

Detecção de Greening dos citrus por imagens multiespectrais

Lúcio André de Castro Jorge¹, Ricardo Y. Inamasu¹

¹Embrapa Instrumentação – São Carlos, SP

E-mail: lucio.jorge@embrapa.br; ricardo.inamasu@embrapa.br

Resumo: Greening é uma doença recente que tem causado graves perdas na citricultura brasileira. O controle do vetor é aplicado uniformemente na lavoura. Aplicar em locais de maior infestação pode ser uma estratégia muito mais sustentável. O presente trabalho apresenta estudo e desenvolvimento de várias tecnologias de software e análise para mapeamento e diagnóstico precoce do greening, para buscar apoiar o tratamento espacialmente variado de agroquímico.

Palavras-chave: Citrus, Greening, imagem.

Detection of Citrus Greening for multispectral images

Abstract: Greening is a recent disease which has caused serious losses in Brazilian citrus. The vector control is applied uniformly in the fields. Apply in areas of higher infestation can be a much more sustainable strategy. This paper presents the study and development of various technologies and analysis software for mapping and early diagnosis of greening, to seek support for spatially varied treatment of agrochemical.

Keywords: Citrus, Greening, image

1. Introdução

Na década de 80, o Brasil surge como o maior produtor mundial de citros, com mais de 1 milhão de hectares de plantas cítricas em seu território.

O Estado de São Paulo destaca-se como o principal produtor do País, sendo responsável por 70% da produção de laranjas e 98% da produção de suco, segundo dados da Associação Brasileira dos Exportadores de Cítricos - ABECitrus (2006).

Na fruticultura, o País ocupa a terceira colocação entre os maiores produtores mundiais, com destaque para a laranja in natura que protagonizou o maior crescimento individual do ano de 2006, com mais de 50 mil toneladas exportadas, o que representou aumento de 64% em volume e 85% em valor, comparados ao ano de 2005, (AgroBrasil, 2006).

A expressividade nos números reflete o domínio que o País mantém no setor ao longo dos anos, não apenas na produção da laranja e seus derivados, mas também na exportação desses produtos, destaque para o suco de laranja concentrado e congelado (SLCC).

Conforme apontado pelo Fundo de Defesa da Citricultura - FUNDECITRUS (2006), e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2006), a receita derivada da exportação de SLCC ultrapassa o montante de US\$ 1 bilhão/ano, enquanto a cadeia produtiva do setor movimentou recursos da ordem de US\$ 4 bilhões/ano.

Além da sua eficiência e capacidade de produção, a citricultura paulista apresenta algumas características peculiares: a) Os pomares ocupam uma área de aproximadamente 615.300 ha (FUNDECITRUS, 2008), sem grandes variações de relevo ou barreiras físicas e com extensas malhas rodoviárias, cujo trânsito de mudas, sementes, borbulhas e frutos cítricos é intenso, o que confere continuidade espacial entre os pomares. b) As plantas cítricas são perenes e, portanto, estão expostas durante todo o ano e por vários anos ao ataque de pragas e doenças, sem um período de ausência de hospedeiro. c) Os pomares apresentam uma variabilidade genética muito baixa. As laranjeiras doces (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) 'Pêra-Rio', 'Natal', 'Valência' e 'Hamlin', propagadas vegetativamente, representam 92% da citricultura e o porta-enxerto utilizado em aproximadamente 85% das árvores é o limoeiro 'Cravo' (*C. limonia*

Osbeck), devido a sua rusticidade, vigor conferido à copa e, principalmente, resistência às condições de deficiência hídrica do norte e noroeste do Estado. Estas características conduzem a uma alta vulnerabilidade da cultura à ocorrência de epidemias de doenças conhecidas e de novas doenças com importantes conseqüências para a sustentabilidade deste agronegócio.

Estes e outros indicadores ilustram a importância desta atividade para a economia nacional e a necessidade da criação de mecanismos para que a mesma se desenvolva de forma adequada.

A ABECitrus destaca desafios para a produção paulista de citros que abrange desde a competição por terras devido à expansão da cana-de-açúcar, até o combate às pragas e doenças, como o Cancro Cítrico, a Morte Súbita dos Citros (MSC), o Greening e o CVC (Clorose Variegada dos Citros), sendo essas quatro pragas responsáveis pela redução estimada de 10% da produção média de São Paulo nos últimos anos, o que equivale a 30 milhões de caixas (ABECitrus, 2007).

Com efeito, o principal gargalo para a sustentação e desenvolvimento da atividade citrícola remete à questões fitossanitárias.

Doenças como o Cancro Cítrico, a Clorose Variegada dos Citros, a Morte Súbita dos Citros e, mais recentemente, o Greening, têm causado graves perdas ao setor, com destaque à última citada que, sozinha, é responsável pelos maiores prejuízos do setor na atualidade, segundo dados do Fundecitrus (2007).

Tais problemas envolvem principalmente a erradicação e renovação dos pomares, que representam um custo bastante elevado para o pequeno e médio produtor, que, usualmente, detêm menor disponibilidade de recursos e acesso a crédito.

Desse modo, a decisão de formação ou não de um novo pomar é um procedimento que envolve grande risco, não apenas pelos gastos envolvidos em tal ação (uma vez que pomares médios costumam ter em torno de 20 a 50 mil plantas), mas também pelo tempo de maturação deste investimento, que acaba se convertendo em um importante custo de transação (ZYLBERSZTAJN, 1995).

Outros problemas também são enfrentados pela citricultura paulista, como o aumento dos

custos de produção e as pragas e doenças que surgem e causam a erradicação de pomares.

No entanto, alguns desses fatores são capazes de causar sérios danos à cultura de citros que é um alvo constante dessas moléstias. Essas doenças encontram condições favoráveis ao seu desenvolvimento, como a influência climática, facilidade de disseminação e, em alguns casos, a ausência de agentes inibidores.

Tais problemas fitossanitários interferem diretamente na quantidade e na qualidade das frutas cítricas produzidas. Dependendo da intensidade do ataque sofrido por pragas ou doenças, os danos deixados na planta podem torná-la improdutiva ou levar à sua erradicação.

Segundo Maximiano (1997) faz-se importante considerar que a administração na unidade de produção agrícola não se define apenas como o processo de tomar e colocar em prática decisões sobre objetivos e utilização de recursos. Entretanto, também torna-se fundamental diagnosticar e controlar todos os fatos que possam interferir na produção, principalmente a fitossanidade.

As dificuldades encontradas pelos produtores de citros em lidar com o surgimento e manifestação de doenças os têm levado a buscarem o auxílio dos centros de pesquisas especializados em citros.

No entanto, em alguns casos o procedimento para inspecionar propriedades ainda é rudimentar. O tempo gasto neste processo implica em baixa produtividade e aumento dos custos, devido à falta de controle dos operadores nas suas atividades diárias agravado pela deficiência dos mesmos na obtenção de diagnósticos precisos e precoces.

Dentre as novas doenças o Greening ou Huanglongbing (HLB) tem recebido maior preocupação.

A doença Greening, ou Huanglongbing (HLB) foi relatada nos pomares paulistas a partir de 2004. Atualmente, é a doença mais temida entre os produtores de laranja por não possuir qualquer tipo de cura ou tratamento. Ainda, a referida doença apresenta alta capacidade de disseminação e afeta todas as variedades comerciais de laranjeiras e principalmente, não há métodos de diagnóstico precoce da doença (Fundecitrus).

A Greening tem como agente causal uma bactéria que habita o floema da planta hospedeira sendo conhecida como *Candidatus Liberibacter*. Há três variações para esta bactéria, *Candidatus*

Liberibacter africanus, *Candidatus Liberibacter asiaticus* e *Candidatus Liberibacter americanus* (Fundecitrus).

Os sintomas da Greening são basicamente os mesmos, independente de onde ocorre a doença e de qual variação da bactéria. As árvores afetadas têm como sintoma inicial o surgimento de um ramo ou galho, que se destaca pela cor amarela em contraste com a coloração verde das folhas dos ramos não afetados. As folhas amareladas, ou sintomáticas, apresentam coloração amarela pálida, com áreas de cor verde, formando manchas irregulares, chamadas de mosqueadas. Por ser uma doença que atinge o transporte de seiva bruta, o floema, as plantas novas ficam improdutivas e as plantas maduras reduzem sua produção até não produzirem mais.

A forma atual de controle da doença são inspeções visuais para detecção de árvores sintomáticas e aplicação maciça de inseticidas para controle do vetor. Logo que identificadas, as árvores sintomáticas são arrancadas visando diminuir a proliferação da doença. Este método, entretanto tem se mostrado bastante ineficiente. O Fundecitrus estima que as inspeções visuais tenham falhas que levam a um erro aproximado de 30 a 60%, ou seja, em torno da metade de pés sintomáticos são mantidos no campo por falhas na inspeção.

Até 2008 já foram erradicadas 3 milhões de árvores sintomáticas, implicando na perda de 5,5 milhões de caixas de laranja ao ano, o que corresponde aproximadamente a uma perda anual de 50 milhões de Reais para os produtores. Este esforço de erradicação na fase sintomática não tem resolvido o problema, pois a doença tem mostrado um crescimento exponencial no tempo nas áreas contaminadas.

Em geral, quando os primeiros sintomas são detectados visualmente, a árvore de Citros já se encontrava contaminada há meses. O período estimado de incubação da doença é de aproximadamente 6 a 36 meses. Durante este período que a planta doente assintomática, ou ainda, com sintomas pouco expressivos, permanece no pomar, se torna um propagador invisível da doença. Avaliações do Fundecitrus estimam que no campo para cada árvore sintomática existam mais duas em fase assintomática.

Este fato, aliado ao vetor ser um inseto alado, tem como consequência a alta taxa de propagação da doença. O controle do vetor com pulverizações aéreas, ou mesmo com inseticidas sistêmicos, retarda um pouco a velocidade de propagação, mas está longe de resolver o problema. Além disso, as pulverizações aéreas levam a sérios problemas ambientais, como a geração de insetos resistentes aos agroquímicos utilizados e a diminuição da população de insetos, como abelhas, essenciais para polinização de várias plantas. (Cohen, 2008). Portanto, a forma atual de controle da doença, além de ineficiente, faz da citricultura um sistema de produção não sustentável.

Tecnologias para vigilância e sanidade vegetal tem sido fomentadas visando a formação de redes de pesquisa em estratégia de prevenção, monitoramento, ocorrência, controle das principais pragas que afetam plantas frutíferas brasileiras. A aplicação de técnicas de agricultura de precisão vem a esse encontro e poderá contribuir significativamente para a elaboração de diretrizes de ação governamental para a sanidade vegetal de acordo com a política de defesa sanitária vegetal definida pelo MAPA.

Neste sentido, dentro da Rede da Agricultura de Precisão, foi desenvolvido o projeto “**GeoTecnologias para Inspeção, Gerenciamento e Análise da Propagação de Greening dos Citros**”, Processo CNPq nº 578627/2008-6, que tinha por objetivo fornecer ferramentas aos citricultores para inspeções mais eficientes, monitoramento da disseminação desta e de outras doenças dos citros para regiões citrícolas do Estado de São Paulo. Ferramentas georreferenciadas e de agricultura de precisão foram aplicadas para tentar auxiliar i) na identificação dos fatores da disseminação e manifestação da doença, como condições climáticas, proximidade de rodovias, matas e rios, transmissão e flutuação populacional dos possíveis vetores, ii) no desenvolvimento de técnicas rápidas, acuradas e precoces para a estimativa da incidência da doença em pomares e iii) na avaliação, modelagem e mapeamento espacial da doença.

2. Experimentos

2.1. Instalação dos experimentos em estufa e em campo

2.2.1. Estufa

Para a 1ª etapa do projeto *Greening o Grupo Fischer* disponibilizou à EMBRAPA Instrumentação Agropecuária 120 mudas de Valência com o porta-enxerto *Swingle*, que foram plantadas no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) na cidade de Cordeirópolis - SP.

Desse total de 120 mudas, 60 delas foram inoculadas com a bactéria *Candidatus Liberibacter asiaticus* e durante 28 semanas foram coletadas as folhas dessas plantas e as mesmas foram analisadas aplicando as técnicas de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) e Imagens de Fluorescência Induzida por Radiação Ultravioleta, bem como imagens no visível.

2.2.2. Campo

O experimento de campo foi realizado a partir do monitoramento na fazenda Citrícola situada no município de Gavião Peixoto, SP. Foram inspecionados dois talhões, um com baixa infestação e outro com alta infestação. Foram avaliadas plantas consideradas sadias e infectadas, sendo este último grupo subdividido em sintomáticas e assintomáticas. Foram escolhidas copas de laranjeira Valência e porta-enxerto de citrumeleiro *Swingle*. Neste caso, não foram submetidas as amostras de todas as plantas para análise de PCR, tendo o estado das plantas sido determinado apenas por inspeção visual realizada por funcionários da fazenda. Desse modo, não é possível ter certeza de que as plantas incluídas eram de fato sadias. É seguro assumir, contudo, que boa parte delas não havia sido infectada pela bactéria causadora do greening, pois, além de não apresentarem sintomas, foram propositalmente escolhidas em um talhão com baixa ocorrência da doença. As plantas doentes foram classificadas como tais por terem apresentado os sintomas característicos do greening. Dessa forma, o conjunto consistiu de três grupos: sadias, retiradas de árvores sem sintomas e com baixa probabilidade de contaminação; assintomáticas, sem a clorose característica, mas retiradas de árvores de áreas com alta incidência de sintomas; e sintomáticas,

que manifestaram a clorose característica do greening. Foram coletadas folhas para análise das imagens no espectro visível e infra-vermelho, bem como imagens aéreas e terrestres das árvores.

A área experimental, Figura 1, foi varrida mês a mês de fevereiro de 2011 a julho de 2012 com os sensores e acompanhadas as inspeções de campo com o sistema GeoFielder. Os mapas com as plantas identificadas com o greening e as erradicadas foram mapeadas.

2.2. Banco de Dados e Interface

O Banco de Dados utilizado foi o PostgreSQL, que se trata de uma ferramenta de código aberto, e que possui uma vasta comunidade de usuários. Entre outros motivos, a escolha deste SGBD foi influenciada pela sua extensão PostGIS, que permite o armazenamento de dados geográficos de forma facilitada, sendo que o próprio banco de dados já possui uma vasta gama de funções geográficas que pode ser aplicadas diretamente nos dados armazenados, evitando a necessidade de implementação dessas funções pelo programador.

Foram utilizadas tabelas no banco de dados contendo os seguintes dados medidos:

- FIL: medidas de fluorescência induzida por laser;
- PCR Quantitativo: análise de DNA quantitativa da bactéria;
- PCR Qualitativo: análise qualitativa de DNA da bactéria;

As imagens armazenadas em HDs externos e acessadas via banco por referência foram:

- Imagens de Fluorescência com Lupa;
- Imagens de Fluorescência sem Lupa;
- Imagens no espectro Visível;
- Imagens Multiespectrais;
- Além disso, os dados climáticos vindos da estação meteorológica.

Um exemplo do modelo atual do banco de dados pode ser visto pelo diagrama modelado da Figura 2. E na Figura 3 uma tela do software Greening desenvolvido para acesso e manipulação no banco de dados.

2.3. Processamento e Modelagem:

Durante a primeira fase do projeto foram armazenados no Banco de Dados PostgreSQL os espectros obtidos por meio do emprego da técnica de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) e as imagens obtidas por meio da aplicação da técnica Imagem de Fluorescência Induzida por Laser, apenas para o experimento em estufa.

O experimento de campo foi conduzido e para a análise de dados e extração de características relevantes que identificassem o *Greening* foram utilizados os algoritmos de mineração de dados e classificadores gerados no experimento controlado em estufa.

Para a construção desses classificadores foi desenvolvida uma interface utilizando a IDE (*Integrated Development Environment*) do netbeans usando a linguagem JAVA, a interface



Figura 1. Área experimental de alta incidência de greening, com talhão gerado no i3GEO usando interface do GoogleEarth.

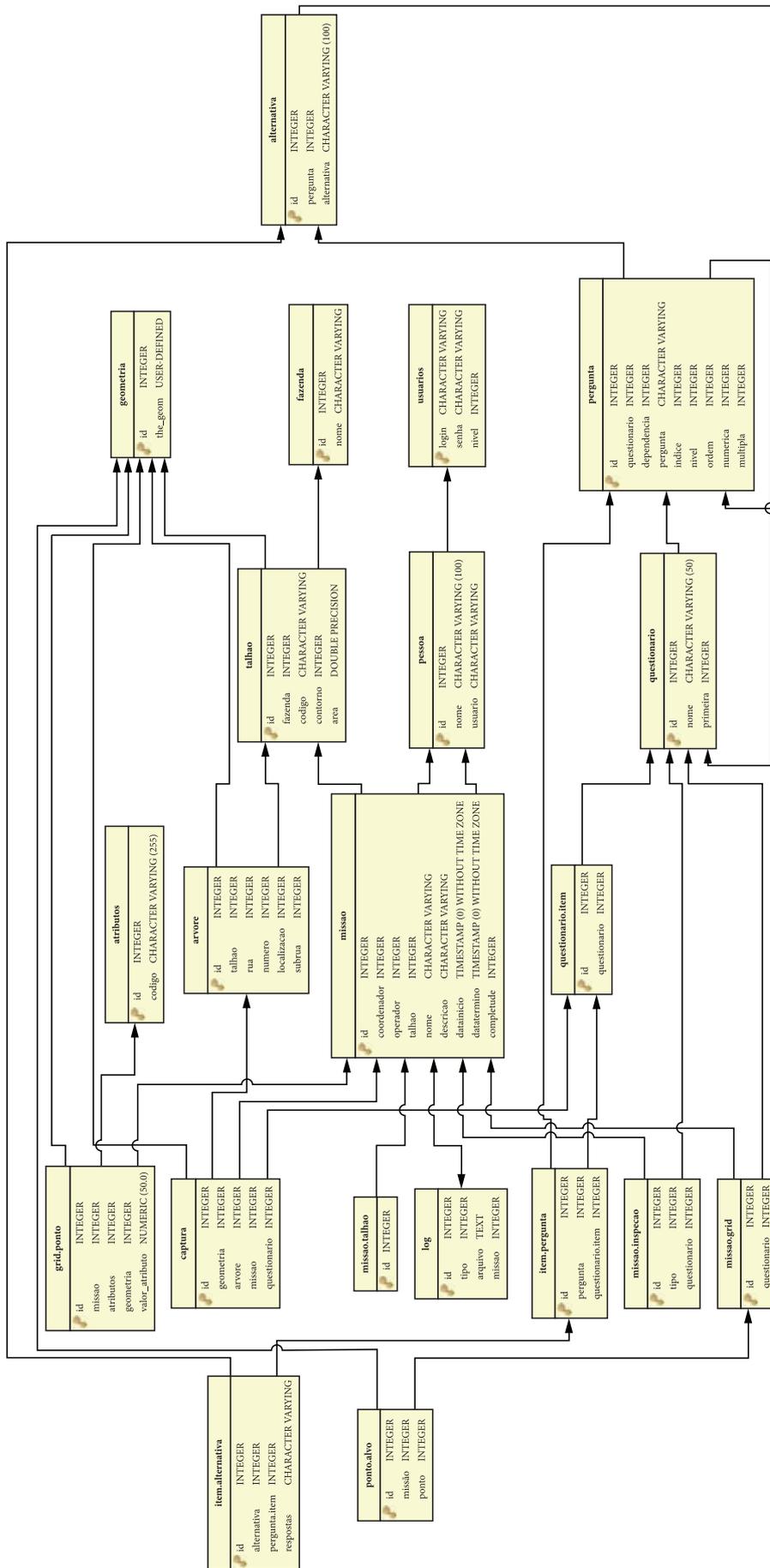


Figura 2. Diagrama MER do Banco de Dados

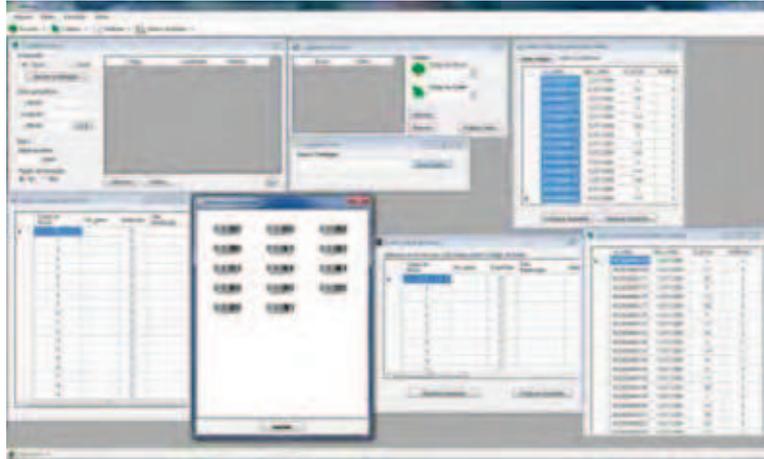


Figura 3. Softwáre Greening para acesso e manipulaço do banco de dados georreferenciado

permitiu a execuço dos algoritmos presentes na API (*Application Programming Interface*) do *toolbox* WEKA.

Os algoritmos utilizados no desenvolvimento do projeto foram:

- Seleço de características baseados na correlaço (*Correlation-based Feature Selection - CFS*) de características e busca gulosa (*GreedyStepwise*). O algoritmo CFS utilizado para seleço de características avalia o valor de um subconjunto de características, considerando a habilidade preditiva de cada característica permitindo certo grau de redundância entre estas, o algoritmo Greedy Stepwise faz uma busca gulosa nos subconjuntos de cada espaço de atributos;
- Componentes Principais (PCA) e Ranker. O algoritmo PCA é utilizado para seleço de características, transformando os dados para um novo espaço de atributos segundo a maior

variância dos dados; o algoritmo Ranker conjuntamente com a PCA para realizar a busca de componentes principais mais relevantes;

- Os algoritmos: o C4.5 e o Multi Layer Perceptron (MLP) foram estudados para a construço do classificador. O algoritmo C4.5 é baseado em uma árvore de deciso cuja a estrutura expressa os dados de maneira rápida e eficiente. O algoritmo MLP é baseado em uma rede neural do tipo *MultiLayer Perceptron* com algoritmo *backpropagation*.

Durante a validaço dos algoritmos, nos dados do experimento de estufa, a classificaço das imagens de fluorescência a detecço aconteceu com preciso a partir do quinto mês, ainda na fase assintomática da doença. Os resultados obtidos a partir desse mês apresentaram acertos superiores a 65%. Esses resultados com cada um dos métodos podem ser observados na Figura 4.

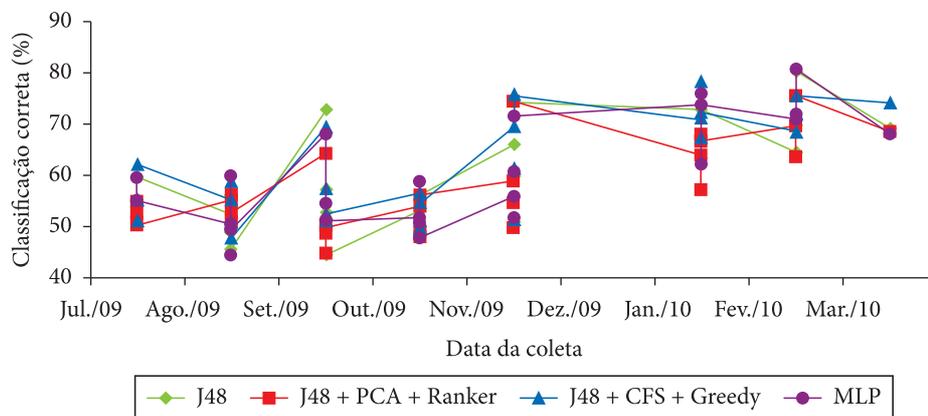


Figura 4. Classificaçoes corretas a partir das imagens de fluorescência.

Para a classificação utilizando os espectros de fluorescência a detecção aconteceu logo no primeiro mês. Os resultados obtidos em sua maioria foram superiores a 75%. A visualização desses resultados pode ser observada na Figura 5.

Ao realizar a classificação com os dados da fluorescência e as imagens de fluorescência foram obtidos resultados superiores a 70%. Na Figura 6 observa-se os gráficos com os resultados dessa classificação.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido apresentou um resultado inédito de classificador aplicado numa área de extrema importância. Atualmente as inspeções visuais conseguem obter valores inferiores aos percentuais supracitados, abaixo de 50%. Também, esse trabalho tem servido de referência para geração de um sistema classificador com base em imagens de

fluorescência e fluorescência induzida por Laser (FIL) para aplicação direta no campo.

No experimento de campo, foram obtidas imagens de reflectância, nas regiões do infravermelho próximo. Em virtude das respostas das plantas se encontram na faixa dos 620nm, foi priorizada a reflectância e a irradiação destas faixas. As medidas de imagens de fluorescência são inviáveis em campo, na forma que está disponível, porém por algoritmos classificadores serviram para calibrar o sistema com relação à reflectância para análise direta no campo. Ao lado das imagens também foram validadas com medidas do espectrorradiômetro ASD portátil que opera de 300nm a 2500nm com resolução espectral de 7nm por banda. Este instrumento foi adquirido pelo projeto em Rede de Agricultura de Precisão.

Foram desenvolvidas duas ferramentas de análise multifractal denominadas de BFractal e

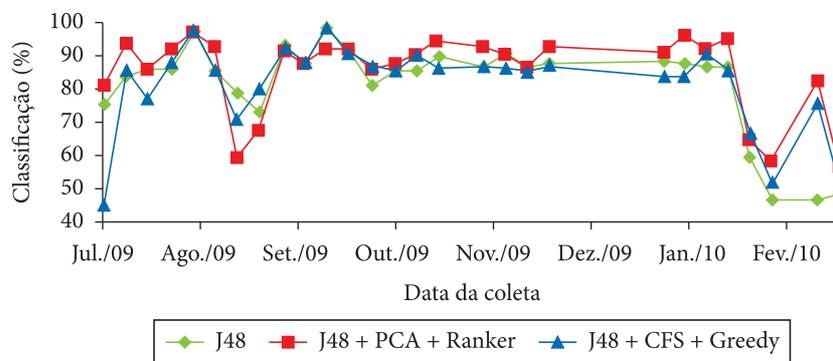


Figura 5. Gráfico com classificações corretas a partir dos espectros FIL.

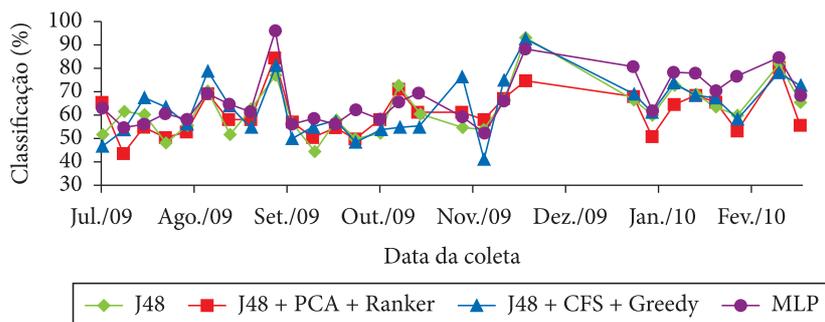


Figura 6. Gráfico com classificações corretas a partir dos espectros FIL.

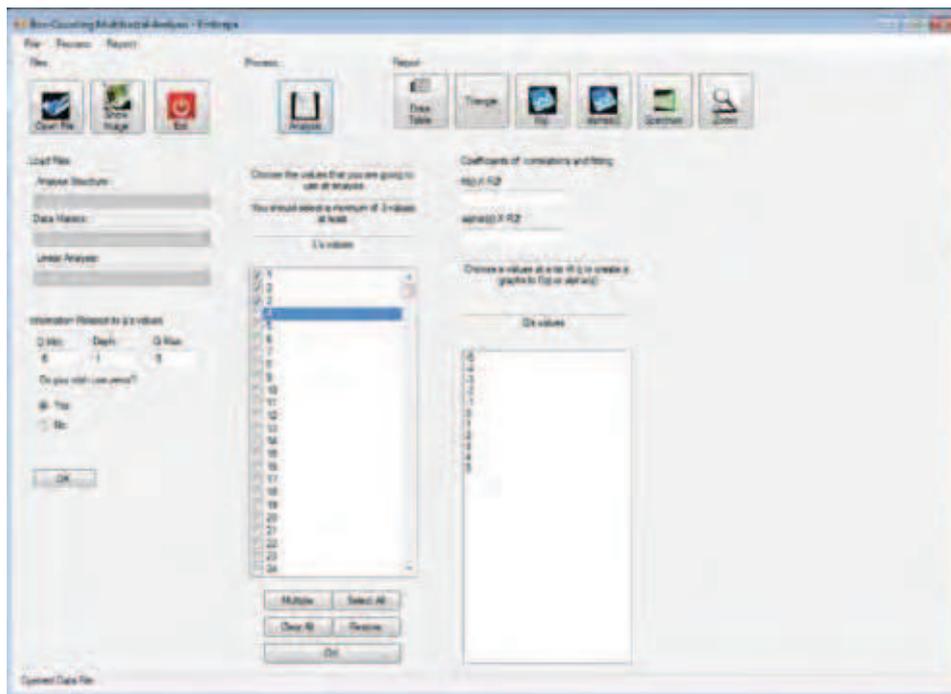


Figura 7. Interface da ferramenta *BFractal* desenvolvida pela EMBRAPA Instrumentação Agropecuária.

WFractal para a análise de sinais 1D e 2D oriundos das imagens por meio do emprego das técnicas *Box-Counting*, *Wavelet* e Multifractal. Uma tela do sistema *BFractal* é apresentada na Figura 7.

Essa ferramenta foi utilizada para realizar a análise das imagens multiespectrais obtidas no campo de maneira georreferenciada. Essa análise permite evidenciar mudanças não visíveis ocasionadas pelo *Greening*. Os acertos na identificação de plantas doentes constatados pelo aparecimento dos sintomas em média tem sido da ordem de 90%. Nem todas as plantas foram analisadas, pois o talhão possui perto de 10 mil plantas, porém foi realizada análise por meio de amostragem.

Foi realizado amplo estudo teórico e o entendimento sobre as funções *Wavelets* e a teoria dos Multifractais. A ferramenta *BFractal* foi desenvolvida inicialmente para a linguagem C#. e utilizando o o método *Box-Counting*. Posteriormente foi gerado o sistema utilizando funções *Wavelets discretas*. Uma vez entendido o funcionamento com esta transformada discreta, foi realizada a geração de mapas de alerta.

A análise multiresolução consiste na análise do sinal por meio da utilização de diferentes

frequências e diferentes resoluções. Dada uma determinada resolução o sinal é aproximado e as flutuações no sinal abaixo da escala definida são ignoradas. Quando a resolução é aumentada, os detalhes mais finos são adicionados à descrição do sinal, proporcionando desta forma uma melhor aproximação do sinal

Este método é utilizado para se obter uma boa resolução temporal e uma pobre resolução em frequência para as altas frequências, e uma boa resolução em frequência e uma pobre resolução temporal para as baixas frequências. Este método é adequado quando o sinal a ser analisado possui componentes de alta frequência para curtas durações e componentes de baixa frequência para longas durações.

Os mapas com os resultados da análise multifractal para identificação de *greening* no campo, marcados em vermelho, com as plantas erradicadas, marcadas em branco e com as plantas ainda saudáveis marcadas como verde podem ser visualizados na Figura 8. Estes resultados foram verificados com inspeções em campo posteriormente.

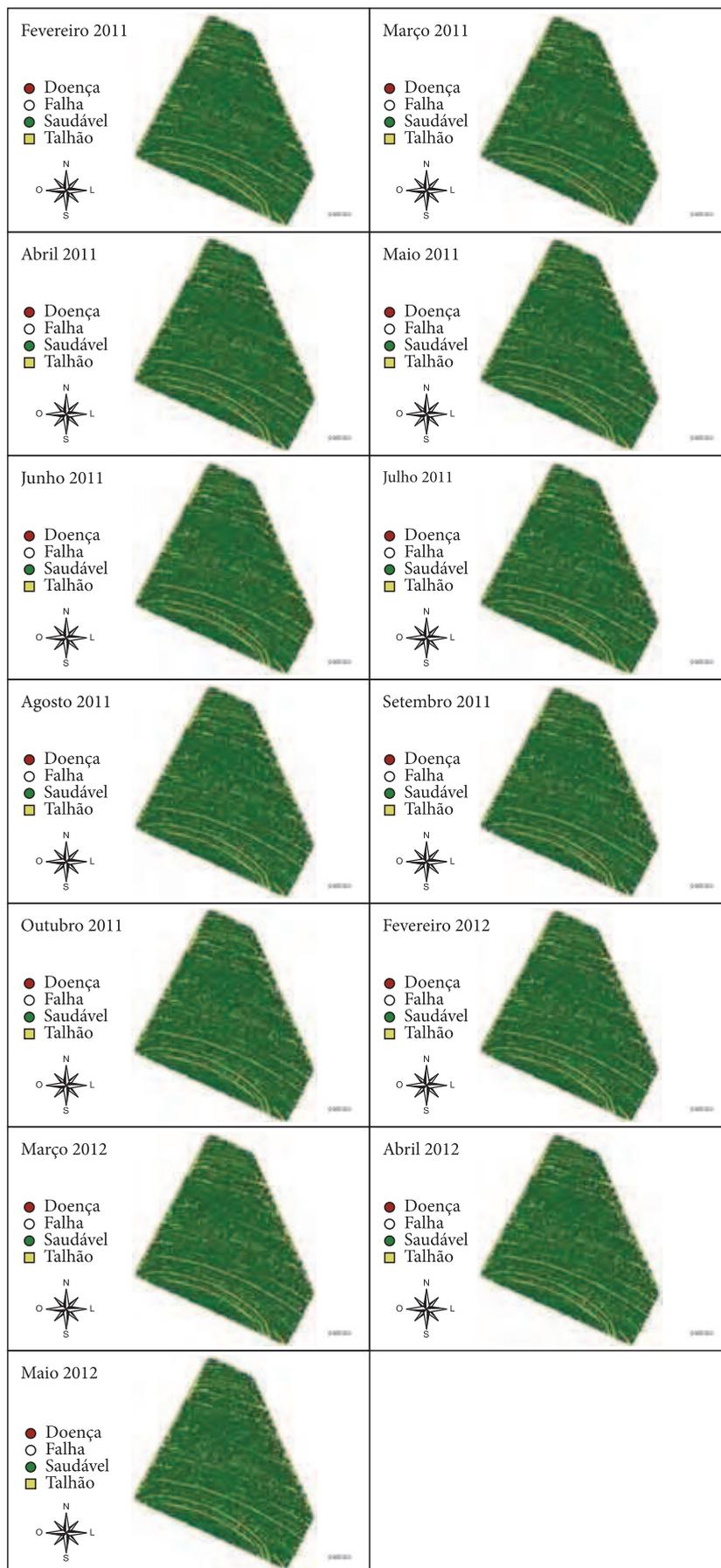


Figura 8. Mapas de alerta com detecção de Greening durante os meses do experimento de campo

3. Conclusões

O projeto permitiu o estudo e desenvolvimento de várias tecnologias de software e análise para mapeamento e diagnóstico precoce do greening e que pode ser aplicado a outras doenças. A experiência com o experimento em estufa foi muito positiva e serviu para direcionar melhor a pesquisa e corrigir os erros no experimento de campo.

Também, a escolha das ferramentas GVSIG e I3GEO facilitou o desenvolvimento das ferramentas de visualização dos mapas de alerta ou propagação do Greening, tornando viável o uso durante o experimento de campo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADOS DE CÍTRICOS. **História da laranja**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.abecitrus.com.br/historia_br.html>. Acesso em: 5 set. 2006a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADOS DE CÍTRICOS. **Estudos e palestras**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.abecitrus.com.br/estudos_br.html#pal_imprensa07>. Acesso em: 21 abr. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HORTICULTURA. Balanço Brasileiro do Agronegócio 2006. Editorial. **Revista AgroBrasil**, 2006b.

COHEN, Y.; COHENA, A.; HETZRONIA, A.; ALCHANATISA, V.; BRODAYB, D.; GAZITC, Y.; TIMARC, D. Spatial decision support system for Medfly control in citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 620, p. 107-117, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.12.005>

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. Araraquara. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br>> Acesso em: 28 dez. 2006.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Greening**: conheça a doença. Araraquara. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/doencas/greening.html>>. Acesso em: 20 nov. 2008.

MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria geral da administração**. São Paulo: Atlas, 1997.

ZYLBERSZTAJN, D. **Estruturas de governança e coordenação do agribusiness**: uma aplicação da nova economia das instituições. São Paulo: FEA-USP, 1995.