

Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Leonardo Tullio
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Addressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto [recurso eletrônico]
/ Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento
remoto; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-54-3

DOI 10.22533/at.ed.543180210

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

<i>Waterloo Pereira Filho</i>	
CAPÍTULO 15	163
INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI	
<i>Adriana Castreghini de Freitas Pereira</i>	
<i>Paulo Henrique Marques de Castro</i>	
CAPÍTULO 16	174
MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
<i>Felipe Ramos Nabuco de Araújo</i>	
<i>Jefferson William Lopes Almeida</i>	
<i>Ítalo Sousa de Sena</i>	
<i>Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega</i>	
CAPÍTULO 17	187
PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	
<i>Daniel de Almeida Papa</i>	
<i>Evandro Orfanó Figueiredo</i>	
<i>Alexandre Pansini Camargo</i>	
<i>Luiz Carlos Estraviz Rodriguez</i>	
CAPÍTULO 18	199
RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR	
<i>Ronaldo Medeiros dos Santos</i>	
<i>Vinícius Orlandi Barbosa Lima</i>	
<i>Marcelo Rossi Vicente</i>	
<i>Talita Moreira Câmara</i>	
<i>Cecília Cristina Almeida Mendes</i>	
<i>Diana Marques Silva</i>	
<i>Gesiane Simara Barbosa</i>	
CAPÍTULO 19	209
SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO	
<i>Ziany Neiva Brandão</i>	
<i>João Henrique Zonta</i>	
<i>Luciano Shozo Shiratsuchi</i>	
CAPÍTULO 20	225
TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO	
<i>Adriana Fantinati Conceição</i>	
<i>Denivaldo Ferreira de Souza</i>	
<i>Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero</i>	
<i>Lindon Fonseca Matias</i>	
CAPÍTULO 21	235
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	
<i>Paulo Sérgio de Rezende Nascimento</i>	
SOBRE O ORGANIZADOR	248

SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO

Ziany Neiva Brandão

DSc. em SR: Sistema Água-Solo-Planta-Atmosfera, Embrapa Algodão, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento
Campina Grande, PB, Brasil

João Henrique Zonta

DSc. em Eng. Agrícola: Recursos Hídricos, Embrapa Algodão, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento
Campina Grande, PB, Brasil

Luciano Shozo Shiratsuchi

PhD em Agronomia: Ciência do Solo, Louisiana State University in the Department of Plant, Environmental and Soil Sciences. Baton Rouge, LA, EUA

RESUMO: O algodão é uma planta exigente em qualidade de solo, demandando elevada fertilidade e boa drenagem, sendo sensível à acidez do solo. Devido à intensa demanda de nutrientes e pesticidas, torna-se necessário o monitoramento constante da lavoura para manutenção de níveis de suficiência de nutrientes e consequente obtenção de alta produtividade. Para manter uma produção economicamente viável de algodão, devem-se empregar técnicas que visem maximizar a utilização dos insumos. Com as ferramentas de agricultura de precisão (AP) é possível identificar zonas heterogêneas, possibilitando o manejo do solo e dos insumos agrícolas,

aumentando assim a produtividade e reduzindo custos de produção, além de evitar possíveis problemas ambientais. A AP utiliza abordagens científicas e modernas, combinadas com os conhecimentos tradicionais e tecnologias de informação para uma produção agrícola inteligente. Entre essas ferramentas, as técnicas de sensoriamento remoto, onde as informações da lavoura são obtidas de forma não-destrutiva, rápida e por vezes à distância, têm se tornado de fundamental importância na obtenção e tratamento dos dados de campo. Técnicas de sensoriamento remoto (SR) desempenham um papel importante no campo em diagnósticos como a estimativa da produtividade, avaliação nutricional, detecção de pragas e doenças, previsão do tempo e avaliação da necessidade hídrica das plantas obtidas em sítio específico. Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar algumas das principais técnicas de SR utilizadas atualmente para o monitoramento do algodoeiro de alta produtividade, bem como oferecer uma visão geral dos resultados atualmente obtidos por pesquisadores usando as técnicas de SR.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento do algodoeiro, variabilidade do solo, ferramentas de sensoriamento remoto, avaliação nutricional usando refletância.

ABSTRACT: Cotton plants demand soil with very good quality, requiring high fertility and good

drainage, being sensitive to soil acidity. Due to high demand of nutrients and pesticides, it is necessary to keep constantly crop monitoring to support sufficiency nutrient levels and consequently to achieve high crop yield. In order to maintain an economically feasible cotton production, techniques should be employed to optimize the use of inputs. Through precision agricultural (PA) tools it is possible to identify heterogeneous zones, enabling soil and inputs management to increase the cotton quality and yield, reducing production costs, as well as preventing possible environmental problems. PA uses scientific and modern approaches, combined with traditional knowledge and information technologies for an intelligent agricultural production. Among PA tools, remote sensing techniques, in which crop information is obtained in a non-destructively way, quickly and sometimes at a big distance, have become very important for obtention and treatment of field data. Remote sensing (SR) techniques play an important role in the field, especially in diagnostics such as crop yield estimation, nutritional assessment, pest and disease detection, weather forecasting and estimation of plants water requirement in site-specific. Therefore, this work aimed to present some of the main SR techniques currently used for the monitoring of high productivity cotton, as well as offer an overview of the currently results achieved by researchers using SR.

KEYWORDS: Cotton monitoring, soil variability, remote sensing tools, nutritional evaluation by reflectance.

1 | INTRODUÇÃO

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) possui alto custo de produção, onde fertilizantes e corretivos de acidez do solo correspondem a cerca de 20% do custo total (SANA, 2013). Por isso, para uma produção economicamente viável deve-se empregar técnicas que visem maximizar a utilização dos insumos adicionados ao solo. As ferramentas de agricultura de precisão (AP) possibilitam identificar zonas heterogêneas, possibilitando a otimização no manejo do solo, da cultura e dos insumos agrícolas, com diminuição do custo de produção e minimização de problemas ambientais (BRANDÃO et al., 2014).

A utilização de sistemas georreferenciados, juntamente com o histórico da área e informações de variabilidade, permitem encontrar respostas para fatores que influenciam a produtividade, possibilitando assim a criação de zonas de manejo (ZM).

Uma das principais ferramentas da AP é a obtenção de dados através do uso de sensores remotos (SR). Atualmente, sensores remotos são instalados em diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs), máquinas agrícolas autopropelidas, etc.

Dados da refletância têm sido associados a conteúdo de água e elementos presentes no solo como, ferro, cobre, etc. Esses dados ainda podem ser relacionado às características das plantas como o índice de área foliar, a biomassa ou a fração radiativa interceptada fotossinteticamente (BRANDÃO, 2014; VIÑA et al., 2011). Na

agricultura, as propriedades da refletância em cada faixa do espectro eletromagnético podem ser melhor avaliadas através de combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais, ou comprimentos de onda (ATZBERGER, 2013). Essas transformações são medidas da atividade da vegetação utilizam em especial as faixas do visível e infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*) e são denominados de índices de vegetação (IVs), podendo ser divididos em índices sensíveis à concentração do pigmento (clorofila) e índices estruturais, que podem ou não ser imunes à influência das propriedades óticas do solo (SHIRATSUCHI et al., 2014; BRANDÃO et al., 2009).

Os sensores vêm sendo usados para estimar características do solo ou plantas e auxiliar a tomada de decisão para aplicação de água, nutrientes ou inseticidas/pesticidas e dessa forma aumentar a produtividade das culturas, com redução dos danos ambientais, pois evita o desperdício de aplicação de insumos em áreas onde não há necessidade.

2 | DADOS REMOTOS E A ESCOLHA DOS SENSORES

A aplicação de tecnologias de AP baseadas em sensores requer boa capacidade técnica para processamento e análise dos dados de sensoriamento, sendo sua adoção recomendável quando a fazenda já acumula certa experiência em AP (PAXTON et al., 2011). Nessa etapa as maiores fontes de variabilidade nos talhões já devem ter sido levantadas. Os sensores podem ser escolhidos de acordo com a época que se deseja o monitoramento. Se o produtor escolhe sensores para o diagnóstico do solo, ou para o acompanhamento da cultura, vai depender das fontes de variabilidade encontradas no histórico da área.

Os sensores podem ser divididos em três tipos: Sensores de solo, de plantas e de produtos. Há duas formas de sensoriamento, que são com e sem contato direto com o objeto que se quer monitorar (planta, solo, etc). Em âmbito mundial, já existe grande número de sensores para as mais diversas aplicações na agricultura. Desses, alguns vêm sendo experimentados por agricultores brasileiros. Seu uso tende a se tornar rotineiro a partir da redução do custo de aquisição e com a validação para as condições locais.

2.1 Sensores de Solo

Atualmente, vários sensores de solo são utilizados por cotonicultores, em especial aqueles que fornecem dados de textura de solo, umidade e fertilidade. Embora já existam sensores comercialmente disponíveis, muitos deles fornecem dados que são afetados por mais de uma característica agrônômica e necessitam de análises ou sensores complementares.

Muitos estudos têm como objetivo a avaliação desses sensores comerciais, especialmente por fornecerem dados em tempo real e um mapa completo e

georreferenciadas características avaliadas. Entre os mais utilizados por cotonicultores nos EUA e Austrália encontram-se os sensores de indução eletromagnética (Figura 1) que podem estimar desde o tipo de solo até umidade ou salinidade através da condutividade elétrica aparente do solo (CEa). Outros sensores também muito utilizados são os que fornecem dados complementares para programações de irrigação e níveis de nutrientes no solo.

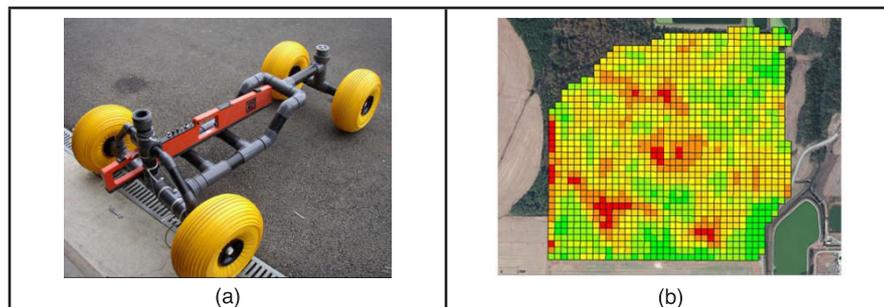


Figura 1. (a) Sensor de indução eletromagnética EM38, instalado em um veículo de PVC, para medição da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) (Foto: Georeva), e (b) Mapa dos dados obtidos através do sensor EMI. (Fonte: Hawkins et al., 2018).

Algumas pesquisas relatam que as leituras da CEa estão relacionadas a características e propriedades do solo como salinidade, umidade, textura e CTC (MOLIN e RABELLO, 2011), sendo possível obter boas correlações entre elas a partir de leituras da CEa tomadas em campo com o sensor EM38-MK2 (HEIL e SCHMIDHALTER, 2017; SUDDUTH et al., 2005).

Dependendo do atributo que se queira avaliar, diferentes técnicas e sensores, apresentados na Tabela 1, vêm sendo utilizados em diversos países, incluindo o Brasil.

Sensores comerciais	Técnicas de medição em campo
Matéria orgânica	1. Refletância nas faixas do visível e infravermelho próximo.
Textura	2. Indução eletromagnética
Umidade	3. Resistividade elétrica
Nutrientes	4. Sensores acústicos
pH	5. Sensores TDR (time domain reflectometry) (de contato)
Salinidade	6. Ressonância magnética nuclear
	7. Eletrodos seletivos à íons (de contato)
	8. Sensores de condutividade elétrica (remoto ou de contato)

Tabela 1: Alguns sensores de solo e técnicas de medição utilizadas.

Em experimento realizado antes do plantio do algodão na fazenda Pamplona, no estado de Goiás, Brandão et al. (2011) encontraram correlações significativas entre os valores de CEa e os de pH, que variaram de 42 a 61% na camada superficial (CEa até 30 cm) e de 52 a 75% na camada mais profunda (CEa até 90 cm). Eles observaram que na camada superficial, a CEa apresentou correlações similares tanto com o $pH_{\text{água}}$, quanto com o pH_{SMP} na superfície, enquanto o pH_{CaCl_2} apresentou menor valor. Por outro lado, na camada mais profunda do solo a CEa apresentou a melhor correlação

com o pH_{SMP} , que foi de 75% seguido do pH_{CaCl_2} (59%) e por último o $pH_{\text{água}}$ (52%). Em trabalho realizado para recomendação de calagem para os estados do Kansas, Illinois, Iowa, Nebraska e Wisconsin, USA, com base na correlação entre $pH_{\text{água}}$ e pH_{SMP} com a CEa, Lund et al. (2005) relatam que o pH_{SMP} apresentou melhor correlação em três de quatro campos experimentais estudados. No solo agrícola, o pH do solo está relacionado com o teor de bases trocáveis no solo (RAIJ, 1991). Do mesmo modo, a condutividade elétrica está relacionada com a maior concentração de íons na solução de solo, que aumenta com o crescimento dos teores dos nutrientes trocáveis.

Sensores de solo podem estar interligados em sofisticados sistemas de rede sem fio, captando em tempo real as medidas que se quer obter, como, por exemplo, o sistema remoto de recepção de dados apresentado na Figura 2(a) para monitorar a umidade no solo em uma cultura irrigada. Os sensores de produtividade não entram em contato direto com o produto e operam estimando o rendimento com boa precisão e armazenando os dados para geração de um mapa georreferenciado, como a colheitadeira de algodão apresentada na Figura 2(b).

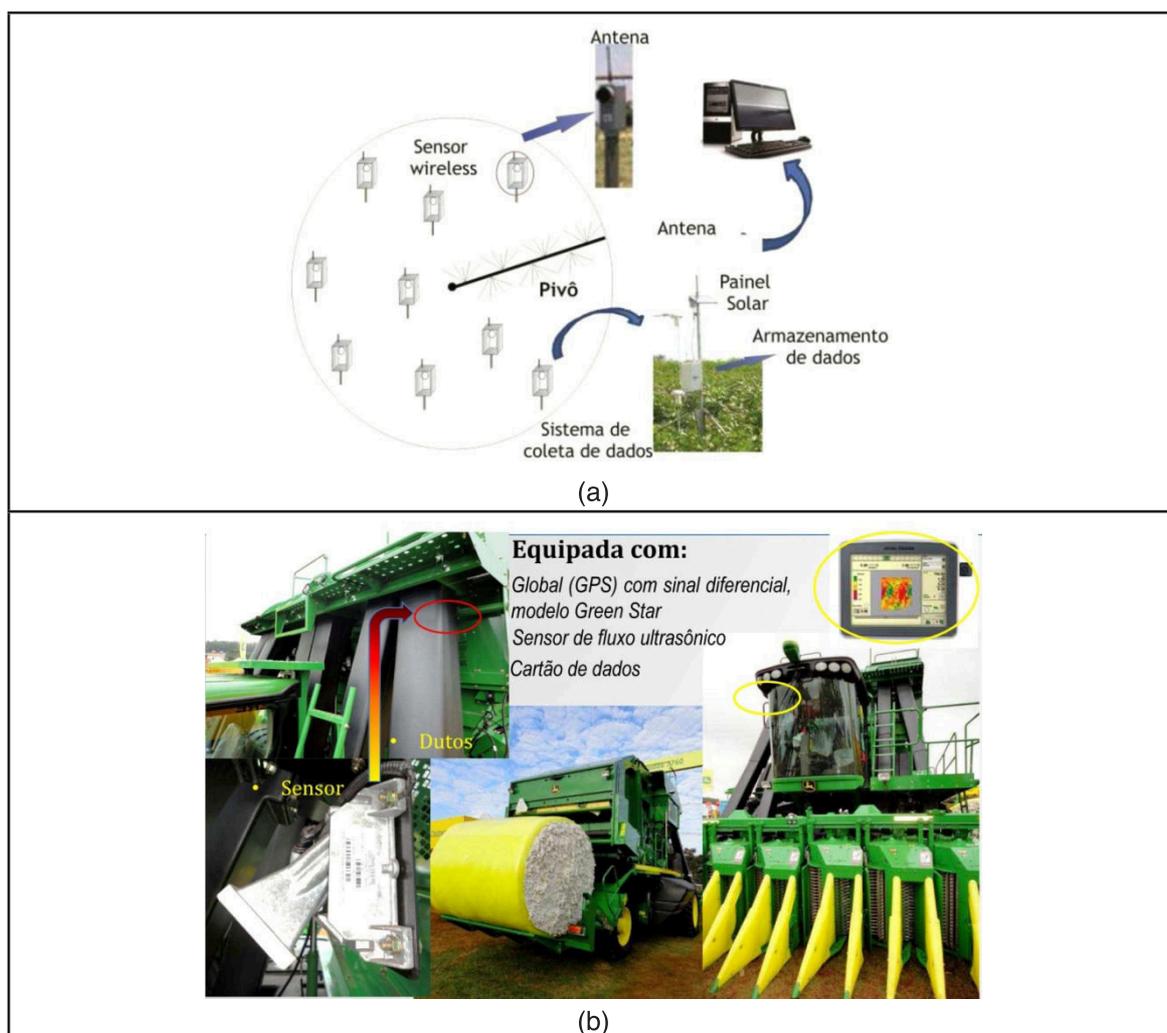


Figura 5. (a) Sistema de sensores sem fio para determinação da umidade em tempo real em cultivo irrigado. (b) Monitor de colheita John Deere, que fornece o mapa de produtividade georreferenciado da área colhida (JOHN DEERE, 2006).

A utilização de outras ferramentas como GPS, sistemas de pilotos automáticos,

sistemas de controle de irrigação ou softwares de tratamento de imagens são hoje uma realidade, no mundo e também no Brasil sendo utilizados por grandes empresas.

2.2 Sensores de Resposta Espectral e a Nutrição do Algodoeiro

Embora existam diversas técnicas de avaliação nutricional do algodoeiro na Agricultura de Precisão, as técnicas que utilizam a refletância espectral têm conseguido bastante espaço comercial, devido às facilidades de correlações com alguns nutrientes, especialmente o nitrogênio (N) e o potássio (K) (BRANDÃO, et al, 2014).

Características da refletância espectral de plantas saudáveis ou não, em vários estágios do crescimento, podem ajudar a identificar estresses nutricionais específicos em condições onde outros fatores ambientais são controlados. Deficiências de N e K influenciam a coloração da folha e a eficiência fisiológica do algodão (BRANDÃO, 2008; READ et al., 2006; BRONSON et al., 2011).

Deficiências de N no algodão geralmente resultam em produção menor de biomassa da planta e senescência prematura, evidenciadas pelo amarelamento ou clorose das folhas mais velhas, que tende a se estender visivelmente para toda a planta (BRANDÃO, 2009). Essas diferenças na produção da biomassa são perceptíveis na faixa do infravermelho próximo, e podem ser facilmente captadas através da refletância, conforme apresentado na Figura 3.

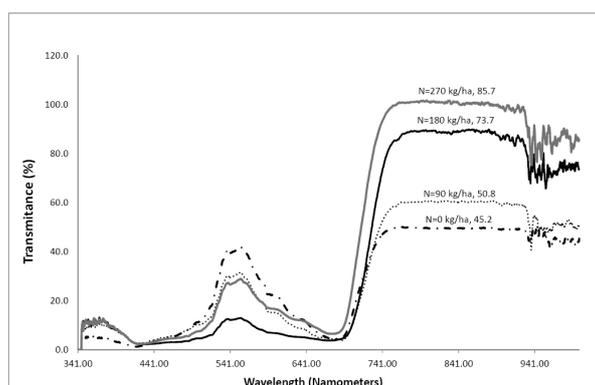


Figura 3. Variação dos espectros de refletância em plantas de algodão saudáveis, obtidas por espectrorradiometria de campo, durante um mesmo estágio fenológico em 2009, Apodi, RN. As plantas estavam totalmente supridas de água e com quatro doses de N (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹). A magnitude do aumento na refletância acima de 710 nm indica diferenças na biomassa, onde a menor biomassa registrada foi para N=0 kg ha⁻¹ e a maior biomassa para N = 270 kg ha⁻¹. (Fonte: Brandão 2009).

Devido à alta exigência do algodoeiro em N, a gestão desse nutriente é uma das mais importantes práticas em sistemas de alta produtividade, pois tanto a deficiência como o excesso desse elemento, influencia negativamente o crescimento da planta, a retenção de frutos, a qualidade da fibra e a produtividade (REDDY et al., 2004).

O manejo eficiente da adubação nitrogenada é essencial para obtenção de altas produtividades, redução de custo e proteção ambiental, sendo assim objeto de intensas pesquisas ao longo das últimas décadas (CARVALHO et al., 2011). Muitas pesquisas

têm utilizado a refletância do dossel para identificação do status desse nutriente nas plantas de algodão através de sensores remotos ativos ou passivos (Figuras 4a e 4b) (BRANDÃO, 2009; TARPLEY et al., 2000).

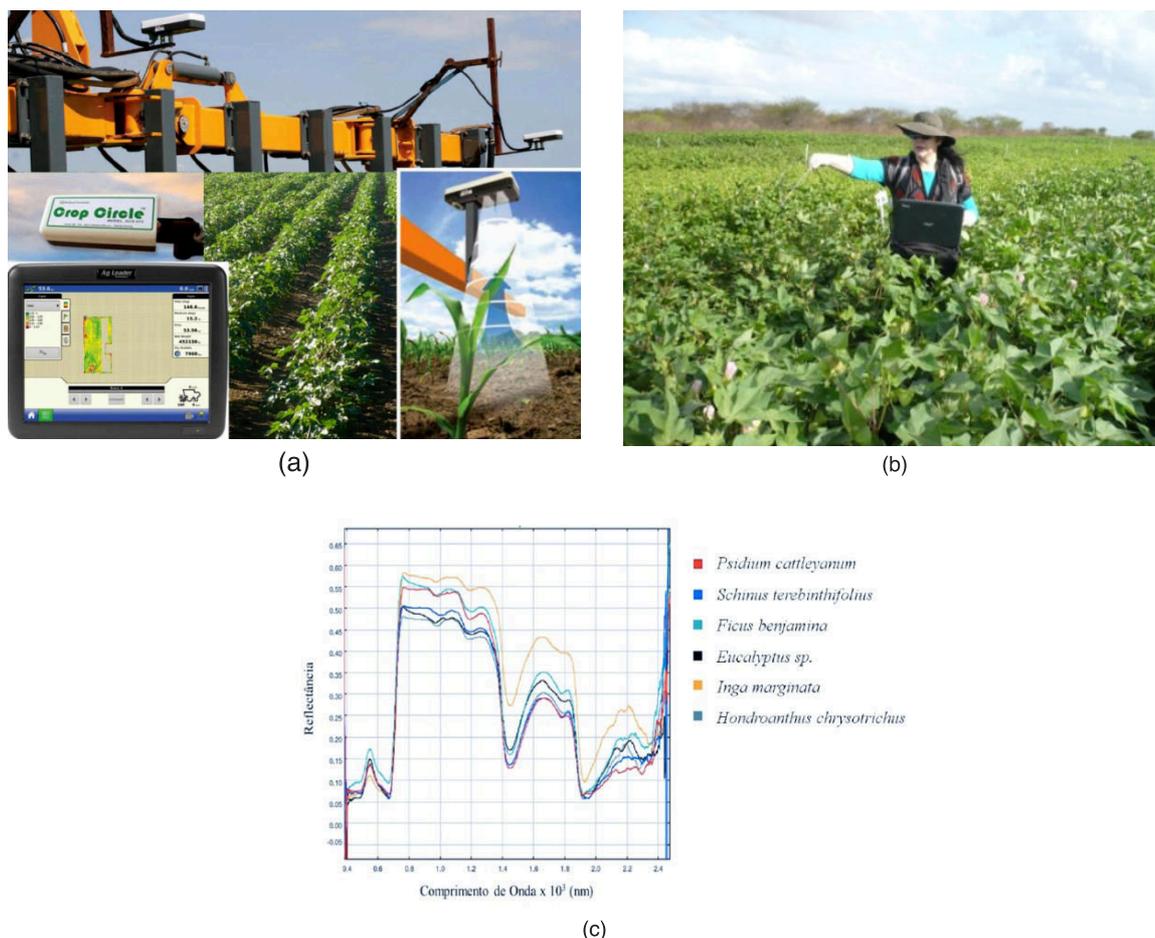


Figura 4. (a) Sensor óptico ativo Crop Circle®, (Foto: HOLLAND SCIENTIFIC®), (b) Espectrorradiômetro passivo da Apogee®, utilizados na cultura do algodoeiro. (Fonte: BRANDÃO, 2009), (c) Assinatura espectral média de seis espécies arbóreas coletadas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, RS, obtidas por meio do espectrorradiômetro FieldSpec3®, modelo RST 3ZC (Fonte: PEDRALI et al., 2016).

Esses equipamentos têm mostrado excelentes correlações com o nitrogênio foliar obtido em laboratório (BRONSON et al., 2011; LOFTON et al., 2010; BRANDÃO, 2009; MOTOMIYA et al., 2009) e pela facilidade e rapidez de resposta foram adaptados às condições de uso em campo, implantados em implementos agrícolas de aplicação à taxa variada de insumos, como pode ser visto na Figura 4c, sendo já bastante utilizados por produtores dos EUA.

Outra categoria de sensores remotos são os orbitais ou sub-orbitais, que possuem em comum o princípio de imageamento por faixas. A largura das faixas de imageamento e precisão dos dados dependem do tipo de sensor. Enquanto imagens aéreas podem oferecer uma melhor resolução, elas apresentam diferentes tons que possibilitam uma classificação subjetiva do dossel (Figura 5a.) (BRANDÃO et al., 2015). As imagens orbitais podem oferecer desde temperatura do terreno até valores da luz refletida pelas plantas exatamente como os sensores em solo, dependendo do

sensor a ser usado (Figura 5b.). Por sua vez os radares, apesar de mais caros, fazem o imageamento da área sem problemas de interferência de nuvens.

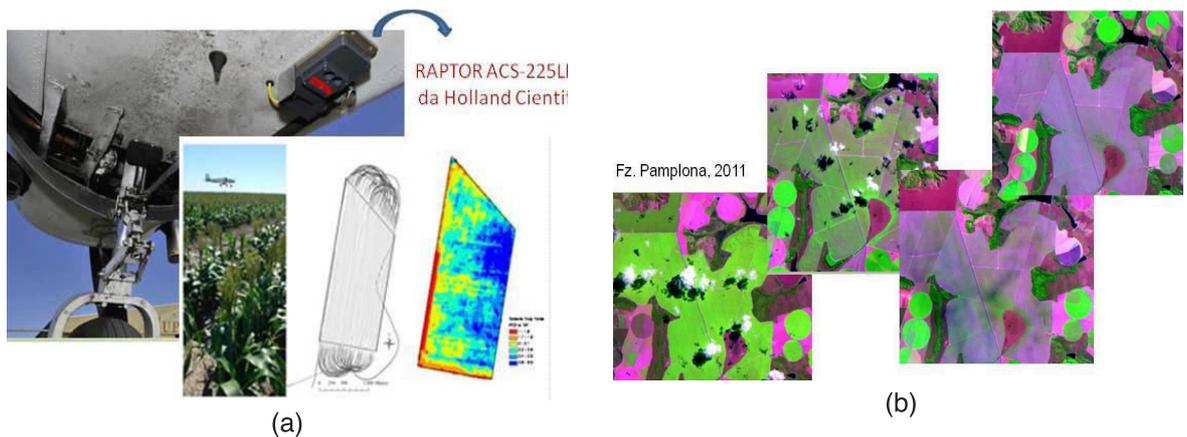


Figura 5: Sensores remotos para vegetação. (a) Imagens aéreas obtidas pelo sensor da Holland Scientific®, instalado em avião. Fotos: Holland Scientific®. (b) Imagens do satélite Landsat 5 obtidas em quatro datas distintas dentro do ciclo do algodoeiro na Fazenda Pamplona, GO. Fonte: Brandão et al., 2015

2.4 Sensores de Produtividade

No planejamento agrícola, a estimativa da produtividade da cultura em que se está trabalhando é muito importante, e pode ser obtida durante o ciclo da cultura, de forma que se possa interferir no resultado final, uma vez que podem ser monitorados durante o período vegetativo através de sensores remotos espectrais (ZARCO-TEJADA et al., 2005).

O sensoriamento tem facilitado à avaliação do ambiente produtivo durante todo o ciclo do algodoeiro, numa ampla gama de escalas temporais e espaciais, dependendo do sensor escolhido. Entretanto, a avaliação da produtividade das culturas ao final do seu ciclo, fornece um dado real que permite a criação de zonas de manejo (ZM) daquela cultura, a partir de históricos da produtividade daquela área, combinados com dados de atributos do solo, explicando a maior parte da variabilidade e suas causas.

O mapeamento da produtividade proporcionado pelas ferramentas da agricultura de precisão destaca-se como ferramenta no gerenciamento da variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (MILANI et al., 2006). Tal aplicação, no entanto, requer, além da análise dos mapas de produtividade, o histórico de várias safras, mesmo que de diferentes culturas, para que a variabilidade temporal e espacial seja contemplada (BLACKMORE et al., 2003).

Mapas de produtividade de vários anos possibilitam não só a identificação da variabilidade temporal, mas permitem criar zonas com semelhança de características, definindo unidades de manejo em um talhão associando-os aos atributos do solo, deficiências nutricionais ou hídricas.

Para a geração dos mapas de produtividade, é necessário que a colhedora esteja equipada com sensor de rendimento, sistema de posicionamento global (GPS) e um

dispositivo para o armazenamento dos dados de produtividade que vêm associados às suas coordenadas geográficas (SANTI, 2007).

Para o algodão, a produtividade é medida por sensores de fluxo de massa que ficam instalados conectados aos dutos de entrada de pluma e caroço de algodão na máquina e medem a quantidade que passa através dos mesmos (JOHN DEERE, 2006), como apresentado na Figura 6. Os dados de produtividade devem ser submetidos à limpeza para retirada de erros, seguido pelo processo de filtragem dos dados brutos, permitindo assim a obtenção de resultados mais coerentes e aumento da qualidade final das informações (MENEGATTI e MOLIN, 2004).

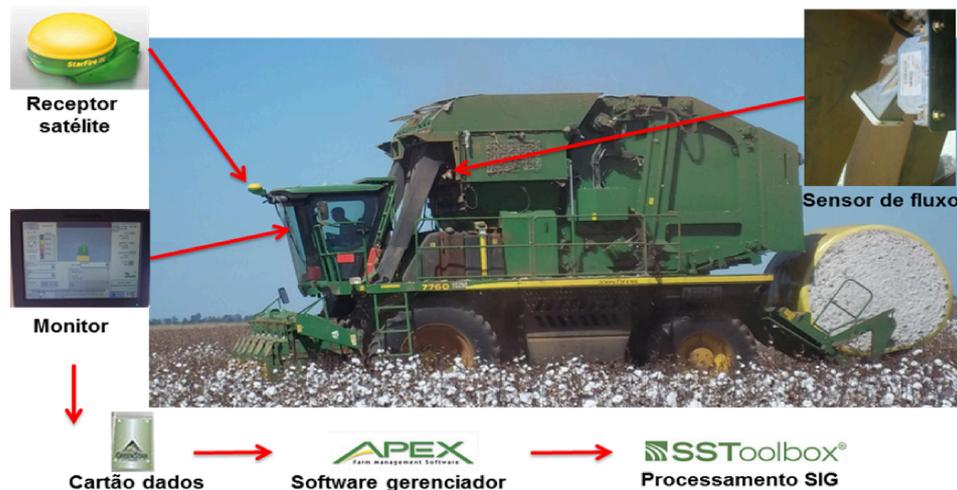


Figura 6. Processo para geração mapas de produtividade na cultura do algodão. Fonte: SANA (2013).

Tem-se encontrado variação da produtividade das culturas de soja, milho e trigo (AMADO, 2007) e sua correlação com atributos de solo, como pH água, Ca e Mg trocáveis, CTC e argila natural (REICHERT et al., 2008).

Vellidis e Brannen (2012) reportam experimentos da Universidade da Georgia em 5 estados nos EUA onde os mapas de colheita auxiliaram na localização das áreas de baixas produtividades. Eles obtiveram altas correlações com os mapas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) criados com o Veris 3100. Usando esses mapas, os pesquisadores identificaram em experimento de 63ac no estado de Oklahoma, uma área com aproximadamente 5ac com produtividade muito baixa, sendo muito inferior à média na área estudada (Figura 7a). Após identificarem a causa, foram aplicadas ações corretivas e a mesma área no ano seguinte apresentou as mais altas produtividades da lavoura (Figura 7b).

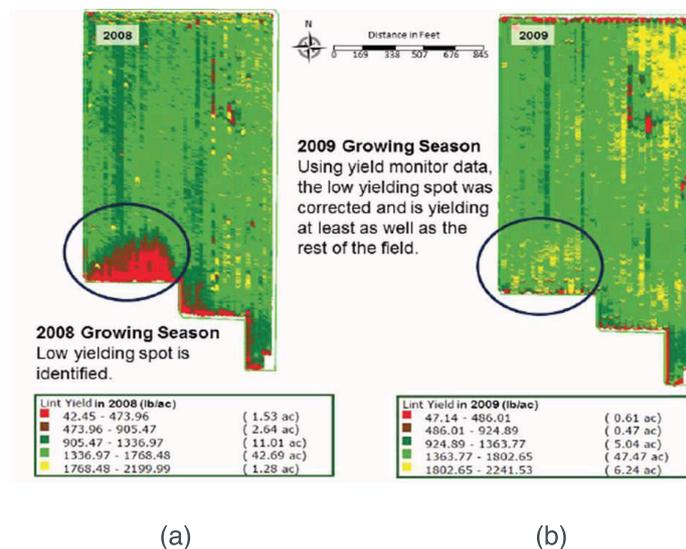


Figura 7. Mapas de produtividade em campo com 63ac, em Altus, Oklahoma, (a) em 2008 antes e (b) em 2009, após as melhorias implantadas. Fonte: VELLIDIS e BRANNEN (2012).

3 | CONTROLE DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA PRODUTIVO DO ALGODÃO

Em culturas irrigadas, para um adequado manejo hídrico são utilizados métodos micrometeorológicos como o das correlações turbulentas, da razão de Bowen, métodos indiretos como proposto por FAO 56-Pemnan-Montheith e medidas diretas com lisímetros (BRANDÃO et al., 2011; BEZERRA et al., 2010). Esses métodos, aliados a modernas estações meteorológicas, sensores automatizados e sistemas de armazenagem de dados em campo, já são hoje bastante difundidos entre cotonicultores.

Entretanto, apesar de precisos, métodos que dependem da instalação de equipamentos como sensores ou lisímetros na área pode se tornar uma tarefa trabalhosa e de elevado custo. Neste contexto, os métodos que calculam a evapotranspiração a partir de imagens de satélites se mostram muito úteis, pois são capazes de estimar com boa precisão a evapotranspiração real da cultura (ET_c), mesmo em talhões com grande heterogeneidade (BRANDÃO et al., 2011), sendo útil para o monitoramento do déficit hídrico em grandes áreas (Li e LASCANO, 2011).

O consumo de água no sistema solo-planta-atmosfera pode ser estimado por meio de imagens de satélite sem a necessidade de quantificação de complexos processos hidrológicos (BASTIAANSSEN, 2000), fornecendo uma boa estimativa da evapotranspiração. Gavilán e Berengena (2007) compararam dados da ET_c obtidos com a técnica da razão de Bowen com medidas lisimétricas em áreas que apresentam fortes eventos advectivos e constataram que os mesmos foram superestimados em até 5,7% quando apenas dados diurnos foram considerados. Algoritmos como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), têm sido aplicados com êxito em diversos ecossistemas para estimativa da ET_c (BEZERRA et al., 2008; BASTIAANSSEN, 2000). Nesse algoritmo, a ET_c é estimada a partir da quantificação da densidade de fluxo de calor latente - LE, obtido como resíduo da equação do balanço de energia - BE. Segundo Tasumi (2003), a estimativa da ET obtida pelo método SEBAL indica alto

potencial em áreas agrícolas quando comparada às medidas lisimétricas, resultando em informações com boa precisão para o gerenciamento dos recursos hídricos, tendo sido obtidos erros médios em torno de 2,5%. Assim, a escolha dos métodos e equipamentos para gerenciamento e controle da irrigação depende das condições e tamanho da lavoura, mão de obra e equipamentos disponíveis e é uma das primeiras aplicações de agricultura de precisão que se tem conhecimento.

4 | APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO E CASOS DE SUCESSO

O SR é muito utilizado em aplicações relativas a estudos de uso e cobertura das terras e de características da vegetação. Neste campo são realizados diversos estudos e aplicações, como a avaliação das alterações no uso e cobertura das terras em diversos, a avaliação de parâmetros biofísicos e de evapotranspiração da vegetação e estudos da abrangência de áreas agrícolas e de sua dinâmica temporal (JOHANN et al, 2012; VICTORIA et. al, 2012).

Após um mapeamento detalhado de um vinhedo na Austrália usando dados de sensores remotos para a viticultura, Bramley (2009), reportaram a diferenciação de áreas de menor a maior vigor, possibilitando a seleção de áreas para produção de uvas com maior qualidade, e obtenção de vinhos com preço diferenciado, agregando valor à produção (SHIRATSUCHI et al., 2014). Em outro trabalho, Echeverria et al (2013) mostraram como variações do NDVI em parreirais de Tannat, no Uruguai, podem ser detectadas em imagens do sensor orbital ASTER, e como é possível correlacionar tais variações a fatores de solo na extensão dos vinhedos. De fato, imagens de sensores como ASTER e Hyperion cobrem um domínio espectral entre 0,55 nm e 2,5 nm, sendo portanto sensíveis à toda gama de fatores importantes na descrição espectral da refletância de vegetais.

Variações de índices de vegetação (IVs) obtidos tanto por imagens orbitais como em sensores a bordo de veículos aéreos não-tripulados (VANTs) são de grande utilidade para o delineamento e a classificação de zonas de manejo (ZM) na agricultura de precisão (SHIRATSUCHI et al., 2014).. O tratamento e seleção desses dados considera métodos da análise estatística convencional e também geoestatística. (SHATAR e MCBRATNEY, 2001).

Técnicas de SR foram validadas e tem grande aplicabilidade na área agrícola dentro do conceito de AP, porém o custo e a falta de pessoal treinado ainda limita o uso por parte dos usuários. Uma grande limitação do SR através de sensores passivos orbitais são as nuvens, atmosfera e revisita do imageamento em tempo hábil para a tomada de decisão no manejo agrícola. Nebulosidade se torna crítica principalmente para culturas de verão por que o estágio fenológico da cultura que deve ser imageada geralmente coincide com a época de grande pluviosidade e nebulosidade. Neste cenário onde diversas técnicas validadas para sensores remotos já estão disponíveis os VANTs e os sensores ativos de dossel ou *active crop canopy sensors* (ACS) tem uma

grande importância para viabilizar a aplicação destas técnicas no manejo agrônomico sítio-específico de culturas agrícolas em nível de talhão.

Os ACS vêm sendo considerados por alguns como sensores remotos proximais, quando acoplados em máquinas agrícolas autopropelidas (Figura 4a). A grande vantagem dos ACS é que eles são ativos e sua luz modulada não é influenciada pela luz do sol, podendo ser utilizados a qualquer hora (noite ou dia). Estes sensores emulam a refletância do dossel em certos comprimentos de onda selecionados para diferenciar o conteúdo de clorofila e indiretamente a condição nutricional da planta em relação ao nitrogênio (N) (SHIRATSUCHI, 2011a). Eles também possibilitam o diagnóstico de N da planta e aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxas variáveis em tempo real, aplicando o insumo somente onde necessário e na mesma operação. Ou seja, o sensor embarcado diagnostica o status de N da planta através dos IV e através de algoritmos específicos como os desenvolvidos por Solari et al. (2008); Dellinger et al. (2008) e Shiratsuchi et al. (2011b) calcula-se a dose de fertilizante nitrogenado que deve ser aplicada em tempo real.

Pesquisas no âmbito de fazenda (*on farm* research) mostraram no cinturão do milho americano que em 55 locais durante os anos de 2004 à 2008 a utilização destes ACS superaram em termo econômicos doses uniformes de fertilizantes nitrogenados no ordem de US\$42.ha⁻¹, produzindo 110 kg.ha⁻¹ a mais de milho, reduzindo o uso de N em 16 kgN.ha⁻¹ (SCHARF et al., 2011). Considerando os preços crescentes dos fertilizantes e a redução do uso de insumos e diminuição do impacto ambiental, espera-se uma grande adoção deste tipo de tecnologia em empreendimentos agrícolas.

Existem inúmeras pesquisas sendo realizadas no intuito de se gerar fórmulas ou algoritmos para traduzirem dados de SR com o uso de VANTs e ACS em doses de insumos, como N, herbicidas, inseticidas, etc (HOLLAND e SCHEPERS, 2010; SHIRATSUCHI et al., 2014; HOLLAND e SCHEPERS, 2012). Até mesmo a utilização de ACS embarcados em VANTs já estão sendo utilizados como uma forma de mapeamento do status de N em milho (Figura 8).



Figura 8. Sensor ativo de dossel embarcado em VANT. <http://hollandscientific.com/>

Estudos sobre o comportamento de diversos IV para determinação de pigmentos foram realizados (LEMAIRE et al., 2004), porém poucos trabalhos levaram em

consideração ACS para cálculo de IVs e interferência do teor de água na determinação de doses de N (SHIRATSUCHI et al., 2014). Este cenário demonstra que um vasto campo de estudos dentro do SR vem sendo aberto e possui ainda grandes desafios principalmente em regiões tropicais, onde a limitação na aquisição de imagens, sistema de produção em plantio direto, custo de equipamentos e pessoal qualificado imperam na adoção destas tecnologias.

5 | AGRADECIMENTOS

A Rede de Agricultura de Precisão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. de S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

ATZBERGER C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**. v.5, p.949-981. 2013.

BASTIAANSEN, W. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p. 87-100. 2000.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, no.3, p. 404-414. 2010.

BEZERRA, B. G. SILVA, B. B. Da, FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária usando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 3, p.305-317, 2008.

BLACKMORE, B. S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**. v. 84, p. 455-466, 2003.

BRANDÃO, Z. N.; RESENDE, A. V.; MEDEIROS, J. da C.; INAMASU, R. Agricultura de precisão e cultivo do algodoeiro. In: BÉLOT, J-L. (Ed). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. v.1, 2ª ed. Ed: IMAMt, Cuiabá, MT. 2015. 337p.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; FERREIRA, G. B. Agricultura de precisão na cultura do algodão. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y (Eds). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. v.1, 1ª ed. Ed: Embrapa, Brasília, DF. p. 295-305. 2014. 596p.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI V.; BEZERRA, J. R. C.; BEZERRA, B. G.; ZONTA, J. H. Uso do sensoriamento remoto na estimativa da necessidade hídrica do algodoeiro. In: Anais do 8º Congresso Brasileiro do Algodão – VIII CBA, 2011. **Anais.....** São Paulo, SP. p. 1725-1734.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 152f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

- BRANDÃO, Z. N., BEZERRA M. V. C., FREIRE E. C., DA SILVA B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVEDO, D. M. P., BELTRÃO, N. E. M. (Eds). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. v.2. Ed: Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008. 1309 p.
- BRAMLEY, R.G.V.. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, v.60, p. 197-217, 2009.
- BRONSON, K.F.; MALAPATI, A.; NUSZ, J. W.; LAMA, P.; SCHARF, P.C.; BARNES, E. M.; NICHOLS. R.L. Canopy reflectance-based nitrogen management strategies for subsurface drip irrigated cotton in the Texas High Plains. **Agronomy Journal**. v.103, p. 422-430. 2011.
- CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Editor). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2ª Ed. rev. e ampl. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011, p.677-752.
- DELLINGER, A. E., SCHMIDT, J. P.; BEEGLE, D. B. Developing Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn Using an Active Sensor. **Agronomy Journal**, v.100, p.1546–1552. 2008.
- ECHEVERRIA, G.; DUCATI, J.R.; FERRER, M. Implementation of techniques for Remote Sensing as a method to determine the productive potential of a viticultural terroir. **Annals of 18th International Symposium GiESCO 2013**, Porto, 2013.
- GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Accuracy of the Bowen ration-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, v. 25, p. 127-140, 2007.
- HAWKINS, E.; FULTON, J.; PORT, K. **Using soil electrical conductivity (EC) to delineate field variation**. In: Ohio State University Extension (Eds). Ed. Ohioline: College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences, Columbus, Ohio. 2018.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. The Application of EM38: Determination of Soil Parameters, Selection of Soil Sampling Points and Use in Agriculture and Archaeology. **Sensors**, v.17, no.11, 2540; **2017**, doi:10.3390/s17112540.
- HOLLAND K. H.; SCHEPERS, J. S. Derivation of a Variable Rate Nitrogen Application Model for In-Season Fertilization of Corn. **Agronomy Journal**. v. 102, no. 5, p. 1415-1424. 2010. doi:10.2134/agronj2010.0015.
- JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. G.; LAMPARELLI, R. A. C. Estimation of summer crop areas in the state of Paraná, Brazil, using multitemporal EVI/Modis images. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1270–1278, 2012.
- JOHN DEERE. **Operator’s manual: Green Star Harvest Doc System**. John Deere Ag Management Solutions. Moline, Illinois, 2006.
- LEMAIRE, G.; FRANCOIS, C.; DUFRENE, E. Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v.89, p.1–28. 2004.
- LI, H.; LASCANO, R. J. Deficit irrigation for enhancing sustainable water use: Comparison of cotton nitrogen uptake and prediction of lint yield in a multivariate autoregressive state-space model. **Environmental and Experimental Botany**. v.71, p. 224–231. 2011.
- LOFTON, J.; WEINDORF, D. C.; HAGGARD, B.; TUBANA, B. Nitrogen variability: a need for precision agriculture. **Agricultural Journal**. v.5, p. 6-11. 2010.
- LUND, E.D.; ADAMCHUCK, V.I.; COLLINGS, K.L.; DRUMMOND, P.E.; CHRISTY, C.D. Development

of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: Stafford J. (ed). **Precision Agriculture'05**. Ed. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 457-464. 2005.

McKINION, J. M.; JENKINS, J. N.; AKINS, D.; TURNER, S. B.; WILLERS, J. L.; JALLAS, E.; WHISLER, F. D. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 32, p. 213–228, 2001.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 126-134, 2004.

MILANI, L.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**. v. 31, p. 90-101, 2011.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, p.137–145, 2009.

PAXTON, K. W.; MISHRA, A. K.; CHINTAWAR, S.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LAMBERT, D. M.; MARRA, M. C.; LARKIN, S. L.; REEVES, J. M.; MARTIN, S. W. Intensity of Precision Agriculture Technology Adoption by Cotton Producers. **Agricultural and Resource Economics Review** . v.40, p. 133–144. 2011.

PEDRALI, L.D.; MARCHESAN, J.; QUEIROZ, T.B.; BALDIN, T.; SOUSA, R.S.; BATISTA, F.J.; PEREIRA, R.S. Comportamento espectral de espécies utilizadas em arborização urbana. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.4, n.1, p.19-32. 2016. doi.org/10.5902/2316980X23082

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres - Potafos, 1991. 343p.

READ, J. J., REDDY, K. R., JENKINS, J. N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. **European Journal Agronomy**, v.24, p. 282-290. 2006.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**. Santa Maria. n. 38, p. 981-988, 2008.

REDDY, K.R.; KOTI, S.; DAVIDONIS, G.H.; REDDY, V.R. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality. **Agronomy Journal**. v. 96, p.1148–1157. 2004.

SANA, R. S. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de planta e produtividade do algodoeiro utilizando ferramentas de agricultura de precisão**. 173f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2013.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Santa Maria, 2007. 150p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.

SHATAR, T. M.; MCBRATNEY, A. B. Subdividing a field into contiguous management zones using a k-zones algorithm. In: **Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture**, p. 115-120. 2001.

SCHARF, P. C.; SHANNON, D. K.; PALM, H. L.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; KITCHEN, N.

R.; MUELLER, L. J. Sensor-Based Nitrogen Applications Out-Performed Producer-Chosen Rates for Corn in On-Farm Demonstrations. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1683–1691. 2011.

SHIRATSUCHI, L.S.; BRANDÃO, Z.N.; Vicente, L.E.; Victoria, D.C.; Ducati, J.R.; Oliveira, R.P.; Vilela, M.F. Sensoriamento remoto: Conceitos Básicos e Aplicações na Agricultura de Precisão. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y (Eds). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. v.1, 1ª ed. Ed: Embrapa, Brasília, DF. p. 58-73. 2014. 596p.

SHIRATSUCHI, L. S. **Integration of plant-based canopy sensors for site-specific nitrogen management**. PhD Dissertation, University of Nebraska, Lincoln. 2011a. 157p.

SHIRATSUCHI, L. S.; VILELA, M. F.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; RESENDE, A. V. ; HURTADO, S. M. C.; CORAZZA, E. J. **Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis**. In: Inamasu, R.Y.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Bernardi, A.C.C.. (Org.). Agricultura de Precisão: Um novo olhar. v.1, 1ª ed. Ed.: Embrapa, São Carlos, SP. p. 184-188. 2011b. 334p.

SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.; SCHEPERS, J.; GITELSON, A. Active Sensor Reflectance Measurements of Corn Nitrogen Status and Yield Potential. **Agronomy Journal**, v. 100, 571-579. 2008.

SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., WIEBOLD, W.J., BATCHELOR, W.D., BOLLERO, G.A., BULLOCK, D.G., CLAY, D.E., PALM, H.L., PIERCE, F.J., SCHULER, R.T., THELEN, K.D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263–283. 2005.

TARPLEY, L., REDDY, K. R., SASSENATH-COLE, G. F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 1814-1819, 2000.

VICTORIA, D. C.; PAZ, A. R.; COUTINHO, A. C.; KASTENS, J.; BROWN, J. C. Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1270–1278. 2012.

TASUMI, M. **Progress in operacional estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. University of Idaho (USA). 355 p., 2003.

VELLIDIS, G.; BRANNEN H. S. Cotton Yield Maps: tools for increasing efficiency & profitability. In: Map Yield Report. University of Georgia and Cotton Incorporated. 2012. Disponível em: <http://www.cottoninc.com/fiber/AgriculturalDisciplines/Engineering/Precision-Crop-Management-for-Cotton/Cotton-Yield-Maps/Cotton-Yield-Maps-PDF.pdf>

VERIS TECHNOLOGIES, USA. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 02 de julho de 2013.

ZARCO-TEJADA, P. J., USTIN, S. L., WHITING, M. L. Temporal and spatial relationship between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. **Agronomy Journal**. v.97, p.641-653, 2005.