procedimento, a câmera foi elevada a 3,2 metros de altura através de uma haste metálica com nível de bolha, para evitar interferência da irregularidade da área experimental, e o disparo do obturador foi temporizado. Com a câmera assim elevada e calibrada no menor “zoom”, conseguiu-se fotografar uma área de 2,42 m² (2,20 x 1,10 m) de cada parcela experimental. Durante toda a condução do experimento, as fotos foram feitas na mesma posição em relação às parcelas experimentais. Um exemplo de uma imagem obtida pode ser visto na Figura 1.

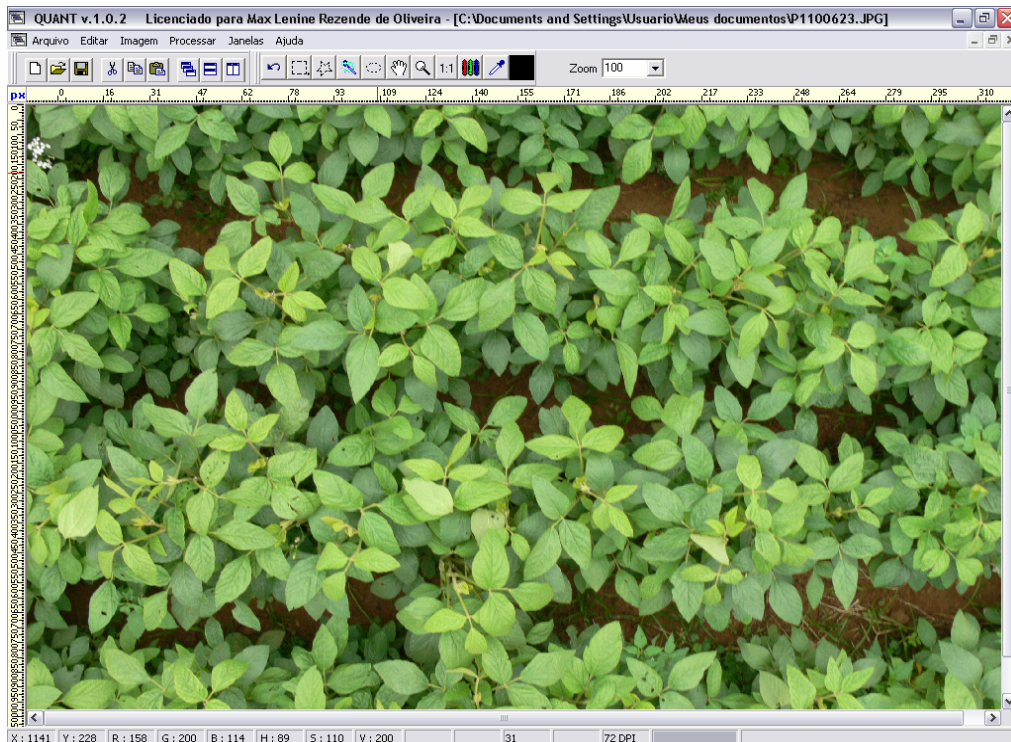


Figura 1. Tela do QUANT apresentando a imagem ainda não processada de uma parcela, contendo plantas de soja, fotografada a 3,2 m de altura.

As avaliações foram realizadas sempre na ausência de radiação direta, ou seja, sempre nos dias nublados, antes do nascer ou após o sol se por. Esse procedimento nas avaliações é muito importante, pois evita a reflexão da luz solar pelas folhas que compromete o posterior processamento das imagens pelo QUANT.

Cada fotografia continha exatamente 7.015.680 pixels que ocuparam uma área de aproximadamente 502,91 cm² da imagem.

As imagens digitais posteriormente foram processadas e analisadas pelo QUANT, utilizando-se o procedimento de redução de cores por paleta. As cores da imagem original foram reduzidas a somente duas: a verde (área foliar) e preta (solo), que correspondem à cobertura vegetal e à área sem cobertura vegetal, respectivamente, como mostrado na Figura 2.

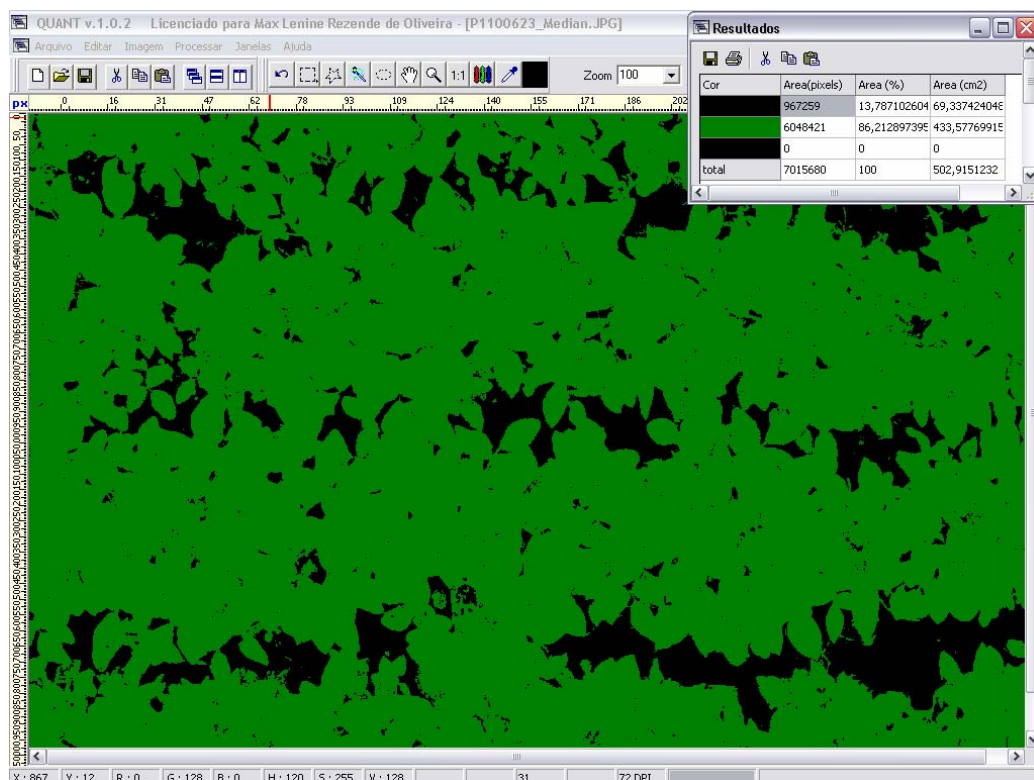


Figura 2: Tela do QUANT com a imagem apresentada na Figura 1, agora processada, e com os respectivos resultados de área verde e preto, em cm², e as respectivas percentagem para cada cor.

A desfolha foi quantificada utilizando-se os valores em percentagem de área em preto, ou seja, aquela área sem cobertura vegetal. Para o cálculo do Índice de Área Foliar (LAI) foram utilizados os valores de área verde da imagem quantificada em cm².

4.2. Obtenção do índice de área foliar com o ceptômetro

Fileiras de plantas foram marcadas, em cada parcela, e nessas fileiras foram feitas cinco leituras, usando o ceptômetro AccuPAR (*Decagon Device*, Pollman EUA). A leitura do aparelho determina a estimativa do LAI diretamente, a partir das medições da radiação incidente e da transmitida através do dossel das plantas de soja. As avaliações foram realizadas quinzenalmente, em dias de pouca nebulosidade e sempre por volta do meio-dia, quando o sol encontrava-se perpendicular à superfície do terreno, afim de se evitar interferências devidas à inclinação dos raios solares.

4.3. Avaliação do crescimento da soja, severidade da ferrugem e estimativa da desfolha real

O crescimento da soja, a severidade da ferrugem e a desfolha foram avaliados, quinzenalmente, nas cinco linhas centrais de cada parcela, em três plantas escolhidas aleatoriamente e removidas para o laboratório. A área foliar (cm^2) de todas as folhas, de cada planta coletada, foi estimada por meio do medidor de área foliar LI-3100 (LICOR, 1996). Também, foi estimado o LAI a partir deste método, dividindo o valor da área foliar pela área de solo em 1 m^2 .

A severidade da ferrugem foi determinada utilizando-se uma escala diagramática (Godoy, 2006), estimando-se a porcentagem de doença em cada folíolo. Já a porcentagem de desfolha foi determinada contando-se o número de pecíolos sem folhas divididos pelo número total de pecíolos $\times 100$.

4.4. Análises estatísticas

Foram realizadas análises estatísticas para estimar o índice de área foliar e a desfolha através dos valores de área verde (cm^2) e porcentagem de cor preta, respectivamente, obtidos pela redução de cores do QUANT. Com os valores de área verde, foram feitas análises de regressão para gerar o modelo de estimativa do LAI. Também, foram feitas correlações entre os dados de estimativa do LAI, desfolha e severidade da ferrugem.

Para estimar os valores de índice de área foliar pelo QUANT empregou-se a análise de regressão simples com o seguinte modelo: $Y = \beta_0 + \beta_1 X$, em que Y são os valores de LAI Real, estimados pelo medidor de área foliar, e X, os valores de área em cm^2 , estimados pelo QUANT. As correlações e as regressões foram realizadas utilizando-se o software "Statistica for Windows 6.0" (Statsoft, 2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Quantificação da desfolha causada pela ferrugem da soja utilizando imagens digitais

Os valores, em porcentagem, da área desfolhada obtidos pelo programa QUANT foram correlacionados com os valores da desfolha real, e em ambos os experimentos, estes dois métodos de avaliação da porcentagem de desfolha, apresentaram um alto grau de associação, com concordância de 97,12% ($r = 0,97$) e 94,37% ($r = 0,943$). Na Figura 3 está representado o resultado das análises de correlação entre a porcentagem de desfolha real e porcentagem de desfolha estimada pelo QUANT nos dois experimentos (1 e 2).

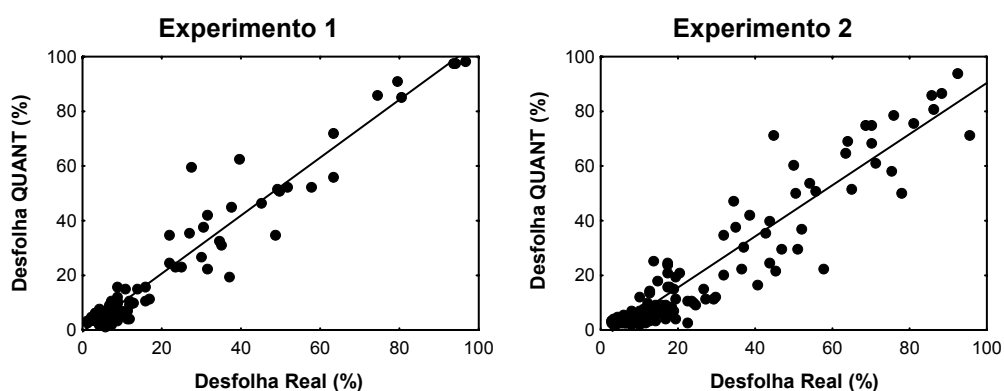


Figura 3. Relação entre as estimativas da porcentagem de desfolha utilizando-se imagens digitais processadas pelo QUANT e desfolha estimada por amostragem destrutiva pela contagem do número de folíolos perdidos em dois experimentos (1 e 2).

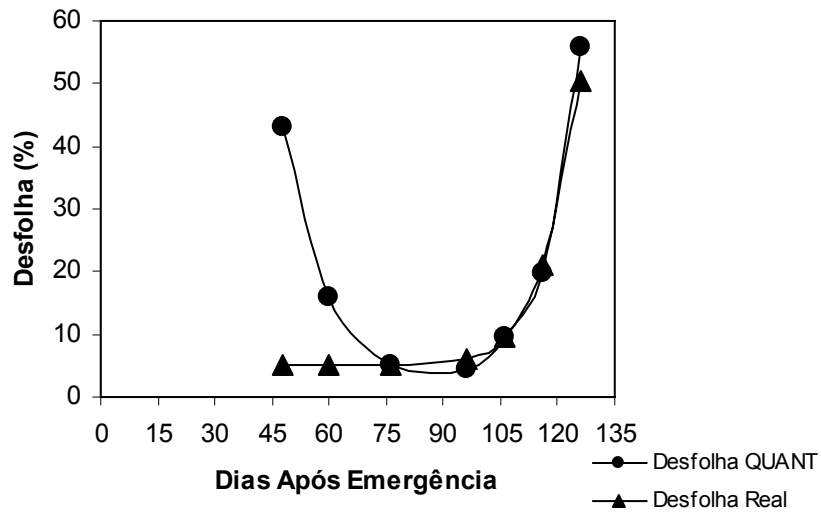
No experimento 1, as avaliações de desfolha foram iniciadas assim que as plantas alcançaram o final do estágio vegetativo (V_9) e início do estágio reprodutivo (R_1 - R_5), estágio que coincide com a época quando a planta começa a ficar mais suscetível à ferrugem. A variedade de soja utilizada, 'Conquista' (ciclo de aproximadamente 130 dias), num espaçamento de 0,5 m e densidade de 15 plantas por metro, atinge a cobertura total do solo pelas folhas entre os estádios R_2 e R_5 (Heiffig et al., 2006). Isto ocorreu num intervalo de aproximadamente 70 a 90 dias após emergência. Nesse ponto, o solo já estava totalmente coberto pelas folhas. Fazer avaliações de desfolha utilizando o QUANT antes desse período torna-se inviável e não faz sentido. À medida que a planta vai crescendo e cobrindo o solo com a folhagem, o processamento das imagens mostra uma diminuição da desfolha devido ao aumento da área verde, o que não ocorre com a desfolha real que se mantém constante e com valores próximos de 0.

No experimento 2, a variedade de soja utilizada foi a 'Vencedora', de ciclo médio de aproximadamente 115 dias. Neste segundo experimento, o solo ficou totalmente coberto pela folhagem da soja aos 39 dias após a emergência, e a partir deste ponto iniciaram-se as avaliações de desfolha e aquisição das imagens digitais.

Observando-se a Figura 4 fica evidente que não se justifica estimar a desfolha utilizando-se o programa QUANT nos estágios iniciais da cultura. Pode-se observar claramente uma tendência de diminuição de desfolha nos estágios iniciais de desenvolvimento da soja, até um valor mínimo, em seguida esse valor cresce à medida que a severidade da ferrugem vai aumentando.

A partir do momento em que o solo está totalmente coberto (cerca de 70 dias após a emergência para o experimento 1 e 40 dias para o experimento 2), pode-se observar que as curvas de progresso da desfolha real e da desfolha estimada pelo QUANT são praticamente idênticas, mostrando a eficiência do QUANT na estimativa da desfolha.

Experimento 1



Experimento 2

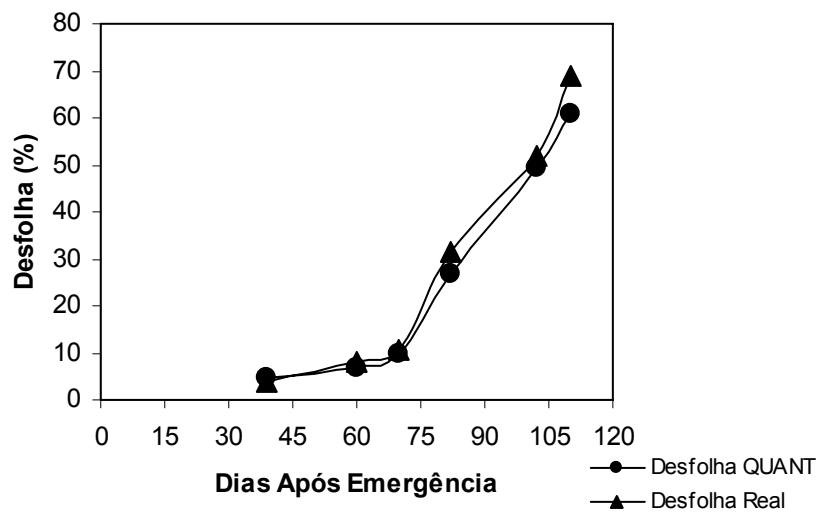


Figura 4. Curvas de progresso da desfolha estimada pelo QUANT e da desfolha real estimada pela contagem do número de pecíolos se folíolos pelo número total de pecíolos que a planta deveria ter em plantas colhidas no campo, em dois experimentos.

Quando associadas com a severidade da ferrugem, tanto a desfolha real quanto a desfolha quantificada pelo QUANT apresentaram visível associação. Estes resultados representam e evidenciam a estreita relação entre a severidade da ferrugem e a desfolha que ela ocasiona (Figura 5). No experimento 1 foram observados valores de coeficiente de correlação com a severidade da ferrugem da soja da ordem de 87,02% e 88,39%, para a desfolha real e a desfolha estimada pelo QUANT, respectivamente. No experimento 2, os resultados obtidos foram ainda superiores com 93% e 90% de correlação.

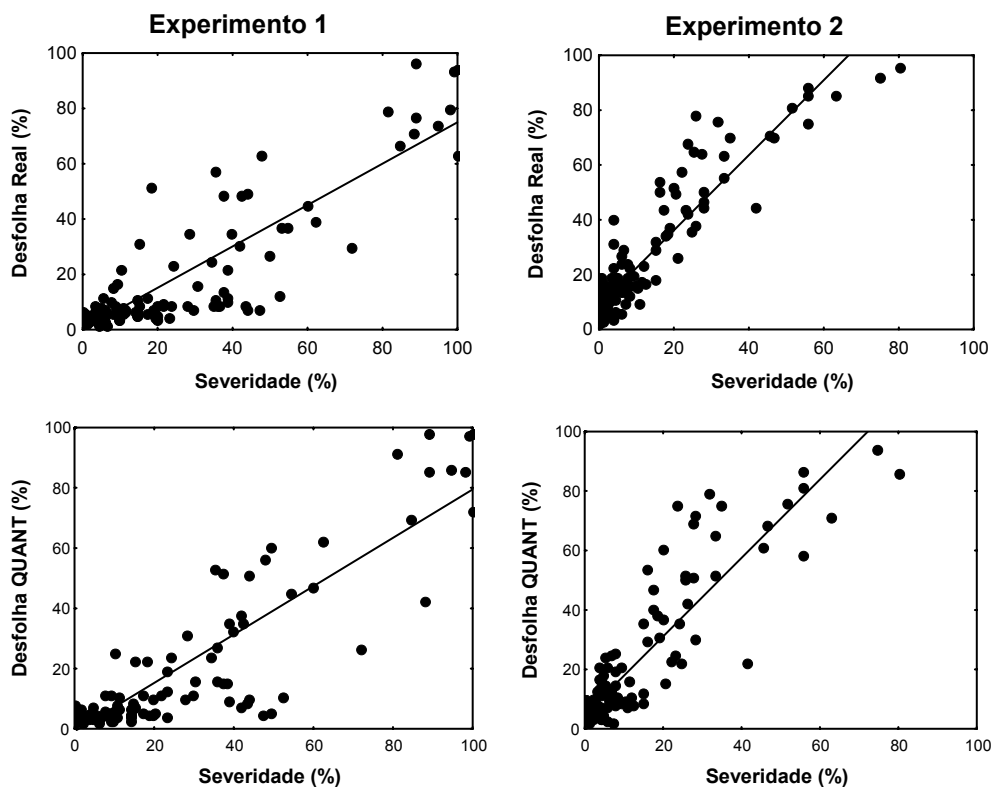


Figura 5. Relação entre a severidade da ferrugem da soja, a desfolha real e a desfolha obtida por meio do processamento de imagens pelo programa QUANT. Dados de dois experimentos de campo.

Os valores de desfolha variaram entre 0 e 100% em ambos os experimentos, enquanto a severidade da ferrugem variou de 0 a 95,7% no primeiro experimento e de 0 a 78,5% no segundo. Foram observados alguns poucos valores de severidade acima de 78,5% somente no experimento 1, indicando que esta máxima severidade é o momento em que pode ocorrer a queda prematura das folhas. Segundo Godoy (2006), valores de severidade da ferrugem acima de 80% são difíceis de serem encontrados no campo, pois nesse ponto causam rápida senescência das folhas, culminando com a sua queda prematura.

A partir desses resultados, pode-se afirmar que o Programa QUANT pode ser utilizado e adotado como um novo método para a estimativa de desfolha ocasionada pela ferrugem da soja. Entretanto, há de se considerar que essas avaliações devem-se iniciar a partir do momento em que as plantas alcançarem o fim de seu estágio vegetativo ou quando o solo estiver totalmente coberto pela folhagem.

Além de proporcionar uma estimativa eficiente da porcentagem de desfolha, o programa apresenta várias outras vantagens, como rapidez na aquisição dos dados. Para se ter uma idéia da agilidade do processo de obtenção de uma imagem e de seu processamento pelo QUANT, uma única parcela pode ser fotografada em menos de 1 minuto e avaliada em aproximadamente 2 minutos utilizando-se o programa. Além de que, evita-se o inconveniente da utilização da coleta de plantas no campo (amostragem destrutiva), plantas essas que podem perder folhas durante a coleta e o seu transporte para o laboratório. Devido à rapidez do processamento das imagens utilizando o QUANT na estimativa da desfolha, pode-se evitar o trabalho de quantificar desfolha em plantas marcadas no campo, trabalho que pode-se tornar muito oneroso dependendo do número de parcelas e plantas amostradas, além do desgaste físico dos avaliadores.

O QUANT torna-se assim mais uma ferramenta útil para estimar a desfolha, sendo um método rápido e eficaz, eliminando-se uma série de fatores que podem levar a resultados pouco acurados e precisos quando se utiliza estimativa visual de desfolha com ou sem o auxílio de escalas de notas.

5.2. Estimativa do Índice de Área Foliar (LAI) utilizando-se o processamento de imagens digitais pelo programa QUANT

Na Tabela 1 estão representados os resultados da análise de regressão, para a estimativa do índice de área foliar utilizando-se dados processados com o programa QUANT, nos dois experimentos realizados.

Tabela 1 Resultados da análise de regressão para os dois experimentos durante o ano agrícola de 2006/2007, para a estimativa do índice de área foliar com imagens digitais, sendo r o coeficiente de correlação, r^2 o coeficiente de determinação, β_0 o intercepto e β_1 o coeficiente angular da reta.

	r	r^2	β_0	β_1	Erro Padrão	F	P<0,05
Experimento 1	0,85	0,73	-1,55003	0,01787	1,4278	524,19	0,00001
Experimento 2	0,77	0,61	-0,984104	0,01409	1,2955	241,3	0,002

Os resultados obtidos nas análises de regressão foram significativos ($P<0,05$) em ambos os experimentos, com coeficientes de determinação (r^2) de 0,76 para o experimento 1 e de 0,61 para o experimento 2. A equação estimada pela análise de regressão foi empregada para estimar o índice de área foliar. Para isso, foram utilizados os valores de área verde, em cm^2 , das imagens processadas pelo QUANT. Quando comparados entre si, o índice de área foliar real e o índice de área foliar estimado pelo programa QUANT apresentaram correlação significativa com $r=0,85$ para o experimento 1 e $r=0,77$ para o experimento 2.

Os valores de índice de área foliar estimados pelo QUANT quando comparados com os do ceptômetro apresentaram correlação significativa, com concordância de 79,2% no experimento 1 e 81,8% no experimento 2. A associação entre os índices de área foliar real e os obtidos pelo ceptômetro também apresentaram correlação significativa, com concordância de 72,6% e

de 82,7% para os experimentos 1 e 2, respectivamente. Estas correlações podem ser observadas na Figura 6, em que são ilustradas as comparações entre os métodos de estimativa do LAI. Já na Figura 7, está ilustrada a comparação das curvas de progresso das diferentes metodologias de estimativa do LAI.

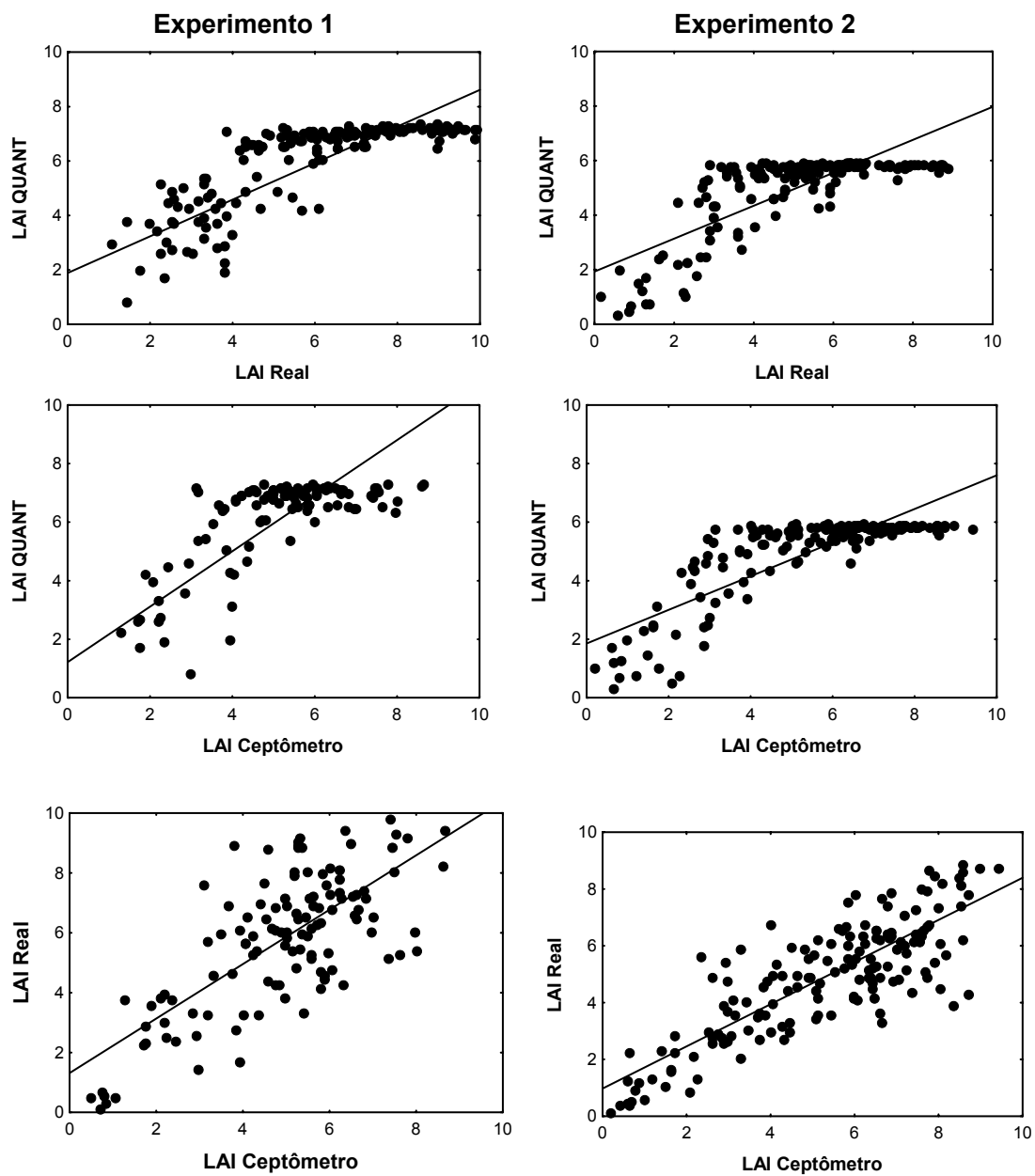
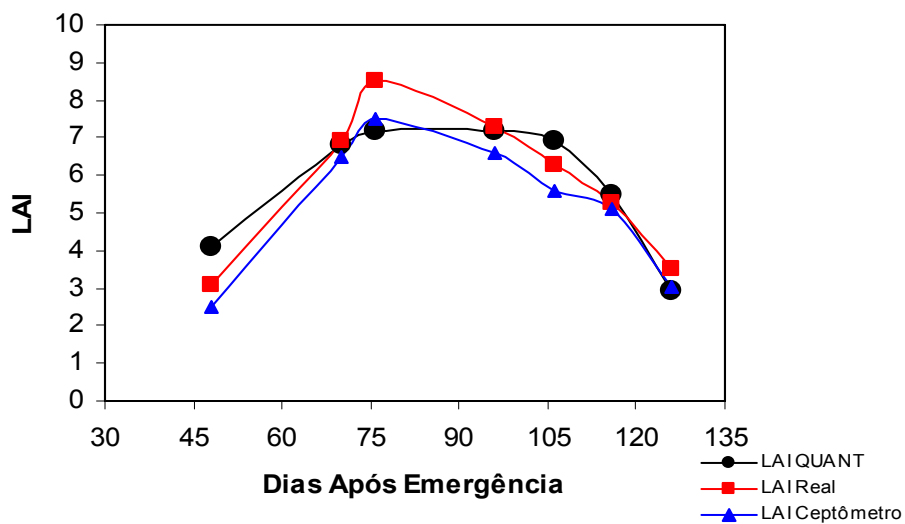


Figura 6. Associação entre os três métodos de estimativa do Índice de Área Foliar (LAI Real, LAI Ceptômetro, e LAI estimado pelo QUANT) em dois experimentos.

Experimento 1



Experimento 2

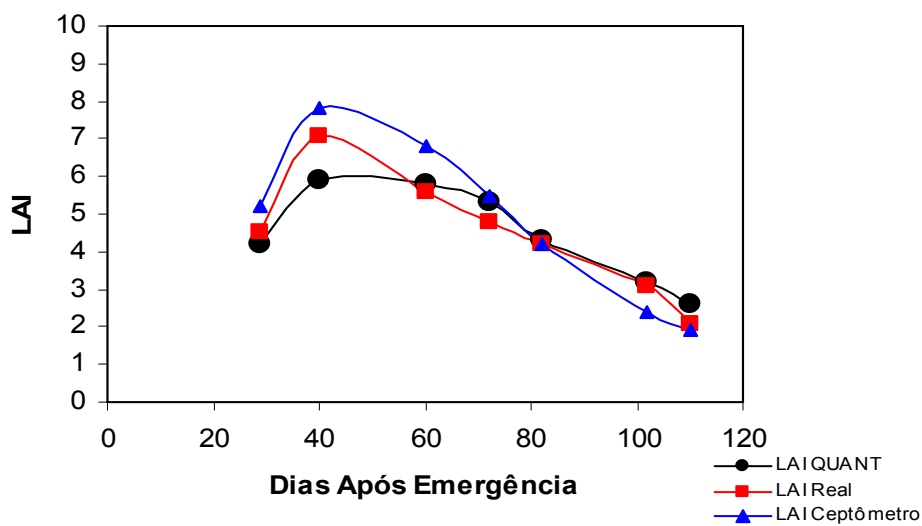


Figura 7. Evolução do Índice de Área Foliar (LAI) estimado por três diferentes metodologias, em dois experimentos, em sete épocas de avaliação.

As curvas de progresso do LAI real e do LAI estimado pelo ceptômetro mostraram-se bem semelhantes, com uma maior inclinação em relação á curva de progresso do LAI QUANT (Figura 7). Observando também a Figura 6, em que são comparados o LAI real e o LAI do Ceptômetro, não se verifica nenhum tipo de tendência no gráfico de dispersão, ao contrário do que se observa quando se compara com o QUANT. Os valores estão bem distribuídos em torno da média, desde os valores mais baixos até os mais altos de LAI.

Pôde-se observar uma tendência forte nos gráficos de correlação do LAI estimado pelo QUANT com o LAI Real e com o LAI do ceptômetro. Enquanto o LAI real varia de 3 a 9 e o LAI do ceptômetro na mesma proporção, o LAI estimado pelo QUANT permanece constante nos valores mais elevados.

Diante do exposto, a primeira hipótese é a de sobreposição das folhas inferiores. Durante a condução dos experimentos e a análise dos dados, observou-se que, quando a soja termina o seu estágio vegetativo e a ferrugem começa a aumentar a sua severidade, os valores do índice de área foliar do QUANT permanecem constantes nessa fase, enquanto o LAI real vai diminuindo. Tal fato pode ser explicado pela sobreposição causada pelas folhas superiores nas inferiores. É sabido que a ferrugem começa e é mais severa nas folhas baixas, ou seja, no terço inferior da planta. Como as imagens utilizadas para a estimativa do LAI são obtidas da parte superior do dossel, em cada parcela o processamento de imagens com o QUANT só detectará diferenças no LAI quando a ferrugem e, conseqüentemente, a desfolha por ela causada atingirem as folhas superiores ou quando houver desfolha significativa para que o solo esteja exposto e possa aparecer nas imagens digitais.

A estimativa de desfolha, no entanto, foi altamente significativa, então porque o QUANT também não estimou o LAI com a mesma exatidão?

Na tentativa de responder a essa questão, levanta-se uma segunda hipótese: ocorreu grande variabilidade dos valores de LAI real, principalmente quando as plantas alcançaram um estágio vegetativo mais avançado. Estes valores, quando correlacionados com a severidade da ferrugem, também apresentaram a mesma tendência observada quando correlacionados com o

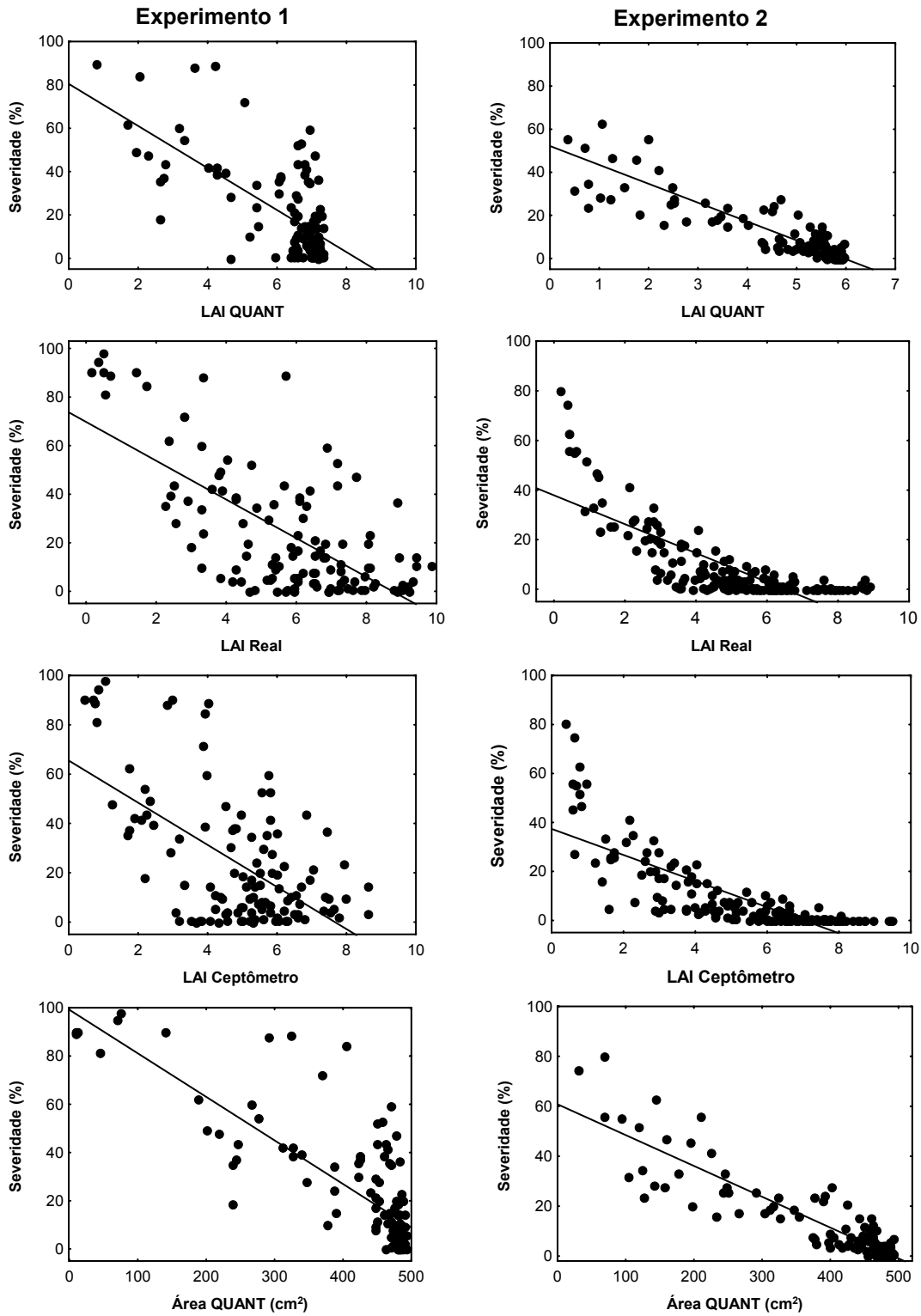


Figura 8. Associação entre os métodos de estimativa do LAI (QUANT, LAI Real e Ceptômetro) com a severidade da ferrugem. Os dois últimos gráficos apresentam a correlação entre a severidade da ferrugem e a área verde estimada pelo QUANT.

LAI estimado pelo QUANT (Figura 8).

Pode-se observar valores de LAI real entre 3 e 9 com severidades inferiores a 1%. O mesmo ocorreu com os valores de área verde estimados pelo QUANT. Cada imagem possui uma área máxima de 502,91 cm²; o máximo de área verde obtido foi de 493,5 cm², o que corresponde a 98,12% de área da imagem. Foram encontrados vários valores de LAI entre 3 e 9 correlacionados com uma área verde que variou apenas 94,86% a 98,12%. Os dados obtidos com as avaliações com o ceptômetro também apresentaram uma grande variação em torno da média.

Um outro fato que reforça essa idéia foram as correlações significativas entre a área verde estimada pelo QUANT e a severidade da ferrugem, cujos coeficientes foram superiores aos da correlação severidade da ferrugem com o LAI real (Figura 8).

Na correlação entre a severidade da ferrugem e a área verde estimada pelo processamento de imagens digitais, a concordância foi de 81,3% no experimento 1 e 91,3% para o experimento 2. Já, com o LAI real, as associações foram de 68,1% e 76,2% e com o ceptômetro, 59,2% e 76,9%, em ambos os experimentos.

Acredita-se que a alta variabilidade dos valores de LAI aliada à hipótese de sobreposição das folhas baixas tenha comprometido a obtenção do modelo a ser utilizado para a estimativa do índice de área foliar, através do processamento de imagens digitais com o programa QUANT.

Novas análises foram feitas, dessa vez utilizando-se apenas os valores de área verde e LAI real da época em que a ferrugem começou a diminuir a área foliar nas partes superiores da planta, e o solo começou a ficar exposto. Também, a partir desse ponto os valores de LAI variaram menos do que nas avaliações anteriores.

Os resultados da nova análise de regressão foram significativos ($P < 0,05$), com coeficientes de determinação (r^2) de 0,88 e de 0,72 nos experimentos A e B, respectivamente. As equações obtidas pela análise de regressão foram utilizadas para a estimativa do LAI a partir dos valores de área verde processados pelo QUANT.

Obtidos os valores de LAI com o QUANT, estes foram correlacionados com o LAI real, e obteve-se uma correlação altamente significativa em ambos

os experimentos. A concordância (r) entre as duas variáveis foi de 94% e 85%, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 9, o gráfico agora não está mais tendencioso como anteriormente (Figura 6), em que foram plotados os dados de todas as avaliações.

Pôde-se observar que, nas avaliações em que as plantas estavam muito enfolhadas, ou seja, naqueles estágios de máximo crescimento vegetativo, os dados obtidos das imagens processadas pelo QUANT mantiveram-se constantes ou variando muito pouco. Já os valores de LAI, obtidos através de amostragens destrutivas, variam muito dentro de uma mesma avaliação, o que pode ser devido a uma desuniformidade no tamanho das plantas coletadas no campo. Isso não ocorreu quando se utilizaram dados de avaliações quando a ferrugem começou a desfolhar significativamente a cultura.

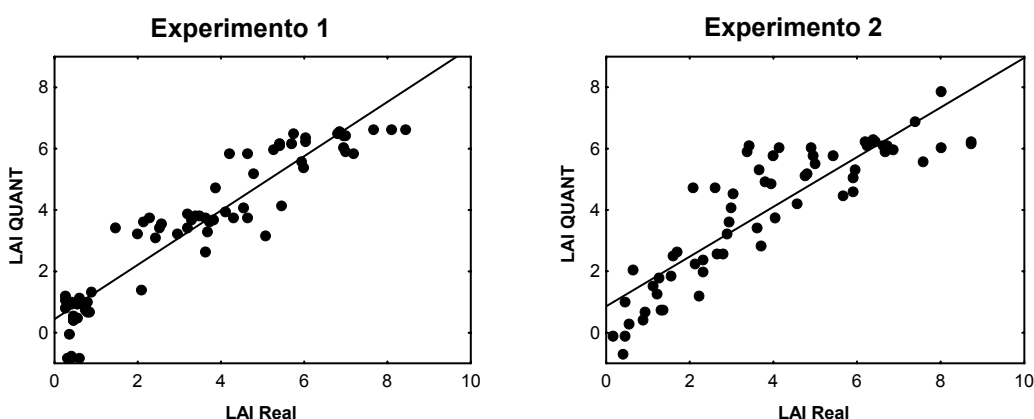


Figura 9. Relação entre as estimativas do índice de área foliar utilizando-se imagens digitais processadas pelo QUANT e desfolha estimada por amostragem destrutiva (LAI real) em dois experimentos. Dados obtidos a partir da fase reprodutiva (estádio R_1).

Quando são utilizados os dados provenientes de avaliações iniciadas na fase reprodutiva (fase esta em que a planta se torna mais vulnerável à ferrugem), a estimativa do índice de área foliar, por meio do processamento de imagens com o programa QUANT, mostrou-se altamente significativa. Esses resultados corroboram a afirmativa de que o QUANT se torna mais uma ferramenta eficaz na quantificação de crescimento do hospedeiro; no caso, o índice de área foliar. Ressalva-se o fato de que as avaliações devem ser feitas quando a ferrugem começar a causar queda de folhas, ou seja, naquele ponto em que o solo começa a ficar exposto devido à desfolha nas partes superiores das plantas ou, então, nos estádios iniciais da cultura, quando o solo ainda não está totalmente coberto pelo dossel da planta.

A título de exemplo, em trabalho similar realizado por Coelho Filho et al. (2005), obtiveram-se resultados bem positivos na estimativa do índice de área foliar, através do processamento de imagens digitais da silhueta de plantas jovens de citrus, com o software SIARCS. Estimou-se, com precisão, um modelo eficiente para a estimativa do LAI em mudas de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.).

Jesus Junior et al. (2001), comparando metodologias de estimativa do índice de área foliar no feijão comum, obtiveram uma alta associação entre o LAI quantificado pelo medidor LAI-2000 e quantificação manual semelhante ao utilizado no presente trabalho.

Tomando como incentivo os exemplos citados acima, novos experimentos, utilizando-se novas metodologias, deverão ser conduzidos na tentativa de estimar com precisão e acurácia o índice de área foliar e a desfolha, utilizando-se o QUANT em todos os estádios de crescimento de plantas de soja infectadas pela ferrugem. O mesmo deverá ser feito em outros patossistemas.

6. CONCLUSÕES

1) O processamento de imagens digitais utilizando-se o programa QUANT para a estimativa da desfolha causada pela ferrugem da soja mostrou-se altamente eficiente e preciso na quantificação dessa variável.

2) O programa QUANT pode, e deve ser utilizado para a quantificação de desfolha, com uma avaliação eficaz, de baixo custo e rápida, o que irá ajudar o pesquisador nas avaliações de experimentos ou no auxílio de tomada de decisões para manejo da doença, poupando-lhe trabalho e tempo, devido a facilidade e rapidez das avaliações. Para isso, é necessário que o avaliador tenha à sua disposição uma câmera digital e um microcomputador para o processamento das imagens.

3) Um controle de plantas daninhas é fundamental, visto que elas exercem grande influência negativa no processamento das imagens. É praticamente impossível separar as coordenadas de cor verde de uma planta daninha das de soja.

4) Na estimativa do índice de área foliar, o processamento de imagens digitais com o QUANT mostrou-se eficiente quando foram empregados dados de avaliações até o completo fechamento do dossel, cobrindo toda superfície do solo, ou quando a ferrugem começa desfolhar e o solo, ficar exposto.

5) Houve grande variabilidade dos dados do LAI estimado por amostragem destrutiva (LAI real), quando correlacionado tanto com o QUANT quanto com a severidade da ferrugem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, V. M., SHOKES, F. M., BERGER, R. D., GORBET, D. W., and KUCHAREK, T. A. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and pod yield of peanut. **Phytopathology**, v. 82, p. 546-552, 1992.
- BARROS, H. B.; SANTOS, M. M.; PELÚZIO, J. M.; ROCHA, R. N. C; SILVA, R. R. Desfolha na produção de soja (*Glycine max* M-SOIL 109), cultivada no cerrado, em Gurupi-TO, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 18, n. 2, p. 5-10, 2002.
- BASSANEZI, R.B.; MARTINS, M.C.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Efeito da antracnose na eficiência fotossintética do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 520-524, 1997.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle**. São Paulo: Ceres, 1996.
- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus* Beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, St. Paul, v. 87, n. 5, p. 506-515, 1997.
- DIOGO, A. M. **Influência da remoção de folhas, em vários estágios de desenvolvimento, na produção de grãos e em outras características**

agronômicas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Viçosa, MG: UFV, 1997. 109p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)

CAMPBELL, C. L., MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology.** New York: John Wiley, 1990.

CAMPELO, J. E. G.; SEDIYAMA, T. Efeitos de desfolhas sobre o início do florescimento da soja cultivada no inverno. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, p. 652-66, 1999.

CARNEIRO, S. M. T. P. G.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Avaliação de dano provocado pela mancha-angular em feijoeiro: relação entre severidade, área foliar e componentes de produção. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 427-431, 1997.

Chason, J. W.; Baldocchi, D. D.; Huston, M. A. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. **Agric. For. Meteorol.** V. 57, p. 107-128, 1991.

COELHO FILHO, M. A., AGELOCCI, L.R., VASCONCELOS, M. R. R.; COELHO, E. F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'tahiti' usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

Decagon Devices. AccuPAR linear PAR/LAI **Ceptometer. Operator's manual.** v. 3.4. Decagon Devices, Pullman, WA. 2001.

GAZZONI, D. L. **Avaliação do efeito de três níveis de desfolha aplicadas em quatro estádios de crescimento de dois cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sobre a produção e a qualidade de grão.** Porto Alegre: UFRGS, 1974. 70 p. Dissertação (Mestrado)

GIANASI, L. Relações entre doença, área foliar sadia e produção no patossistema feijoeiro – *Colletotrichum lindemuthianum* (SACC. & MAGN.) SCRIB. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 99-107, 2002.

- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.
- HARTMAN, G. L.; WANG, T. C.; TSCHANZ, A. C. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, v. 75, n. 6, p. 596-600, 1991.
- HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, p. 285-295, 2006.
- HICKS, S. K.; LASCANO, R. J. Estimation of leaf area index for cotton canopies using the LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. **Agronomy Journal**. V. 87, p. 458-464, 1995.
- IAMAUTI, M. T. **Avaliação de danos causados por *Uromyces appendiculatus* no feijoeiro**. Piracicaba: USP, 1995. (Tese de Doutorado)
- JESUS JR, W. C.; VALE, F. X. R.; COELHO, R. R.; COSTA, L. C. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. **Agronomy Journal**. V. 93 p. 989-991, 2001.
- JOHNSON, K. B. Defoliation, disease, and growth: a reply. **Phytopathology**, v. 77, p. 1495-1497, 1987
- LIBERATO, J. R. **Desenvolvimento e avaliação do Programa QUANT para a quantificação de doenças de plantas por análise de imagens digitais**. Viçosa: UFV, 2003. Dissertação (Doutorado em Fitopatologia).
- LICOR Incorporation. **LI-3100 area meter**. Instruction manual. Lincol, NE: 1996. 30p.

- LOPES, D.B., BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, v. 20, p. 143-151, 1994.
- MALONE, S.; HERBERT JR, D. A.; HOLSHOUSER, D. L. Evaluation of the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer to estimate leaf area in manually defoliated soybean. **Agronomy Journal**, V. 94, p. 1012-1019, 2002.
- NILSSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Anual Rew.**, v. 33, p. 489-528, 1995.
- NUTTER JR, F. W. Detection of plant disease gradients in peanut using a multispectral radiometer. **Phytopathology**, 79.958-963, 1989.
- NUTTER JR, F. W.; LITTRELL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, p. 135-142, 1996.
- NUTTER JR, F. W.; TENG, P. S.; AND ROYER, M. H. Terms and concepts for yield, crop loss, and disease thresholds. **Plant Disease**, v. 77, p. 211-215, 1993.
- PELLUZIO, J. M.; BARROS, H. B.; ROCHA, R. N. C.; SILVA, R. R.; NASCIMENTO, I. R. Influência do desfolhamento artificial no rendimento de grãos e componentes de produção da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciênc. agrotec.** V. 26, n. 6, p. 1197-1203, 2002
- PETERSON, R. K. D.; HIGLEY, L. G.; HAILE, F. J.; BARRIGOSI, J. A. F. Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) injury affects photosynthesis of *Glycine max* and *Phaseolus vulgaris*. **Environmental Entomology, College Park**, v. 27, p. 373-381, 1998.

- PRATISSOLI, D.; SCHMILDT, E. R.; REIS, E. F.; THULER, R. T. Influência de desfolhas simuladas na produtividade e em outras características agronômicas do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 275, p. 17- 24, 2001.
- REIS, E. F. **Controle químico da ferrugem asiática na região sul do Paraná**. Curitiba: UFPR, 2005. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia).
- SANTOS, F. F. **Efeitos do nível de desfolha na produção de grãos e em outras características agronômicas de duas variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa: UFV, 1980. 37f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)
- SANTOS, F. F. **Efeitos do retirada de vagens, desfolha e corte de plantas na produção de grãos e em outras características agronômicas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa: UFV, 1983. 90f. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia).
- SILVA, M. B.; VALE, F.X.R. Relação entre a severidade da doença, área foliar sadia, absorção da área foliar sadia e produção da cultura do feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 24, p. 226-231, 1998.
- TEWOLDE, H.; SISTANI, K. R.; ROWE, D. E. TSEGAYE, T. Estimating cotton leaf area index with a light sensor. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1158–1163 , 2005.
- VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C. ; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia Aplicada ao Manejo de Doenças de Plantas**. Belo Horizonte: Ed Perfil, 2004.
- VALE, F.X.R.; FERNADES FILHO, E. I. F. LIBERATO. J. R. QUANT – A software for plant disease severity assessment. In: **International Congress of Plant Pathology**, 8. Chriatchurch, New Zealand, 2003. Anais.

- WEIL, R. R.; OHROGGE, A. J. Components of soybean seed yield as influenced by canopy level and interplant competition. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 583-587, 1976.
- WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 818–825, 1991.
- WILHELM, W.W., RUWE, K. and SCHLEMMER M.R. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. **Crop Science**, v. 40, p. 1179-1183, 2000.
- WAGGONER, P. E.; BERGER, R. D. Defoliation, disease, and growth. **Phytopathology**, v. 77, p. 393-398, 1987.
- YORINORI, J. T.; PAIVA, W.M.; COSTAMILAN, L. M., **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow): identificação e controle**. Embrapa soja, 25p. Londrina-PR, 2003. (Documento 204)
- YORINORI, J. T.; LAZZARO, J. J. **Situação da ferrugem da soja no Brasil e na América do sul**. Embrapa soja, 27p. Londrina-PR, 2004. (Documento 236)