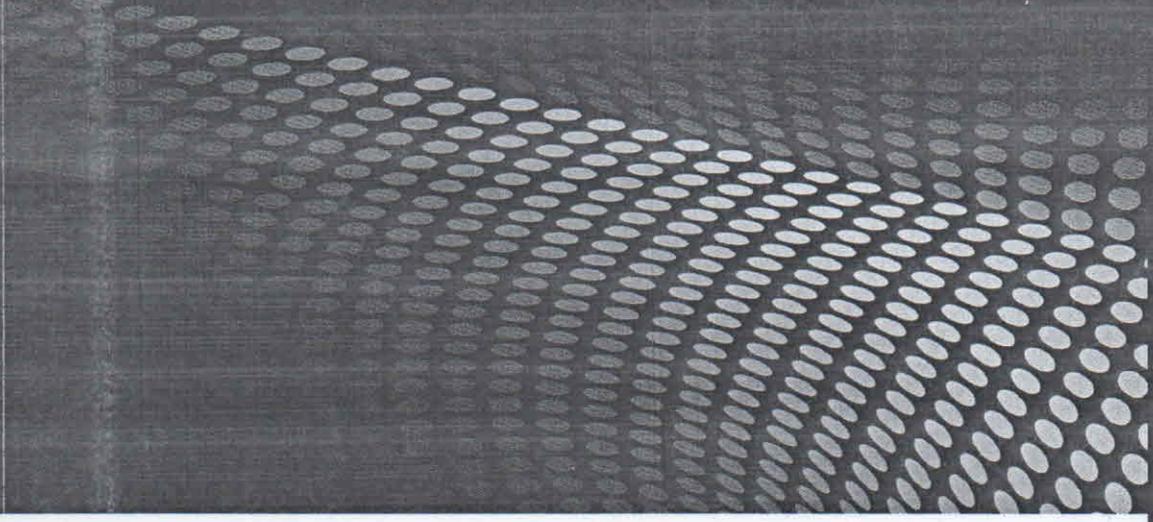


# OPTICA e FOTÔNICA



DA CIÊNCIA À INOVAÇÃO,  
A EVOLUÇÃO E AS PERSPECTIVAS  
NO PÓLO TECNOLÓGICO DE SÃO CARLOS

Vanderlei Salvador Bagnato  
Sergio Perussi Filho  
(ORGANIZADORES)

# **ÓPTICA E FOTÔNICA**

**Da ciência à inovação, a evolução e as  
perspectivas no Pólo Tecnológico de São Carlos**

**COMPACTA**  
GRÁFICA E EDITORA

**Copyright © dos autores**

Todos os direitos garantidos. Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida ou arquivada, desde que levados em conta os direitos dos autores.

---

Bagnato, Wanderlei Salvador & Perussi Filho, Sérgio (Org.)

**Óptica e fotônica – Da ciência à inovação, a evolução e as perspectivas no Pólo Tecnológico de São Carlos.** São Carlos: Compacta Gráfica e Editora, 2009.

ISBN 978-85-88533-44-8

1. Óptica. 2. Fotônica. 3. Pólo Tecnológico. 4. São Carlos. 5. Autores. I. Título.

CDD –

---

**Colaboração: Italo Carlos Celestini**

**COMPACTA**  
GRÁFICA E EDITORA

Av. Dr. Teixeira de Barros, 133 – Vila Prado  
[www.editorcompacta.com.br](http://www.editorcompacta.com.br)  
13574-033 - São Carlos – São Paulo  
Fone/Fax: (16) 3371-1404  
2009



## 5. APLICAÇÕES DA ÓPTICA E FOTÔNICA PELA EMBRAPA EM BENEFÍCIO DO AGRONEGÓCIO

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori  
Ladislau Martin-Neto  
Sérgio Perussi Filho  
Edilene Cristina Ferreira  
Fabiola Manhas Verbi Pereira

### 1. Introdução

No período entre 1980 e 2008, o nível de eficiência alcançada pelos produtores rurais brasileiros atingiu um patamar expressivo que pode ser mensurado pelo aumento da produtividade no setor agrícola. Pode-se citar, por exemplo, o fato de que com a mesma área plantada o Brasil ter conseguido em 2007 quase triplicar a produção de grãos em relação ao início da década de 80 (de 50,8 milhões para os atuais 136,3 milhões de toneladas). Este desempenho no campo foi possível graças ao grande aporte tecnológico inserido no setor. Um dos principais fatores deste desenvolvimento foi promovido pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Atualmente, o agronegócio, entendido como a soma dos setores produtivos, desde o processamento do produto final à fabricação de insumos, responde por quase um terço do PIB do Brasil e quase 40% das exportações totais.

Além da produtividade, a questão ambiental no agronegócio, principalmente devido ao uso de agroquímicos (fertilizantes e pesticidas) e ao desmatamento, é uma preocupação importante relativa à sustentabilidade da produção agrícola. Desta forma, a questão produtividade versus sustentabilidade é o grande desafio que se configura para o agronegócio brasileiro nas próximas décadas.

Mundialmente, muitas áreas da ciência têm se dedicado a trabalhar em problemas relacionados ao agronegócio visando tanto o aumento de produtividade quanto a sustentabilidade da produção. Biotecnologia, nanotecnologia, robótica e fotônica são exemplos de áreas de pesquisa que têm imenso potencial para alavancar ainda mais o setor.

Em particular a fotônica, considerada como uma das principais ciências do século 21, tem apresentado resultados extremamente interessantes que vão desde sensores ópticos simples com lasers de diodo acoplados a tratores para controle de ervas daninhas até sofisticados sistemas de imagens hiper-espectrais via satélite para acompanhamento de produção e levantamento de propagação de doenças no campo.

Na literatura internacional o número de artigos científicos publicados para temas relacionados à fotônica aplicada à agricultura é aproximadamente 10 vezes menor quando comparado a estudos direcionados na área de medicina. Os EUA lideram as pesquisas sobre fotônica aplicada à agricultura com aproximadamente 35% dos trabalhos publicados, seguido pela França (~ 15%) e pelo Canadá (~ 10%). Outra parte da produção científica está sendo desenvolvida principalmente em países como, Alemanha, Austrália, Itália, Inglaterra, Japão e Espanha.

No Brasil, a aplicação da fotônica no agronegócio ainda é incipiente quando comparada aos países mencionados anteriormente. O número de pesquisas realizadas sobre o tema nas universidades e nos centros de pesquisa nacionais ainda é restrito a algumas instituições. Dentre estas, a Embrapa, de forma pioneira, inaugurou o primeiro laboratório dedicado a aplicações de óptica e lasers na agricultura na unidade de Instrumentação Agropecuária em São Carlos em outubro de 2003. Desde este período, vem produzindo diversos trabalhos em parceria com universidades e centros de pesquisa gerando publicações e patentes na área. A localização geográfica da Embrapa Instrumentação Agropecuária (sediada em São Carlos na região central do Estado de São Paulo), permitiu que inicialmente houvesse uma forte interação com instituições como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e outras unidades da Embrapa no Estado de São Paulo viabilizando projetos em cooperação que aceleraram o desenvolvimento de pesquisas na área. Foram importantes também cooperações com universidades, tais como a Universidade Estadual de São Paulo (USP), Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atualmente o Laboratório de Óptica e Lasers da Embrapa Instrumentação Agropecuária expandiu seu universo de cooperações para todo o Brasil e outros países, como os Estados Unidos, França e Bélgica.

## 2. PESQUISAS RECENTES

A demanda por instrumentação no agronegócio é extremamente alta. Existe um aumento da necessidade por técnicas rápidas e precisas para estimar a produtividade no campo; mapear infestações de pragas e doenças; realizar o diagnóstico precoce de doenças; avaliar produtos e insumos; aproveitar resíduos e subprodutos; analisar qualidade de solos e águas; tratar produtos pós-colheita; enfim, acompanhar processos em todos os setores da produção.

Para contemplar grande parte destas demandas surgiu a agricultura de precisão, que vem se fortalecendo nos últimos anos, não apenas por aspectos econômicos, mas também por aspectos ambientais. Esta área da ciência preconiza a heterogeneidade das condições do campo e, conseqüentemente variabilidade espacial da produção. Desta forma, a aplicação racional de insumos, além de gerar economia, é ambientalmente mais sustentável. Entretanto, para que seja possível mapear condições de solo, produtividade e infestação de doenças, além de sistemas georeferenciados, o desenvolvimento de instrumentação específica para cada um destes fatores torna-se imprescindível.

Neste capítulo serão abordados alguns tópicos relevantes em pesquisa voltados ao desenvolvimento de instrumentação ligada a fotônica com aplicação no setor agropecuário.

### 2.1. Diagnóstico de Citrus Greening através da biofotônica

O Brasil, desde o início da década de 90, mantém-se como o maior produtor mundial de laranja, sendo responsável por 80% do comércio internacional de suco de laranja. Para essa produção, avaliada em US\$ 900 milhões, gastam-se cerca de US\$ 410 milhões em insumos agrícolas, movimentando aproximadamente US\$ 1,5 bilhão com a venda de produtos citrícolas, incluindo sucos e frutas frescas.

A contribuição da região sudeste, especificamente a do estado de São Paulo, é avaliada em 80% da produção nacional de frutos cítricos; possuindo cerca de 34 milhões de plantas em formação e 164 milhões de plantas cítricas dedicadas à produção industrial. Com a referida capacidade, tornou-se responsável por 97% das exportações brasileiras. Este mercado é responsável por cerca de US\$ 3,5 bilhões por ano de divisas para o país, gerando aproximadamente 400 mil empregos.

Com o avanço da tecnologia no campo no final do século XIX, as plantas cítricas passaram a ser multiplicadas por enxertia no Brasil, o que trouxe grandes vantagens em termos de precocidade na produção e uniformidades dos pomares. Por outro lado, a variabilidade foi reduzida, que aliada à grande demanda pelas cultivares, atualmente em uso como copas e porta-enxertos, tornaram a cultura de Citrus um alvo constante de inúmeras pragas e doenças que, encontrando condições favoráveis ao seu desenvolvimento, são capazes de causar danos irreversíveis ao setor produtivo. Dentre estas doenças está inserida a *Greening* ou *Huanglongbing* (HLB), cuja origem mais provável seja o continente asiático, mas se encontra também em outros continentes, dentre os quais africano e norte-americano. No Brasil o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) relatou o aparecimento da doença nos pomares paulistas em 2004.

A *Greening* tem como agente causal uma bactéria que habita o floema da planta hospedeira sendo conhecida como *Candidatus Liberibacter* ssp. Há três variações para esta bactéria, *Candidatus Liberibacter africanus*, *Candidatus Liberibacter asiaticus* e, a mais recentemente descoberta, *Candidatus Liberibacter americanus* que apresenta mais de 93% de similaridade com a asiática e africana.

Os pesquisadores apontam que existe forte indício que no Estado de São Paulo o vetor da doença seja a *Diaphorina citri*. Trata-se de um inseto pequeno que mede de 3 a 4 mm e que é comum nos pomares brasileiros e na planta ornamental conhecida como falsa murta (*Murraya paniculata*). Esta hipótese é baseada no que ocorre com o *Greening* nos países asiáticos, região em que a doença é transmitida pelo mesmo inseto.

Os sintomas da *Greening* são basicamente os mesmos, independente de onde ocorra à doença e do variante 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, contrastando com áreas de cor verde, formando manchas irregulares, ou cloroses assimétricas. A bactéria aloja-se no floema, e por ser uma doença que atinge o transporte de seiva elaborada, todo o metabolismo da planta é afetado. As plantas doentes produzem frutos deformados inviáveis para a produção de suco. Em casos severos, inviabilizam economicamente grandes áreas

produtivas. Na Figura 1 são apresentadas fotos que ilustram a infestação da *Citrus Greening*.

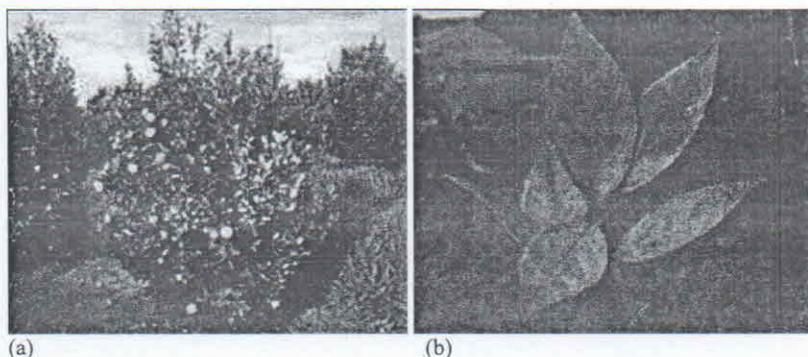


Figura 1 □ (a) Laranjeira com *Citrus Greening* mostrando o amarelecimento de galhos e folhas contrastando com o verde das folhas assintomáticas. (b) Folhas contaminadas mostrando manchas amareladas assimétricas, chamadas de folhas mosqueadas.  
Fonte: Fundecitrus.

Até o início do ano de 2009, a *Citrus Greening* ainda não possui qualquer tipo de cura ou tratamento, a capacidade de disseminação é alta e todas as variedades comerciais de laranjeiras são susceptíveis à infestação.

Uma recomendação para o controle da *Citrus Greening* é a eliminação das plantas assim que apresentem os primeiros sintomas da doença. Todavia, esse procedimento não é suficiente, pois 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, ela se torna um propagador invisível da doença. Isto é um fator extremamente relevante, já que a proximidade física entre árvores saudáveis e aquelas com a bactéria inoculada, aumenta a taxa de proliferação 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 graves 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. Portanto, a forma atual de controle da doença, além de ineficiente, faz da citricultura um sistema de produção não sustentável a médio e longo prazo.

Além disso, os sintomas da *Citrus Greening* são muito similares aos sintomas de deficiência nutricional como de zinco, por exemplo, o que dificulta a inspeção visual e adiciona certo grau de subjetividade aos diagnósticos.

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 das plantas contaminadas sejam mantidas no campo por falhas na inspeção.

Até 2008, já foram erradicadas três 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 R\$ 50 milhões para os produtores. O impacto destas perdas para a indústria do suco de laranja é ainda maior. Este esforço de erradicação na fase sintomática não tem solucionado esta questão, pois a doença tem mostrado um crescimento exponencial nas áreas contaminadas. De acordo com o levantamento da doença realizado em abril de 2008 pelo Fundecitrus, a *Greening* já está em 19% da área plantada do parque citrícola de São Paulo.

Alguns esforços têm sido despendidos para o desenvolvimento de métodos analíticos capazes de diagnosticar a doença. Os métodos baseados em imunologia, coloração com iodo, entre outros têm sido testados para diagnósticos da *Citrus Greening*, contudo, essas aplicações têm apresentado muitas desvantagens relacionadas à inespecificidade.

Atualmente o diagnóstico mais confiável para o *Citrus Greening* é a análise de PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Nesse método o diagnóstico da doença é feito baseado na análise molecular das folhas de plantas suspeitas em busca do DNA (ácido desoxirribonucléico) da bactéria causadora do *Citrus Greening* (*Candidatus Liberibacter* ssp). Entretanto, a detecção do DNA da bactéria por PCR convencional só é possível em

folhas sintomáticas. Para o diagnóstico em folhas assintomáticas (sem sinais visíveis da doença), existe uma variação mais complexa da técnica chamada de PCR de tempo real, cuja sensibilidade é pelo menos 2000 vezes maior comparada a técnica convencional, e consegue diagnosticar a doença dois meses antes dos sintomas aparecerem.

As limitações do PCR, convencional ou de tempo real, para aplicação em larga escala é o custo, em torno de US\$ 10.00 a 50.00 por amostra, e o tempo total de análise que é aproximadamente de 20 dias. Estes fatores inviabilizam análises de rotina em áreas produtivas com milhares de árvores de Citrus.

Uma forma concreta de controlar a proliferação da doença seria o desenvolvimento de um método analítico capaz de diagnosticar a *Greening* precocemente e que pudesse ser aplicado em larga escala em todas as árvores de todos os pomares brasileiros.

Neste contexto, a Embrapa Instrumentação Agropecuária, em parceria com várias instituições nacionais e internacionais, está realizando um esforço de pesquisa visando disponibilizar para o setor produtivo um sistema economicamente viável para o diagnóstico precoce de *Greening* (HLB). A meta principal é contribuir significativamente para a elaboração de diretrizes de ação governamental para o controle efetivo da doença em pomares brasileiros.

O princípio do método está fundamentado em avaliar a emissão de fluorescência de folhas de citros (parte representativa da planta para estudo de metabolismo) como indicativo da condição da planta (saudável ou contaminada) (Miloni et al, 2008). Para tanto está sendo desenvolvido um equipamento, onde a fluorescência das folhas é induzida com o auxílio de um laser, a emissão é coletada com uma fibra óptica e registrada em espectrômetros com diferentes comprimentos de onda. Os sinais espectroscópicos são analisados utilizando ferramentas matemáticas combinadas à estatística. O método permite diagnosticar precocemente a doença de forma rápida e reproduzível. Na figura 2 é mostrada a sonda do equipamento sendo aproximada de uma folha de citros para realização do diagnóstico.

Resultados preliminares da nova tecnologia apontam para uma taxa de acerto em torno de 80%. Quando aliada as técnicas de agricultura de precisão, pode representar com uma redução significativa do tempo de mapeamento.

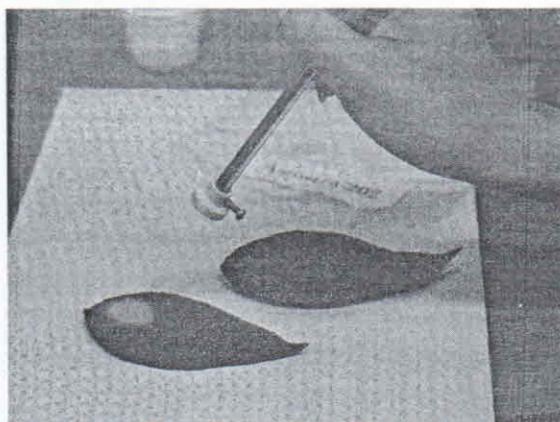


Figura 2 - Equipamento desenvolvido pela Embrapa Instrumentação utilizando fluorescência para avaliação de doenças em citros.

## 2.2 Imagens: uma ferramenta promissora para a agricultura

A atuação de lasers, LEDs e diodos por meio de diferentes técnicas ou ainda instrumentos auxilia o desenvolvimento de estudos científicos direcionados para agricultura e, pode ampliar o entendimento de informações provenientes de alterações do metabolismo em plantas. Para o caso específico de imagens é possível obter informações provenientes de técnicas como imagens de fluorescência e aquelas denominadas de imagens multiespectrais e ainda, as hiperespectrais. A obtenção destas imagens pode ser feita utilizando dispositivos tais como, câmeras digitais (CCD, *Common Digital Camera*), microscópios, entre outros.

De forma geral, o princípio de técnicas de fluorescência está fundamentado na absorção de radiação ultravioleta (UV) ou do visível pelos pigmentos em plantas e a re-emissão em comprimentos de ondas das regiões entre o visível e infravermelho.

Este conceito em imagens de fluorescência envolve principalmente, perfis de variações das emissões de fluorescência vermelha das clorofilas (a e b). A fluorescência da clorofila é um dos principais parâmetros que é considerado para a análise das folhas. A faixa onde a clorofila apresenta intensidade máxima de absorção está entre 400 e 700 nm que corresponde à região do visível, ou seja, azul (440 nm), verde (520 nm) e vermelho

(690 nm). Para os carotenóides, que são outro tipo de pigmento presentes em células de plantas, a região característica de absorção está entre 400 e 500 nm.

Alguns estudos têm mostrado que folhas submetidas a diferentes tipos de stress, tais como deficiência de água e nitrogênio, temperaturas elevadas ou muito baixas e ainda infecção por patógeno [Berger, *et al.*, 2007; Holub, *et al.*, 2007] apresentam diferentes padrões de fluorescência quando comparadas àquelas sadias.

A vantagem principal da utilização das referidas imagens é que estas passam a ser uma impressão digital dos processos que estão ocorrendo na planta [Hense, *et al.*, 2008]. Visto que manifestações de doenças em plantas podem apresentar características muito similares entre si, quando investigadas somente com inspeção visual. Além disso, o uso de uma técnica de determinação direta pode contornar algumas possíveis limitações intrínsecas às técnicas convencionais, tais como etapas laboriosas de preparo de amostras, além de possibilitar o monitoramento de plantações de forma não destrutiva.

A análise de partes de uma planta (folhas, copa, entre outros) se tornou indubitavelmente uma alternativa para estudos de processos em plantas frente às adversidades climáticas ou proliferação de doenças. Entretanto, a necessidade de monitorar áreas de cultivo de forma simultânea proporcionou o desenvolvimento de outras técnicas de imagens.

Dentro deste contexto, pode ser citada a viabilidade de adquirir imagens hiperespectrais aéreas que tem se tornado uma alternativa excelente para estudos de doenças e pragas em plantações agrícolas.

Com o aperfeiçoamento e disponibilidade de monocromadores óticos para utilização em imagens hiperespectrais é possível alcançar várias faixas do espectro eletromagnético desde o UV-visível até o infravermelho próximo como exemplo, ou ainda a região do Raman.

A definição de imagem hiperespectral está ligada à de imagem multivariada. Em outras palavras, uma imagem multivariada típica pode ser descrita como um arranjo multidimensional com  $n$  linhas,  $m$  colunas e  $K$  variáveis [Liu & MacGregor, 2007]. Para fins didáticos, as variáveis serão neste caso comprimentos de onda do espectro eletromagnético. A diferença entre uma imagem multivariada e uma hiperespectral é que na última o número de variáveis é consideravelmente maior [Geladi *et al.*, 2004].

A origem do termo imagem hiperespectral está atrelada a sistemas para sensoriamento remoto. Nestes sistemas, as imagens podem ser obtidas utilizando câmeras acopladas a um transporte aéreo ou por meio de satélites.

A aquisição de imagens aéreas é possível com o desenvolvimento de sistemas de sensores remoto [Carvalho Júnior, *et al.*, 2005], onde para cada região do espectro eletromagnético é utilizado um sensor específico CCD (*Charge-Coupled Device*) ou CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), ou seja, tem-se um sensor para a região do verde, outro para a do infravermelho e assim sucessivamente.

A vantagem é que para cada *pixel* de uma imagem hiperespectral pode ser gerado um espectro. Esta propriedade viabiliza estudos de variações climáticas e de alterações na floração ou na frutificação em áreas de plantações, conforme a sazonalidade ou ocorrências de infestações por pragas e doenças.

### 2.3 A luz que vem do solo

O solo é um recurso natural formado como resultado da fragmentação e alteração química de rochas e pode ser considerado como recurso não renovável, devido ao longo tempo demandado para a sua formação.

Os integrantes básicos do solo são os minerais e a matéria orgânica. Os minerais resultam da composição original das rochas e muitos são utilizados como nutrientes por plantas e microorganismos que habitam o solo. A matéria orgânica é formada pela decomposição de restos de animais e vegetais. O processo de decomposição dos restos orgânicos, espontaneamente realizado pela ação de microorganismos, é denominado processo de humificação, pois dá origem às substâncias húmicas. Essa mistura heterogênea de componentes orgânicos e minerais é o meio no qual, raízes de plantas são fixadas e extraem nutrientes, água e oxigênio permitindo o seu desenvolvimento. Todavia, a disponibilidade dos nutrientes e água para o crescimento de plantas depende de diversos fatores. Por ser um sistema dinâmico o solo está sujeito a flutuações a curto prazo, tais como as variações nas condições de umidade, pH e condições redox, além de sofrer alterações graduais em resposta as mudanças de manejos e fatores ambientais. Essas mudanças nas propriedades do solo afetam a forma e a biodisponibilidade dos minerais, e precisam ser consideradas nas decisões de manejo [Alloway, 1995].

As condições de utilização do solo devem ser muito bem ponderadas, pois a degradação desse importante recurso natural pode trazer sérias consequências ambientais e sociais. O desgaste do solo tem sido verificado em diferentes situações, as quais são geralmente subsidiadas pela ação humana. Fenômenos como a erosão, a mineralização da matéria orgânica, redução da biodiversidade, a contaminação, a impermeabilização, a compactação e a agricultura em larga escala constituem sérias ameaças tanto para extinção do solo fértil como para a degradação ambiental, contribuindo inclusive para as mudanças climáticas globais.

A expansão da agricultura intensiva tem gerado níveis cada vez maiores de emissões de gases causadores do efeito estufa graças ao uso excessivo de fertilizantes, o desmatamento, a degradação do solo e a pecuária intensiva [Bellarby et al., 2008]. A contribuição total da agricultura mundial para as mudanças climáticas, é estimada em algo entre 8,5 bilhões e 16,5 bilhões de toneladas de dióxido de carbono incluindo desmatamento para plantações e outros usos [Lal et al., 1998]. Isso ocorre, porque as práticas agrícolas promovem um aumento na taxa de oxidação da matéria orgânica do solo, favorecendo as emissões de CO<sub>2</sub>. Em solos de clima temperado, metade do conteúdo inicial de carbono do solo é perdida em um intervalo de 50 a 100 anos de cultivo, sendo que em ambientes tropicais as perdas podem ser ainda maiores [Feller & Beare, 1997].

Outro importante ponto a ser ressaltado na degradação do solo é a contaminação por metais pesados, defensivos agrícolas e organismos patogênicos. Esse tipo de contaminação pode até certo limite ser remediada pelos microorganismos do solo, os quais são capazes de quebrar esses compostos em sub-compostos com características menos nocivas. Todavia, a presença de poluentes em quantidades que excedem a capacidade degradante dos microorganismos pode levar à consequências desastrosas. Elevadas quantidades de pesticidas, por exemplo, podem ultrapassar os limites da capacidade de armazenamento e de efeito tampão do solo, causando a danificação dessa função, a contaminação da cadeia alimentar, dos vários ecossistemas e recursos naturais e conseqüentemente por em risco a biodiversidade e a saúde humana. Assim, para tornar a agricultura uma prática sustentável é preciso priorizar não apenas a redução nas emissões dos gases do efeito estufa, mas também minimizar a deposição de poluentes no solo e

preferencialmente utilizar práticas de manejo que contribuam para a mitigação dos gases causadores do efeito estufa (Martin-Neto et al., 2004).

Recentemente muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de tornar a agricultura uma prática sustentável. Resultados de alguns desses estudos têm mostrado evidências de que determinadas técnicas de plantio direto, pastagens bem manejadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, podem reduzir drasticamente perdas de carbono, mantendo constantes os níveis de matéria orgânica dos solos, ou até mesmo aumentando-os [Ree et al., 2001]. Estudos direcionados à redução de emissão e a mitigação dos gases causadores do efeito estufa têm na matéria orgânica do solo um importante aliado. Conforme relatado por Lal e colaboradores (1998) aproximadamente 2,3 bilhões de toneladas de carbono são capturadas por ano na matéria orgânica do solo o que evidencia o importante papel do solo em termos de alterações climáticas globais.

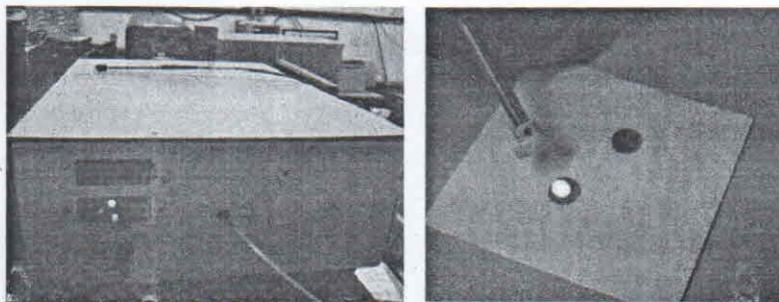
#### 2.4 Avaliação da estabilidade do Carbono no solo

As substâncias húmicas (SH), o maior reservatório de carbono orgânico na Terra, tem um papel importante na fertilidade e na estabilização de agregados do solo. Embora possuam um alto grau de resistência a biodegradação no solo, elas degradam, e o estado estacionário de síntese é atingido através de um decaimento característico, o qual depende do tipo de solo e da forma que é manejado (Hayes and Malcolm, 2001). Portanto, a estabilidade do carbono no solo pode ser estimada através da análise estrutural das substâncias húmicas no solo. Em ciência do solo esta estabilidade é denominada como grau de humificação do ácido húmico, o qual pode ser avaliado através de métodos espectroscópicos como ressonância magnética nuclear (NMR) (Gonzalez-Perez et al., 2008; Gonzalez-Perez et al., 2004), ressonância paramagnética eletrônica (EPR) (Martin-Neto et al., 1998; Martin-Neto et al., 2001; Gonzalez-Perez et al., 2006a; Gonzalez-Perez et al., 2004) e a espectroscopia de fluorescência (Zuniga et al., 2008; Rosa et al., 2005; Milori et al., 2002; Zsolnay et al., 1999; Kalbitz et al., 1999).

O ácido húmico é extraído da matéria orgânica do solo através de um complexo processo químico que leva aproximadamente 15 dias. Desta forma, a avaliação da estabilidade de carbono por estes métodos é lenta e não avalia a matéria orgânica como um todo. Visando atender a demanda por métodos mais rápidos e que possibilitassem a

análise do solo inteiro, a Embrapa Instrumentação Agropecuária através de seu Laboratório de Óptica e Lasers, desenvolveu um método utilizando a espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS) para avaliação do grau de humificação da matéria orgânica do solo (Milorí et al., 2001; Milorí et al., 2006). O equipamento desenvolvido em duas versões, de bancada e portátil, vem sendo utilizado por cientistas de solo tanto para análises de manejo de solo para fins agrícolas, quanto para estudos ambientais de seqüestro de carbono pelo solo visando mitigação de efeito estufa e controle de parâmetros que afetem as mudanças climáticas globais (Gonzalez-Perez et al., 2007; Gonzalez-Perez et al., 2006b Bayer et al., 2002).

Na figura 3 é mostrado uma foto do sistema portátil desenvolvido para avaliação da estabilidade do carbono no solo. Esse sistema é composto basicamente por uma fonte, um laser de emissão contínua em 405 nm, uma fibra óptica bifurcada e um espectrômetro. A radiação eletromagnética do laser é conduzida através de fibra óptica até a sonda, o que torna o sistema facilmente manuseável. O analista direciona a sonda sobre a amostra de solo (que na figura está ilustrada na forma de pastilha) e dessa forma provoca a excitação das substâncias húmicas. A fluorescência emitida é capturada pela sonda e conduzida para o espectrômetro. O sistema possui uma interface com um microcomputador para registro e visualização dos espectros de fluorescência.



**Figura 3.** Sistema portátil para avaliação da estabilidade de carbono no solo utilizando espectroscopia óptica de fluorescência.

### 2.5 Quantificação de nutrientes e carbono no solo

A determinação da fertilidade do solo através da análise dos macro e micro nutrientes em solos produtivos é de extrema importância para o agronegócio. A análise química do solo tem por finalidade determinar a quantidade de nutrientes que o solo será capaz de fornecer às plantas e qual o tipo e a quantidade de adubo que deverá ser aplicada para se ter um bom rendimento da cultura. A quantificação do carbono do solo é parâmetro que também está relacionado com a fertilidade do solo e é muito importante quando se fala em seqüestro de carbono.

Atualmente os métodos mais comumente utilizados tanto na determinação de carbono quanto na determinação de nutrientes são demorados e necessitam de um complexo processo de preparação de amostra que inviabilizam suas aplicações em campo. A geração de resíduos químicos de alta toxidez, característica de muitos desses métodos também é bastante preocupante, pois a disposição bastante complicada dos resíduos derruba totalmente a idéia de sustentabilidade do processo. Nesse contexto, métodos mais eficientes de quantificação são necessários para oferecer melhores estimativas nutricionais e de carbono do solo. Inventários mais aperfeiçoados de carbono, por exemplo, podem exigir mais medições e por isso devem ser economicamente viáveis, limpos e rápidos.

A espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS, do inglês Laser Induced Breakdown Spectroscopy) é uma alternativa que tem demonstrado grande potencial. Esta técnica espectroanalítica utiliza um plasma gerado por pulsos de laser de alta energia para preparar a amostra e excitar os analitos em um único passo (Santos Jr et al., 2006). Essa técnica tem possibilitado medidas qualitativas, e em alguns casos quantitativas, de nutrientes, metais pesados e de carbono em amostras de solos [Pasquini et al., 2007, Bousquet et al., 2007, Wainner et al., 2001, Cremers et al., 2001, Silva et al., 2008, Ferreira et al., 2008].

Um sistema LIBS é composto basicamente por um laser pulsado, um conjunto de lentes para colimar o pulso do laser e a emissão óptica vinda do plasma, fibra óptica para conduzir a radiação emitida para o espectrômetro, uma unidade de detecção composta por

um elemento difrator e um detector e uma unidade para controle e processamento dos dados (Figura 4).

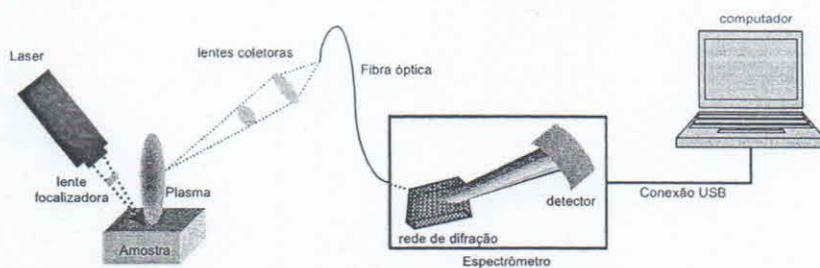


Figura 4. Esquema de um sistema LIBS

Ao ser irradiada pelo pulso do laser de alta energia, parte da superfície de uma amostra sólida é removida. A porção removida gera instantaneamente um plasma com temperaturas bastante elevadas (entre 10.000 e 20.000 K). Como resultado da ação da temperatura o material removido é fragmentado, dando origem à espécies atômicas e iônicas excitadas [Giakoumaki et al., 2007]. Durante o início de sua formação, o plasma emite uma radiação contínua, a qual não contém informação útil acerca das espécies presentes [Miziolek et al., 2006]. Contudo, dentro de um curto espaço de tempo, normalmente  $10^{-6}$  s, o plasma expande e esfria e nesse ponto podem ser observadas as linhas de emissão atômicas e iônicas características das espécies presentes na amostra.

Devido à suas características analíticas exclusivas, LIBS é apontada como uma técnica com potencial promissor, especialmente para as análises diretas e *in situ*. LIBS tem provado capacidade de detecção simultânea de muitos elementos de interesse ambiental. A possibilidade de determinação direta implica na redução da complexidade da análise e eliminação da possibilidade de perda da amostra ou contaminação cruzada durante o transporte ou complicados métodos de preparo para análise em laboratório e principalmente elimina a geração de resíduos tóxicos.

No que diz respeito à quantificação de carbono do solo, resultados da literatura [Cremers et al., 2001, Silva et al., 2008] mostram a viabilidade da técnica tanto em solos de clima temperado quanto em solos de clima tropical. Portanto, sistemas LIBS portáteis

possivelmente deverão ser ferramentas muito utilizadas em agricultura de precisão e levantamento de inventários de carbono do solo.

#### 2.6. Quantificação de contaminantes no solo

Práticas de manejo associadas à utilização de efluente de esgoto para irrigação agrícola e até mesmo a utilização de lodo de esgoto para fertilização do solo, em substituição aos fertilizantes comerciais, também têm sido alvo de estudos para a sustentabilidade agrícola. Todavia, a aplicação dessas propostas ainda precisa ser bem explorada, a fim de que a remediação da problemática de um lado, não conduza à conseqüências desastrosas do outro. A utilização de águas residuárias, por exemplo, pode solucionar o problema de economia de água, mas por outro lado pode introduzir metais pesados e organismos patogênicos no solo [Darwish et al., 1999, Yadav et al., 2002; Wang et al., 2003]. Assim, também para os estudos relacionados à determinação de contaminantes no solo destaca-se a importância da utilização de técnicas analíticas rápidas e limpas, capazes de responder de modo eficiente quando determinado tratamento aplicado ao solo contribui de fato para tornar a agricultura uma prática sustentável. Nesse contexto, a técnica LIBS também se destaca como ferramenta bastante atrativa, devido ao seu potencial para determinação elementar direta. A determinação dos contaminantes inorgânicos em amostras de solos já têm sido alvo de estudos utilizando a técnica LIBS e resultados promissores já tem sido obtidos [Wainner et al., 2001, Bousquet et al., 2007].

A contaminação do solo por defensivos agrícolas e organismos patogênicos também é bastante preocupante. Atualmente a determinação desse tipo de composto orgânico envolve a aplicação de técnicas de separação, tal cromatografia e eletroforese, que apesar da grande eficiência, também necessitam de etapas de preparo de amostras e geram resíduos químicos. Apesar de ser bastante estudada para a determinação da composição mineral de diferentes amostras, diversos grupos têm explorado o potencial de LIBS para detecção de materiais orgânicos e biomateriais, tais como: plásticos, minas terrestres e explosivos, substâncias tóxicas e bactérias [Anzano et al., 2000, Harmon et al., 2006, Lopez-Moreno et al., 2006, Portnov et al., 2006, DeLucia Jr. et al., 2005, Samuels et al., 2003, Baudeiet et al., 2006]. Para o propósito de análise de orgânicos e biomateriais

são utilizadas linhas de emissão de elementos que constituem a base da maioria dos materiais orgânicos: C, P, H, O e N [DeLucia Jr. et al., 2005]. Uma vez que esses elementos são onipresentes em muitas moléculas orgânicas, uma estratégia eficiente para detecção e discriminação entre os materiais orgânicos é baseada na determinação de razões entre as intensidades das linhas de emissão como, por exemplo, O/C, N/C, ou O/N. Também tem sido demonstrado que para o caso de materiais biológicas, certo número de fragmentos moleculares diatômicos tais como  $C_2$  ou CN podem estabelecer parâmetros para especiação [Baudelet et al., 2007].

Assim, além de poder atuar para determinação de carbono, nutrientes minerais e contaminantes inorgânicos (metais pesados), a técnica LIBS pode também ser aplicada na determinação de contaminantes orgânicos, tais como: defensivos agrícolas e os microorganismos patogênicos. Essas potencialidades aliadas à possibilidade de determinação direta, rápida e *in situ* colocam LIBS em um patamar privilegiado comparado com as técnicas convencionais, as quais vêm sendo utilizadas para os propósitos de monitoramento ambiental. Na figura 5 é mostrado o plasma formado na superfície de uma pastilha de solo ao ser atingida por um pulso de uma laser de Nd:YAG (comprimento de onda = 1064 nm, infravermelho) num sistema LIBS de bancada.

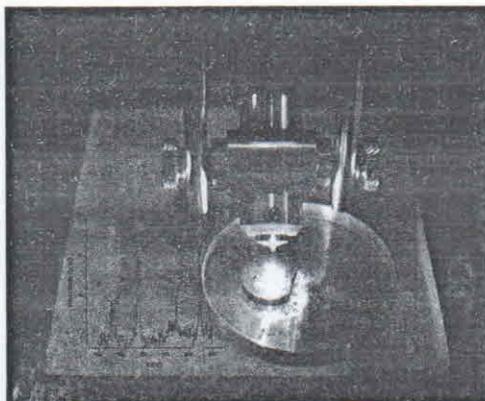
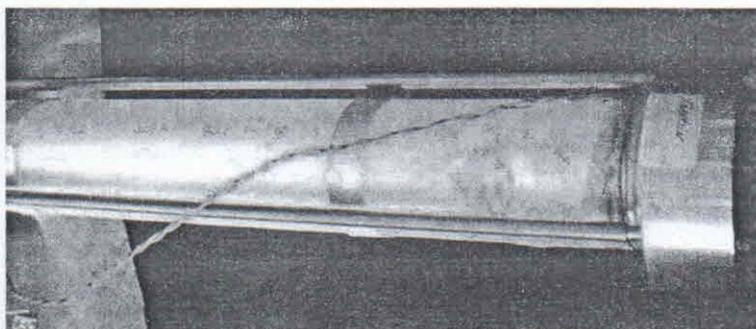


Figura 5. Sistema LIBS de bancada e pastilha de solo: determinação de carbono, nutrientes e contaminantes.

### 2.7 Fotodegradação de Agroquímicos

A rápida evolução das sociedades nos últimos dois séculos tem gerado sérios problemas de contaminação ambiental, principalmente em relação à água potável, o que tende a se tornar um fator limitante para a qualidade de vida no planeta. Atualmente, pesticidas, fertilizantes e resíduos químicos são considerados agentes de preocupação uma vez que são a segunda maior fonte de contaminação na água potável nos países em desenvolvimento (Lagaly, 2001). Raramente causam manifestação rápida de doenças, mas apresentam um efeito acumulativo no organismo humano. As conseqüências sobre os seres humanos expostos a pequenas doses desses poluentes, por grandes períodos de tempo, ainda são desconhecidos (Biradar e Rayburn, 1995; Paoline et al., 2004). Tratamentos convencionais, como cloração e filtração, são ineficazes para este tipo de resíduos e pode gerar subprodutos que necessitam de tratamento posterior com os custos adicionais (Kolpin et al., 1998). Vários métodos alternativos têm sido propostos para resolver o problema e especial atenção tem sido dada à utilização de luz ultravioleta para quebrar ligações químicas e de promover a mineralização dos resíduos (Texier et al., 1999). Este é um método não-seletivo que permite o uso luz solar para resolver os problemas ambientais. No entanto, a radiação solar que atinge a superfície da Terra é limitada a comprimentos de onda acima de 290 nm e geralmente não podem promover fotólise direta dos agroquímicos. A ajuda de alguns fotocatalisadores, que absorvem a radiação incidente e promovem a fotólise de resíduos por via indireta (Texier et al., 1999; Malato et al., 2000) tornam-se necessários. O fotocatalisador mais comumente utilizado é dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) - um semicondutor que absorve a luz UV-visível gerando pares transportadores de carga na solução que podem iniciar reações redox e gerar radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) (Hoffmann et al., 1995). Esses radicais poderiam ser os principais agentes responsáveis para atacar moléculas de pesticidas (Nogueira e Jardim, 1996; Palm et al., 2003) em fotocátalise por  $\text{TiO}_2$ . As substâncias húmicas (SH), a parte mais recalcitrante da matéria orgânica, também podem exibir efeito fotocatalítico em resíduos de pesticidas em meio aquoso (Garbin et al., 2007; Minero et al., 1992; Kamiya e Kameyama, 1998).

A associação adequada de  $\text{TiO}_2$  e SH no processo de fotodegradação de pesticidas é um sistema eficiente e economicamente viável que pode ter grande aplicação no tratamento de águas contaminadas por atividades agrícolas, como lavagens de frutas e de materiais utilizados na aplicação de pesticidas (Martin-Neto et al., 2005). Através de um acordo com a prefeitura Municipal de São Carlos, uma unidade piloto do fotoreator desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (Figura 6) foi instalado no entreposto da CEAGESP do município para a lavagem de frutas. Sistemas similares devem ser replicados para grandes produtores e o resultado não apenas implica num sistema agrícola ambientalmente sustentável, como também resulta em economia financeira considerando a possibilidade de reuso da água para a mesma atividade.



**Figura 6.** Fotoreator para tratamento de água contaminada com pesticidas desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (Garbin et al., 2004)

### 3. Tendências de aplicação da Óptica e Fotônica na Agropecuária

As oportunidades e os desafios para o agronegócio no Brasil são enormes. A função primordial da agropecuária de produção de alimentos e fibras – produtos essenciais em demandas crescentes devido ao aumento da população no Mundo – é ampliada para produzir combustíveis renováveis (etanol e biodiesel) e biomateriais (como substituintes dos derivados do petróleo). Naturalmente os incrementos pretendidos devem ser realizados em condições de sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo

uma sintonização com questões de mudanças climáticas globais e, portanto são imensos os desafios para a pesquisa, desenvolvimento e inovação no agronegócio.

Dentro deste contexto a incorporação de métodos e ferramentas da óptica e fotônica estão entre as áreas de grande perspectiva para respaldar o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro e também internacional. Como exemplos de tecnologias a serem desenvolvidas e disponibilizadas estão:

1- Desenvolvimento de sistema portátil, para uso em campo, baseados em sistemas ópticos e fotônica para monitoramento do conteúdo de carbono (e por sua vez da matéria orgânica) em solos sob diferentes manejos agrícolas. Com este equipamento análises mais rápidas e com menores custos permitiriam ampliar a base de dados do conteúdo de carbono, viabilizando a utilização da agricultura de precisão, que necessita de elevada quantidade de medidas georeferenciadas, bem como pode ser dado fundamental para comprovação de áreas com sequestro de carbono no solo, com possibilidade de mitigar o aumento do efeito estufa e render créditos de carbono para os produtores rurais. Trata-se de área promissora e que o Brasil deve se empenhar para assegurar uma certificação de seus sistemas de produção agropecuária, com grande interesse e impacto para todo o setor e para assegurar mercados para exportação;

2- Desenvolvimento de equipamento para análises multielementares, baseado, por exemplo, em "laser-induced breakdown spectroscopy- LIBS", como determinação de nutrientes de plantas, íons metálicos com potencial poluidor ou não, e moléculas orgânicas naturais ou antropogênicas, em solos, plantas, produtos do agronegócio, como grãos, leite, carnes, sucos e outros, viabilizando um sistema de controle e certificação de produtos e de sistemas de produção. Resultados preliminares obtidos no Laboratório de Óptica e Fotônica, da Embrapa Instrumentação Agropecuária, indicam o potencial promissor da LIBS no agronegócio;

3- Utilização e desenvolvimento de equipamentos utilizando lasers para determinação de gases do efeito estufa, principalmente os produzidos no setor da pecuária. Atualmente o Brasil tem o maior rebanho bovino comercial do Planeta, com em torno de 200 milhões de animais e, portanto a busca de alternativas para diminuir e/ou mitigar as emissões desta atividade é um tema importante da agenda agropecuária brasileira;

4- Desenvolvimento de sensores e sistemas ópticos e baseados em fotônica para monitoramento "in situ" de contaminantes em sistemas hídricos naturais e em processos de tratamento de água. A utilização intensiva dos recursos naturais, como a água, nos sistemas produtivos agrícolas e agroindustriais já é uma realidade e, portanto o monitoramento sistemático da qualidade da água será decisivo para seu uso adequado e certificação dos sistemas produtivos.

5- Utilização e desenvolvimento de sistemas de imagens baseados em óptica e fotônica para análises de solos, plantas, microorganismos e constituintes moleculares. As possibilidades de obtenção de imagens de fluorescência de paredes celulares de plantas e resíduos agrícolas com vistas à avaliação e identificação de melhorias da eficiência de conversão ligno-celulósica para biocombustíveis é uma agenda estratégica e muito atual do agronegócio brasileiro. Também os métodos de imagens deverão trazer avanços nos estudos de dinâmica de carbono no solo, na identificação precoce de doenças de diferentes culturas, nas análises de sistemas moleculares, como DNA e outros.

6 - A nanofotônica, definida pela fusão da nanotecnologia e fotônica, constitui uma das mais promissoras fronteiras da ciência dando origem a desafios em pesquisa fundamental e aplicada. Esta nova ciência visa lidar com interações entre luz e matéria em regiões de escala menor que o próprio comprimento de onda. Na agricultura a liberação controlada de pesticidas e fertilizantes ligados à nanoestruturas ativas em relação à luz é uma área com grande potencial.

#### 4. O Esforço Científico Traduzido em Resultado Prático: a Criação de Novas Empresas de Base Tecnológica pela Transferência de Tecnologia

Todo o esforço de pesquisa tem como objetivo aumentar o acervo de conhecimento científico sobre determinada área. Além disso, e de forma direta, tem também como objetivo prover a sociedade com melhores soluções para os seus problemas na área, aumentando de forma direta e indireta a sua qualidade de vida e bem-estar.

Assim, além da pesquisa ter o objetivo nobre de propiciar o avanço dos conhecimentos sobre determinada área científica é importante que o seu resultado seja traduzido em tecnologias, produtos e serviços que possam diretamente agregar valor econômico à sociedade e realimentar o próprio processo de pesquisa. Esse processo se traduz na criação de um ciclo contínuo e virtuoso de aceleração do conhecimento e ao mesmo tempo de geração de produtos e serviços que Perussi (2006) denomina de Ciclo Virtuoso da Inovação (Figura 7).

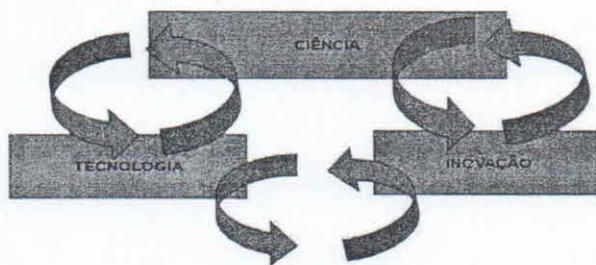


Figura 7 - Ciclo Virtuoso da Inovação  
Fonte: PERUSSI (2006)

Nesse ciclo, a ciência contribui com o conhecimento do homem sobre a natureza, a tecnologia com os meios para a realização do trabalho de forma mais racional e produtiva, fundamentada em descobertas científicas ou mesmo por experimentações sem base científica e, não tão raro, por situações fortuitas, e a inovação ao traduzir essa tecnologia em produtos e serviços que irão impactar de forma marcante a vida das pessoas.

Como pode ser observado, esse ciclo não tem um elemento que inicia o processo e nem um que o finaliza. Nos primórdios da humanidade, a tecnologia, ou seja, os meios que o homem viabilizou para facilitar o seu trabalho alimentaram de forma vigorosa a inovação e a própria atividade científica. A criação da enxada e de outras ferramentas milenares não foi motivada por descobertas "científicas" na acepção que temos hoje dessa palavra. A criação dos telescópios (uma inovação tecnológica) foi fundamental para que Galilei Galilei e Copérnico, no século XVI, pudessem criar as bases científicas para provar que vivemos em um mundo heliocêntrico e não geocêntrico, dando uma guinada marcante na concepção de mundo, com reflexos importantes na sociedade. Entretanto, nos tempos atuais, cada vez mais o desenvolvimento tecnológico e as inovações, percebidas em produtos e serviços com valor comercial, são dependentes do conhecimento científico e, mais do que no passado, no tratamento científico de entidades cada vez mais abstratas, os denominados níveis moleculares e atômicos da matéria. Assim, para criar produtos inovadores para o mundo moderno não basta usar a natureza na sua forma bruta e sim transformá-la e adequá-la para as novas condições de exigências da humanidade, atentando para as condições e restrições impostas pelo próprio planeta.

Nesse ciclo virtuoso observa-se também que dois de seus elementos são altamente demandantes de recursos: a ciência e a tecnologia. Já o terceiro, a inovação, ou seja, a tradução dos conhecimentos científicos e tecnológicos em produtos e serviços finais, pode ser altamente gerador de recursos econômicos. Assim, mesmo do ponto de vista econômico esse ciclo tem a sua virtuosidade. Os recursos investidos em atividades de ciência e tecnologia só terão seu fluxo continuado se os esforços dessas atividades resultarem em valor econômico representado pelos produtos e serviços disponibilizados à sociedade (pessoas e empresas/instituições). Se os recursos econômicos aplicados em atividades de ciência e tecnologia são de interesse privado, a sua rentabilidade tende a ser viabilizada pelo lucro obtido pela venda de produtos do mercado. Se aplicados pelos governos: o retorno se dá através de impostos arrecadados pela comercialização dos produtos e serviços e, além disso, pela formação de pesquisadores, professores e profissionais das ciências, tudo objetivando, ao seu final, a melhora das condições de vida e bem-estar das pessoas. De outra forma, é também possível se obter resultados (valor econômico) mesmo das atividades científicas e tecnológicas, quando essas se traduzem

em patentes e são transferidas, via transferência definitiva por venda ou licenciamento para empresas que irão explorá-las por meio de lançamentos de novos produtos/serviços no mercado.

#### 4.1.A transferência dos resultados da pesquisa

Para uma instituição que tem na pesquisa um de seus principais objetivos, seja ela uma universidade ou instituto de pesquisa, entre outras, o resultado dos esforços de pesquisa podem ser traduzidos em valor econômico ao serem transferidos para empresas ou empreendedores interessados em sua exploração, já que essas instituições não têm como objetivo a comercialização pura e simples de produtos no mercado, uma vez que seus focos estratégicos são a criação de conhecimento, geração de tecnologias e a sua transferência para o setor público ou privado.

Na Embrapa Instrumentação Agropecuária, empresa brasileira (pública) de pesquisa aplicada, onde a óptica e a fotônica tem sido empregada na busca de soluções para os problemas (ou exploração de oportunidades) da agropecuária, a transferência de tecnologia tem sido viabilizada por meio de uma estratégia que contempla três possibilidades que dependem do objetivo inicial e/ou da evolução de cada uma das pesquisas realizadas e/ou das oportunidades que se apresentam para a negociação da transferência. São elas: a) Transferência tradicional – são as transferências realizadas diretamente à empresas interessadas pelas tecnologias, em processo público de negociação via edital público de transferência de tecnologia; b) Transferências à parceiros de P&D - transferências realizadas à empresas parceiras de atividades de P&D; c) Transferência para Novas Empresas de Base Tecnológica (Novas EBTs) - transferências realizadas à empresas que serão criadas para explorar a tecnologia no mercado e que são criadas à partir da tecnologia transferida, em processo público de negociação, via edital público de transferência de tecnologia. A Figura 8 mostra de forma esquemática estas possibilidades.



Figura 8. Modos de Transferência de Tecnologias na Embrapa Instrumentação Agropecuária

O primeiro modo de transferência, a Transferência Tradicional se dá quando uma tecnologia esta madura para ser transferida e um edital publico é lançado para selecionar empresas interessadas em sua aquisição ou licenciamento. Trata-se portanto de um processo negocial que aqui é denominado de tradicional por contemplar aspectos típicos de compra e venda de tecnologia, premiando, quando concretizada, o esforço de pesquisa realizado pela instituição com o pagamento de valor relativo a aquisição e/ou royalties pela sua exploração comercial.

O segundo modo, a transferência aqui denominada de Transferência a Parceiros de P&D acontece quando, por força de projetos de desenvolvimento conjunto de P&D, negociados antecipadamente entre a empresa e parceiros, o parceiro adquire o direito de se credenciar como o primeiro a se candidatar a receber a tecnologia em transferência, uma vez que a própria patente gerada pela tecnologia é também de sua co-autoria. Esses são os casos de geração de tecnologia envolvidos com os projetos vinculados à denominada Rede Brasil de Tecnologia (RBT), um programa de apoio à pesquisa do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) que contempla atividades de P&D conjuntas entre a Embrapa e empresas parceiras.

O terceiro modo de transferência de tecnologia que tem sido usada pela Embrapa Instrumentação Agropecuária é o denominado Transferência às Novas EBTs. Nessa abordagem, a empresa disponibiliza tecnologias desenvolvidas pela sua equipe de pesquisadores, por meio de edital publico, aos empreendedores que se comprometam a

criar uma nova empresa de base tecnológica para explorar a tecnologia objeto de transferência, no mercado. Essa opção tem sido praticada no âmbito do Programa PROETA (Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Novas Empresas de Base Tecnológica Agropecuária e à Transferência de Tecnologia), que é um programa que tem o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID/FUMIN).

#### 4.2 Criando empresas de base tecnológica

Um exemplo de empresa que foi criada (uma Nova EBTs) em função de tecnologia desenvolvida pela área de Óptica e Fotônica da Embrapa Instrumentação Agropecuária é a empresa Natureza Ativa - Indústria, Comércio, Preservação e Saneamento Ltda, que adquiriu a tecnologia denominada "Foto-reator para Tratamento de Resíduos de Pesticidas em Água", no âmbito do Programa PROETA, a parceria já citada entre a Embrapa e o BID para criação de novas empresas de base tecnológica agropecuária (Figura 9).



Figura 9. Esquema prático do Foto-reator para Tratamento de Pesticidas em Água.

O equipamento é um foto-reator de pequenas dimensões, baixo custo e fácil manutenção, para ser usado no tratamento de resíduos químicos presentes em água, normalmente de descarte, originadas em laboratórios de pesquisas e pequenas empresas. O sistema permite, ainda, uma rápida adaptação para que se faça o tratamento de grandes quantidades de água contendo resíduos de pesticidas, pois pode ser instalado diretamente

no reservatório de água do cliente e todos os produtos utilizados em sua fabricação são de fácil aquisição e em diversas dimensões.

O equipamento constitui-se, basicamente, de uma câmara cilíndrica feita em aço inoxidável, com diâmetro de 4 polegadas e aproximadamente 45cm de comprimento, e hermeticamente fechada por flanges de alumínio, por onde circula a solução a ser tratada. Dentro da câmara são instaladas, e simetricamente distribuídas, três lâmpadas capazes de gerar radiação na faixa do Ultravioleta - visível (250 – 480 nm). Ao ser inserida nesta câmara, a solução passa a ser bombardeada com radiação o que leva à foto-degradação dos resíduos de pesticidas presentes. Fora da câmara, um reservatório com capacidade de 10L abastece o sistema e uma pequena bomba d'água faz com que a solução circule pelo sistema foto-reator – reservatório numa vazão de até 50 L/h. O fluxo de solução através do foto-reator se dá de forma ascendente, evitando que se formem espaços vazios no interior da câmara e gerando um turbilhonamento na solução de forma que ela mantenha-se o mais homogênea possível. A intensidade do fluxo é controlada por um registro localizado na flange inferior, cuja função é criar um fluxo de retorno ao reservatório e o monitoramento da eficiência do tratamento pode ser feito em tempo real com a ajuda de sensores ou através da análise de alíquotas coletadas periodicamente. Para aperfeiçoar o processo, a parte interna do cilindro do foto-reator permite que seja depositada sobre ela uma camada de um agente foto-catalisador, como o Dióxido de Titânio. Neste caso, é possível também promover a aeração da solução a ser tratada fornecendo oxigênio ao processo de foto-catálise.

O benefício dessa tecnologia é que a radiação ultravioleta tem energia para quebrar sucessivamente as ligações químicas das moléculas de pesticidas, transformando o resíduo inicial em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, ao contrário dos métodos tradicionais (cloração e filtração) que geram subprodutos e são, em geral, ineficientes para resíduos de pesticidas. Além disso, é um equipamento compacto, silencioso e que não gera resíduos, de baixo valor de investimento e que pode ser utilizado por 24 horas por dia.

O mercado potencial dessa tecnologia são as empresas de reciclagem de embalagens de defensivos agrícolas, laboratórios de pesquisas, públicos e privados, cooperativas agrícolas, packing-houses (lava, seleciona e embala frutas, verduras e legumes) e departamentos municipais e estaduais de tratamento de água e esgotos

Essa ação da Embrapa na criação de mais uma nova empresa de base tecnológica na cidade de São Carlos, reforça o papel importante das Instituições de Pesquisa locais na disponibilização dos resultados de seus esforços de pesquisa na dinamização da atividade empreendedora.

O processo de seleção do empreendedor que adquiriu a tecnologia (juntamente com mais três tecnologias disponibilizadas à época para transferência) foi realizado através de edital público de seleção de empreendedor interessados nas tecnologias, o qual contou com diversas etapas: seleção das tecnologias passíveis de transferência por um comitê ad-hoc; divulgação do edital de seleção de empreendedores, com exigências prévias de qualificação; curso de plano de negócio obrigatório aos empreendedores selecionados; apresentação de planos de negócio para explorar a tecnologia por parte dos empreendedores selecionados; avaliação dos planos de negócios por comitê ad-hoc; entrevista com os empreendedores; e, classificação final dos empreendedores.

Após a transferência da tecnologia para cada um dos selecionados, foi assinado um contrato no qual o empreendedor pagou no ato o valor monetário definido pelo edital para a aquisição da tecnologia, além de ter assumido o compromisso de criar a empresa e de, num período definido, iniciar a comercialização do produto no mercado, sob a pena de ter que devolver a tecnologia transferida à Embrapa. Todo esse processo contou com a assessoria da Embrapa, através de consultor contratado para esse fim dentro dos requisitos do Programa PROETA.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As oportunidades e os desafios para os cientistas que trabalham em temas relacionados com a agricultura são grandes. A função primordial da agricultura de produção de alimentos e fibras – produtos essenciais em demandas crescentes devido ao aumento da população no Mundo – é ampliada para produzir combustíveis renováveis (etanol e biodiesel) e biomateriais (como substituintes dos derivados do petróleo). O grande desafio para o século 21 é o aumento de produtividade com sustentabilidade. Isto somente poderá ser realizado com a união de várias áreas da ciência focadas em problemas do setor. A incorporação de tecnologias e inovação na cadeia produtiva do agronegócio possibilitará um grande salto do setor tanto na produção de alimentos quanto

para a produção de fibras, fármacos, novos materiais e energia. A produção sustentável destes itens, entretanto somente poderá ser viabilizada através de estudos a respeito de impactos ambientais, formas de minimizá-los e soluções alternativas de produção. Neste ponto, a pesquisa para o setor ambiental e agrícola passa a ser primordial e estratégica para o país.

Finalmente, é importante destacar a importância do Pólo Tecnológico de São Carlos como um fator também favorável ao desenvolvimento de aplicações da Óptica e Fotônica para o agronegócio e meio-ambiente.

Como visto, foi em São Carlos que surgiram de forma pioneira esforços de trabalho científico de aplicação da Óptica e Fotônica para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o agronegócio brasileiro e que já geram resultados práticos, ou seja, a transferência de tecnologias via criação de novas empresas de base tecnológica. Assim, ao mesmo tempo em que resultados científicos são obtidos, empresas são criadas, gerando soluções para a agricultura e meio-ambiente brasileiros, a criação de valor econômico pela inovação e a geração de empregos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B. J. Heavy metals in soil. 1995
- Anzano, J. M., Gornushkin, I. B., Smith, B. W. & Winefordner, J. D. 2000. Laser-induced breakdown spectroscopy for plastic identification. *Polym. Eng. Sci.*, **40**, 2423–2429.
- Baudelet, M., Boueri, M., Yu, J., Mao, S. S., Piscitelli, V., Mao, X. & Russo, R. E. 2007. Time-resolved ultraviolet laser-induced breakdown spectroscopy for organic material analysis. *Spectrochimica Acta Part B*, **62**, 1329–1334.
- Baudelet, M., Guyon, L., Yu, J., Wolf, J. P., Amodeo, T., Fréjafon, E. & Laloi, P. 2006. Spectral signature of native CN bonds for bacterium detection and identification using femtosecond laser induced breakdown spectroscopy. *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 063901.
- Bayer, Cimélio, Martin Neto, Ladislau, Mielniczuk, João, Saab, Sérgio Costa, Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, V.S. Bagnato. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies". *Geoderma* (Amsterdam), v.105, p.81 - 92, 2002.
- Bellarby, Jéssica; Foereid, Bente; Hastings, Astley e Smith, Pete. Relatório publicado em janeiro de 2008 pelo Greenpeace Internacional.
- Biradar, D. P., Rayburn, L. A., 1995, Chromosomal Damage-Induced by Herbicide Contamination at Concentrations Observed in Public Waters. *J. Environ. Qual.*, **24**, 1222–1225.
- Bousquet, B.; Sirven, J.-B.; Canioni, L. Towards quantitative laser-induced breakdown spectroscopy analysis of soil samples, *Spectrochimica Acta Part B* 62 (2007) 1582–1589.
- Cremers, David A., Ebinger, Michael H., Breshears, David D., Unkefer, Pat J., Kammerdiener, Susan A., Ferris, Monty J., Catlett, Kathryn M., and Brown, Joel R., Measuring Total Soil Carbon with Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), *Environ. Qual.* 30:2202–2206 (2001).
- Da Silva, R., Milori, D., Ferreira, E., Ferreira, E., Krug, F., Martinetto, L. Total carbon measurement in whole tropical soil sample. *Spectrochimica Acta. Part B, Atomic Spectroscopy*, v.63, p.1221 - 1224, 2008.
- Darwish, M. R., El-Awar, F. A., Sharara, M. & Hamdar, B., *Appl. Eng. Agric.*, **15** (1999) 41.
- Delucia Jr., F. C., Samuel's, A. C., Harmon, R. S., Walters, R. A., Mcnesby, K. L., Lapointe, A., Winkel Jr., R. J. & Miziolek, A. W. 2005. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): A Promising Versatile Chemical Sensor Technology for Hazardous Material Detection. *IEEE Sensors Journal*, **5**, 681–689.
- Favoretto, Célia M, Goncalves, D., Milori, D. M. B. P., Rosa, Jadir Aparecido, Leite, W. C., Brinatti, André Mauricio, Saab, Sérgio Costa. Determinação da humificação matéria orgânica de um latossolo e suas frações organo-minerais. *Química Nova*, v.31, p.1994 - 1996, 2008.

- Feller, C.; Beare, M. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v. 79, p. 69-116, 1997
- Ferreira, E, Milori, D, Ferreira, E, Da Silva, R, Martin-Neto, L. Artificial neural network for Cu quantitative determination in soil using a portable laser induced breakdown spectroscopy system. *Spectrochimica Acta. Part B, Atomic Spectroscopy*, v.63, p.1216 - 1220, 2008.
- Garbin, J. R., Milori, D. M. B. P., Simões, M L, Silva, W T L Da, Martin Neto, L. Influence of humic substances on the photolysis of aqueous pesticide residues. *Chemosphere (Oxford)*, v.66, p.1692 - 1698, 2007.
- Garbin, José Roberto. 2004. "Estudos espectroscópicos da fotólise de pesticidas em água na presença de substâncias húmicas". Tese (Doutorado em Física Aplicada) - Universidade de São Paulo.
- Giakoumaki, A., Melessanaki, K., and Anglos, D. *Analytical & Bioanalytical Chemistry* 387, 749 (2007).
- González-Pérez, M, Martin Neto, Ladislau, Saab, Sérgio Costa, Novotny, Etevlino H., Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Bagnato, V S, Colnago, Luiz A., Melo, W J, Knicker, H. Characterization of humic acids from a Brazilian oxisol under different tillage systems by EPR, <sup>13</sup>C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma (Amsterdam)*, v.118, p.181 - 190, 2004.
- Gonzalez-Perez, M., Martin-Neto, Ladislau, Colnago, Luiz A., Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Camargo, Otávio A., Berton, Ronaldo, Bettiol, Wagner. Characterization of humic acids extrated from sewage sludge-amended oxisols by electron paramagnetic resonance. *Soil & Tillage Research*, v.91, p.95 - 100, 2006.
- Gonzalez-Perez, M., Milori, D. M. B. P., Colnago, Luiz A., Martin Neto, L, Melo, W J. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Geoderma (Amsterdam)*, v.138, p.20 - 24, 2007.
- González-Pérez, M., Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Martin Neto, Ladislau, Colnago, Luiz A., Camargo, Otávio A., Berton, Ronaldo, Bettiol, Wagner. Laser-induced fluorescence of organic matter from a Brazilian oxisol under sewage-sludge applications. *Scientia Agricola*, v.63, p.269 - 275, 2006.
- Gonzalez-Perez, M., Vidaltorradó, P, Colnago, L, Martin-Neto, L, Otero, X, Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Gomes, F. <sup>13</sup>C NMR and FTIR spectroscopy characterization of humic acids in spodosols under tropical rain forest in southeastern Brazil. *Geoderma (Amsterdam)*, p.425 - 2008.
- Harmon, R. S., Delucia Jr, F., Lapointe, A., Winkel Jr., R. J. & Miziolek, A. W. 2006 LIBS for landmine detection and discrimination. *Anal. Bioanal. Chem.*, 385, 1140-1148.
- Kalbitz, K.; Geyer, W.; Geyer, S., 1999. Spectroscopic properties of dissolved humic substances – a reflection of land use history in a fen area. *Biogeochemistry* 47:219-238.
- Kamiya, M., Kameyama, K., 1998, Photochemical Effects of Humic Substances on the Degradation of Organophosphorus Pesticides. *Chemosphere* 36, 10, 2337-2344.

- Kolpin, D.W., Thurman, E.M., Linhart, S.M., 1998, The Environmental Occurrence of Herbicides: the Importance of Degradates in Ground Water. *Environ. Contamin. Toxicol.* 35, 385-390.
- Lagaly, G., 2001, Pesticide-clay interactions and formulations, *Applied Clay Sci.* 18, 205-209.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart (eds). 1998. Management of Carbon Sequestration in Soils. CRC, Boca Raton, FL, 457 pp.
- Lopez-Moreno, C., Palanco, S., Laserna, J. J., Delucia Jr., F., Miziolek, A., Rose, J., Walter, R. A. & Andrew I. 2006. Whitehouse, Test of stand-off laser-induced breakdown spectroscopy sensor for the detection of explosive residual on solid surface. *J. Anal. At. Spectrom.*, 21, 55-60.
- Malato, S., Blanco, J., Richter, C., Fernández, P., Maldonado, M. I., 2000, Solar Photocatalytic Mineralization of Commercial Pesticides: Oxamyl. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 64, 1-14.
- Martin-Neto, L. ; Milori, D M B P ; Oste, R. ; Garbin, J R . 2005. Câmara de fotocatalise para tratamento de solução contendo contaminantes. Patente MU8502154-7.
- Martin-Neto, L. ; Milori, D M B P ; Silva, W T L da . Humic substances and soil water environment - IHSS 2004. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 763 p.
- Martin-Neto, L. ; Traghetta, D. G ; Vaz, C.M.P. ; Crestana, S.; Sposito, G. 2001. On the interaction mechanisms of atrazine and hydroxyatrazine with humic substances. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 520-525.
- Martin-Neto, L. ; Rossel, R. ; Sposito, G. 1998. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. *Geoderma*, Amsterdam, v. 81, n. 3/4, p. 305-311.
- Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira; Zaghi, Ana Flávia; Venâncio, André Leonardo; Ferreira, Ednaldo José; Martin-Neto, Ladislau. "Method and equipment for diagnoses of citrus diseases". Pedido de patente submetido ao INPI (Nº 0000220505446402) em dezembro de 2008.
- Milori, D. M. B. P., Galeti, H V A, Martin Neto, Ladislau, Dieckow, J, González-Pérez, M, Bayer, C, Salton, J. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, p.57 - 63, 2006.
- Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Martin Neto, Ladislau, Bayer, Cimélio, Mielniczuk, João, Bagnato, V S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, v.167, p.739 - 749, 2002.
- Milori, Débora M. B. P.; Martin-Neto, Ladislau; Vaz, Carlos M. P.; Bagnato, Vanderlei S. 2001. "Sensor de teor e qualidade de matéria orgânica de solos". Patente PI1006477-0.
- Minero, C., Pramauro E., Pelizzetti, E., Dolci, M., Marchesini, A., 1992, Photosensitized Transformations of Atrazine under Simulated Sunlight in Aqueous Humic Acid Solution. *Chemosphere*, 24, 1597-1606.

- Miziolek, A.W., Palleschi, V. and Schechter, I. *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (Cambridge University Press, United Kingdom, 2006) p.1.
- Nogueira, R. F. P., Jardim, W. F., 1996, TiO<sub>2</sub>-Fixed-Bed Reactor for Water Decontamination using Solar Light. *Solar Energy*, 56, 471-477.
- Palm, W.-U., Kopetzky, R., Ruck, W., 2003, OH-Radical Reactivity and Direct Photolysis of Triphenyltin Hydroxide in Aqueous Solution. *J. Photochem. and Photobiol. A: Chem.* 156, 105-114.
- Paoline, M., Sapone, A., Gonzalez, F.J., , 2004, Parkinson's Disease, Pesticides and Individual Vulnerability. *Farmacol. Sci.*, 25, 124-128.
- Pasquini, C., Cortez, J., Silva, L. M. C. & Gonzaga, F. B. 2007. Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *J. Braz. Chem. Soc.*, 18 (2007) 463-512.
- Perussi Filho, S. 2005. O Ciclo Virtuoso da Inovação. *Agroanalysis*. FGV. São Paulo. V.25,n.4.
- Portnov, A., Rosenwaks, S., Bar, I. 2003. Emission following laser-induced breakdown spectroscopy of organic compounds in ambient air. *Appl. Opt.*, 42 , 2835-2842.
- Ree, R.M.; Ball, B.C.; Campbell, C.D.; Watson, C.A. Sustainable management of soil organic matter. New York: CABI Publishing, 2001. 439p
- Rosa, A H, Simões, M L, Oliveira, L C De, Rocha, J C, Martin Neto, L, Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira. Multimethod study of the degree of humification of humic substances extracted from different tropical soil profiles in Brazil's Amazonian region. *Geoderma* (Amsterdam) , v.127, p.1 - 10, 2005.
- Samuels, A. C., Delucia Jr., F. C., Mcnesby, K. L. & Miziolek, A. W. 2003. Laser-induced breakdown spectroscopy of bacterial spores, molds, pollens, and protein: initial studies of discrimination potential. *Appl. Opt.*, 42 6205-6209.
- Santos Jr, Dario, Tarelho, Luiz Vicente Gomes, Krug, Francisco José, Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Martin Neto, L, Vieira Jr, Nilson Dias. Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) - Fundamentos, aplicações e perspectivas. *Revista Analytica* , v.24, p.72 - 81, 2006.
- Téxier, I., Giannotti, C., Malato, S., Richter, C., Delaire, J., 1999, Solar Photodegradation of Pesticides in Water by Sodium Decatungstate. *Catal. Today* 54, 297-307.
- Wainnera, R.T., Harmonb, R.S., Mizioleka, A.W., McNesbya, K.L., French, P.D. Analysis of environmental lead contamination: comparison of LIBS field and laboratory instruments, *Spectrochimica Acta Part B* 56 2001 777\_793
- Wang, Z., Chang, A.C., Wu, L. & Crowley, D., *Geoderma*,
- Yadav, R. K., Goyal, B., Sharma, R. K., Dubey, S. K. & Minhas, P.S., *Environment International*, 28 (2002) 481.
- Zsoinay, A.; Baigar, E.; Jimenez, M.; Steinweg, B.; Saccomandi, F., 1999. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere* 38:45-50.

Zúñiga, Ursula Rodríguez, Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira, Silva, Wilson Tadeu Lopes da, Oliveira, L. C., Martin Neto, Ladislau, Rocha, Júlio C. Changes on optical properties caused by UV-irradiation of aquatic humic substances from the Amazon River basin: Seasonal variability evaluation. *Environmental Science & Technology*, v.42, p.1948 - 2008.