

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 09/06/2024.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DA
PRODUTIVIDADE E MAPEAMENTO DA QUALIDADE DA
FIBRA EM CAMPOS COMERCIAIS DE ALGODÃO**

**Francielle Morelli Ferreira
Engenheira Agrícola**

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DA
PRODUTIVIDADE E MAPEAMENTO DA QUALIDADE DA
FIBRA EM CAMPOS COMERCIAIS DE ALGODÃO**

Francielle Morelli Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

Prof. Dr. Luciano Shozo Shiratsuchi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2022

F383a Ferreira, Francielle Morelli
Aprendizado de máquina na predição da produtividade e mapeamento da qualidade da fibra em campos comerciais de algodão / Francielle Morelli Ferreira. -- Jaboticabal, 2022
114 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Rouverson Pereira da Silva

1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto por satélite. 3. Algoritmos de computador. 4. Rastreabilidade. 5. Classificação da Fibra. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

REGISTRO DE IMPACTO

A presente tese aborda a difusão de tecnologia aplicada à agricultura sustentável, apresentando resultados inovadores e satisfatórios que poderão ser replicados. A internacionalização (doutorado sanduíche) com coleta e processamento de dados nos EUA, a participações em eventos com apresentações orais de trabalhos em inglês contribuirão nas publicações em revistas internacionais de alto impacto.

IMPACT RECORD


This thesis approaches the diffusion of technology applied to sustainable agriculture, presenting innovative and satisfactory results that can be replicated. Internationalization (sandwich Ph.D. program) with data collection and processing in the US and participation in conferences with English oral presentations will contribute to publications in high-impact international journals.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE E MAPEAMENTO DA QUALIDADE DA FIBRA EM CAMPOS COMERCIAIS DE ALGODÃO

AUTORA: FRANCIELLE MORELLI FERREIRA
ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
COORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM
COORIENTADOR: LUCIANO SHOZO SHIRATSUCHI

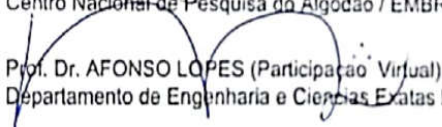
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal



Pesquisadora Dra. ZIANY NEIVA BRANDÃO (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão / EMBRAPA - Campina Grande/PB



Prof. Dr. AFONSO LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente

Prof. Dr. RENILDO LUIZ MION (Participação Virtual)
Universidade Federal de Rondonópolis / Rondonópolis/MT



RENILDO LUIZ MION
Data: 30/01/2023 10:49:53:0399
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Mailson Freire de Oliveira
Pós-doutorando MAILSON FREIRE DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Auburn University-College of Agriculture / Estados Unidos

Jaboticabal, 09 de dezembro de 2022

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

FRANCIELLE MORELLI FERREIRA – nascida em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no dia 13 de março de 1989. Ingressou no ensino superior em agosto de 2006, sendo aprovada na primeira turma do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis. Durante a graduação foi monitora na disciplina de estatística e de agosto de 2009 a julho de 2011 foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), em projeto na área de Máquinas e Implementos Agrícolas, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Renan Berchol da Silva. Em agosto de 2011 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), em Botucatu - SP, sendo bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, e coorientação do Prof. Dr. Paulo Arbex e Prof. Dr. Antonio Renan Berchol da Silva. Foi integrante do Grupo de Plantio Direto – GPD, obtendo o título de Mestra em Agronomia em julho de 2013, com dissertação na área de Máquinas Agrícolas. Em dezembro de 2013 foi aprovada em primeiro lugar no Concurso Público de Provas e Títulos para Provimento do Cargo de Docente da Educação Superior na UNEMAT - Universidade do Estado de Mato Grosso, Câmpus de Alta Floresta, área de Engenharia Agrícola. Em março de 2014 iniciou a carreira Docente junto ao curso de Agronomia com as disciplinas de Desenho Técnico, Máquinas e Mecanização Agrícola, e Agricultura de Precisão. Em agosto de 2017 foi removida a pedido para a UNEMAT - Câmpus Universitário de Nova Mutum, sendo responsável pelas mesmas disciplinas já mencionadas. Durante o ano de 2018 atuou como Coordenadora do Curso de Agronomia. Em 2019 conseguiu junto à UNEMAT o afastamento para qualificação docente e iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na UNESP, em Jaboticabal - SP, sob a orientação do Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva. Foi integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) e do Rouverson Silva Research Group (RSRG). De setembro de 2021 a abril de 2022 participou como “J-1 Exchange Visitor” do Programa de Doutorado Sanduíche na Louisiana State University Agricultural Center em Baton Rouge, LA, EUA sob a supervisão e coorientação do Prof. Dr. Luciano Shozo Shiratsuchi. Em 09 de dezembro de 2022, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutora em Agronomia, com tese na área de Agricultura Digital.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

“É muito melhor lançar-se em busca de
conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao
fracasso, do que alinhar-se com os pobres de
espírito, que nem gozam muito nem sofrem
muito, porque vivem numa penumbra cinzenta,
onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

Em primeiro lugar:

A **Deus** e nosso **Senhor Jesus Cristo**, pela vida, saúde. pelas oportunidades e por suas constantes bênçãos e proteção.

Agradeço!

Ao meu filho **Matheus Morelli Ferreira de Aquino**, que desde 2007 é minha fonte de força e alegria para vencer e continuar caminhando, sem desanimar, em busca do melhor, para que um dia, as minhas vitórias e conquistas possam servir de inspiração, orgulho e exemplo para ele.

Homenageio!

Aos meus pais, **José Francisco Ferreira Filho** e **Marta Morelli Ferreira**, à minha irmã **Michelle Faifer Morelli Ferreira**: Pela confiança, apoio, admiração, ajuda, incentivo, compreensão, dedicação, amor, carinho, cuidado e orgulho, em mim depositados e principalmente por compreenderem a importância dessa conquista e aceitarem a minha ausência em diversos momentos ao longo desses 4 anos.

Dedico!

À **Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)**, instituição a qual pertenço e me dedico desde 2014 com muito orgulho, e que me possibilitou a realização de tantos sonhos, inclusive este “doutorado”, me proporcionando três anos de afastamento remunerado em prol da qualificação do seu corpo docente.

Ofereço!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao meu companheiro Getulio de Freitas Seben Junior, por todo o apoio, confiança, paciência, carinho e amor destinados a mim ao longo desses 4 anos. Obrigada por ter sido o esteio do nosso relacionamento, pois enquanto eu “voava”, você “criava raízes”. Gratidão pelo cuidado e atenção com o meu filho nos diversos momentos em que estive ausente.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por toda a orientação e confiança depositada em mim. Gratidão por ser quem és, ao qual tenho profundo respeito e admiração. Obrigada pela oportunidade de ter feito parte do seu time e por toda a compreensão para comigo. És um orientador e líder de peso, que levarei por toda a vida, a gratidão será eterna. Sempre que orientar, lembrarei do Senhor. Obrigada por ter sido esse “paizão” durante a “saga doutorado”, tornando-a tão mais leve sempre com palavras de conforto e incentivo!

Ao meu coorientador Prof. Dr. Glauco Rolim que me apresentou o caminho da programação em Python, me ajudou em diversos momentos de reuniões, e hoje busco trilhar uma caminhada como uma jovem cientista de dados da agricultura digital. Uma área pelo qual me apaixonei no doutorado devido ao seu apoio e coorientação.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Luciano Shozo Shiratsuchi por ter me oportunizado a realização de um dos meus sonhos, o doutorado sanduíche nos EUA. Obrigada por ter me recebido tão bem em seu grupo de pesquisa na LSU AgCenter, em Baton Rouge, LA, USA. Por todo auxílio prestado enquanto estive nos EUA, pela bolsa concedida, pelos ensinamentos transmitidos. Agradeço o auxílio e oportunidade em ter um capítulo da tese com dados coletados nos EUA. Gratidão por esta oportunidade!

Aos membros da banca examinadora Dra. Ziany Neiva Brandão, Prof. Dr. Renildo Luiz Mion, Prof. Dr. Afonso Lopes e Dr. Mailson Freire de Oliveira pela disposição em participar desse importante momento e por toda contribuição dada para a melhoria deste trabalho.

A todos os Professores que por meio de disciplinas, transmitiram um pouco do seu conhecimento a mim durante o doutorado - à Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara, ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Furlani, ao Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto, ao Prof. Dr. Walter Maldonado Junior, ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, ao Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, ao Prof. Dr. Murilo Voltarelli e ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva.

À Empresa Terra Santa Agro, e a toda a equipe da Fazenda Mãe Margarida (Santa Rita do Trivelato – MT), em especial aos especialistas em Agricultura de Precisão, Davi Besson, Paulino Vinícius S. Gajardo e Renan Tavanti, pela parceria na pesquisa do segundo capítulo da tese, pelo constante pronto atendimento em prol ao desenvolvimento experimental.

Ao grupo GMS Agro e toda a equipe da Fazenda Santa Maria (Sorriso – MT), em especial ao Eng. Agrônomo Evandro Bortolussi responsável pela Agricultura Digital da fazenda. Obrigada por terem acreditado na ideia e pela parceria nas coletas em campo do terceiro capítulo desta tese. Agradeço o apoio no manuseio e envio das amostras para classificação de fibra junto ao Laboratório Kuhlmann de Classificação de Fibra (Sorriso, Brasil).

Às minhas amigas Samira Luns H. Almeida e Franciele Morlin Carneiro que o doutorado me proporcionou conhecer, e à minha amiga Elizabeth Haruna Kazama, que o doutorado proporcionou reencontrar, meu muito obrigada pela amizade, companheirismo, parceria, conversas e mais conversas, muitas risadas, lágrimas, incentivo, apoio, e parceria durante toda essa jornada. Vocês são especiais!

Aos colegas e amigos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) - Alex, Aline, Armando, Bruno Rocca, Danilo, Edcarla, Elizabeth, Fran Morlin, Gustavo, Jarlysson, Jean, João, Letícia, Marcelo, Mariana, Nivanda, Renata, Rafael, Samira, Titi, Vinícius, meu muito obrigada por terem passado pela minha caminhada!

Aos colegas que fiz na Pós-Graduação, em especial à Nayane Maia e ao Danilo Tedesco, aos quais me ajudaram muito com a construção do conhecimento para alcançar o segundo capítulo desta tese. Gratidão!

Aos colegas e amigos que tive na temporada “doutorado sanduíche” nos Estados Unidos – Leticia, Mari, Melina, Tabata, Ju, Cesar, Samuel, Aline, Murilo,

Philip, Fagner, Mari, Eduardo, Julia, Rodrigo e em especial à Lilian e ao Mauricio pela enorme parceria no último mês.

À Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Rondonópolis (atual UFR), pela formação em Engenharia Agrícola e Ambiental e à FCA/Unesp de Botucatu – SP, pelo Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura) que me possibilitaram chegar até aqui.

Ao meu orientador de graduação Prof. Dr. Antonio Renan Berchol por todo ensinamento e valores repassados a mim, por quem tenho tamanha admiração e sou extremamente grata por ter me apresentado a área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Sou grata também por ter acreditado no meu potencial, e por ter me incentivado e apoiado a ingressar no mestrado na UNESP em Botucatu, ao qual me apaixonei mais ainda pela área, que me possibilitou estar hoje aqui defendendo esta tese.

A todos os meus familiares (avós, tias(os), primas(os)) pertencentes às famílias Morelli e Ferreira que, de alguma forma, torceram para essa conquista.

A todos meus amigos, colegas e conhecidos que fiz “nesta longa estrada da vida” e que de alguma forma torceram para essa conquista.

A todos que contribuíram de forma direta e indiretamente, os meus sinceros agradecimentos.

APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE E MAPEAMENTO DA QUALIDADE DA FIBRA EM CAMPOS COMERCIAIS DE ALGODÃO

RESUMO - A agricultura digital faz uso intensivo de tecnologias proporcionando a utilização de técnicas de aprendizado de máquina na predição da produtividade de culturas com base em sensoriamento remoto. Nesse contexto, este trabalho foi elaborado com o intuito de auxiliar produtores e gerenciadores de dados na antecipação de informações sobre a produtividade do algodão, bem como explorar tecnologias presentes nas colhedoras de algodão que proporciona a rastreabilidade e o mapeamento da qualidade da fibra do algodão em campos comerciais. Dessa forma, o trabalho foi constituído de quatro fases distintas, sumarizadas em quatro capítulos que originaram a tese. O primeiro se trata de um referencial teórico aos temas abordados. O segundo capítulo apresenta resultados inéditos de comparação do desempenho de algoritmos de aprendizado de máquina (K-Nearest Neighbors (KNN), Multilayer Perceptron (MLP), Random Forest, Linear Regression, e AutoML) na predição da produtividade do algodão baseado em índices de vegetação (IV) em campos comerciais no Mato Grosso. O terceiro capítulo fundamenta-se na exploração de tecnologia existente nas colhedoras de algodão (Radio Frequency Identification - RFID), porém pouco explorada, com resultados coletados em duas etapas (Brasil e EUA), apresentando abordagens inéditas, que objetiva vincular as informações de localização de colheita dos módulos com as informações de classificação da fibra recebidas na algodoeira e, por meio da geoespacialização das áreas colhidas dos módulos, resultar na geração de mapas de parâmetros de qualidade da fibra. Para alcançar o objetivo do segundo capítulo que foi identificar o quão cedo, qual índice e com qual algoritmo consegue-se prever a produtividade do algodão no âmbito de fazenda, otimizou-se a predição e por seleção de variáveis (stepwise), avaliou-se apenas o melhor IV em cada campo, e detectou-se que dentre os oito IVs, o Simple Ratio, impulsionado pelo algoritmo KNN apresentou a melhor performance, predizendo com apenas 0.26 e 0.28 t ha⁻¹ de RMSE e MAPE de 5.20%; antecipando com baixo erro em ±143 dias a produtividade de algodão. No terceiro capítulo, concluiu-se que é possível mapear os parâmetros de qualidade da fibra em campos comerciais, desde que se vincule os dados de identificação do módulo com a etiqueta criada na algodoeira para os fardos beneficiados. Os parâmetros de qualidade da fibra apresentam variabilidade em cada módulo e em cada método de coleta, para uma mesma área, e a qualidade do processo de classificação da fibra apresentou pontos fora de controle de maneira isolada. O mapeamento da qualidade da fibra auxiliou na visualização em campo dos parâmetros que sofreram ágios e deságios na comercialização devido à sua classificação atender ou não os padrões do mercado nacional ou internacional.

Palavras-chave: algoritmo de regressão, classificação HVI, imagem de satélite, índice de vegetação, módulo de algodão, rastreabilidade

MACHINE LEARNING COTTON YIELD PREDICTION AND FIBER QUALITY MAPPING IN COMMERCIAL FIELDS

ABSTRACT - Digital agriculture intensively uses technologies to improve machine learning techniques on yield predictions based on remote sensing. Following the context, this research was written to inform farmers and data managers about cotton yield information beforehand. Also, to explore embedded technologies such as Radio Frequency Identification (RFID) in cotton harvesters that provide traceability and mapping of cotton fiber quality on commercial fields in Mato Grosso State, Brazil. This thesis was divided into a four-chapter: the first treats a theoretical reference around themes covered by this research. The second chapter presents unprecedented results comparing the machine learning algorithms' performance (k-Nearest-Neighbours - KNN, Multilayer Perceptron - MLP, Random Forest Linear Regression - RF and Automatic Machine Learning - AutoML) in cotton yield prediction based on vegetation indices (VI). The third chapter explored existing technology to analyze data from Brazil and the USA about the rarely used cotton harvesters (RFID), presenting distinctive approaches and linking information from the area harvested per module with the fiber quality from the gin to generate geospatial maps of fiber quality parameters. To achieve the objective in the second chapter, the prediction was optimized by the variables selection (stepwise) using only the most essential VI among eight VI in each field. As a result, it was detected that Simple Ratio, aided by KNN, showed the best metrics predicting with only 0.26 and 0.28 t ha⁻¹ of RMSE and MAPE of 5.20%, anticipating cotton yield by ± 143 days with low error. Finally, in the third chapter, it was observed that it is possible to map the fiber quality parameters in commercial fields if the module identification data is linked to the label created in the cotton plant for the processed bales. However, the fiber quality parameters showed variability in each module and each collection method for the same area, and the quality of the fiber classification process presented points out of control in an isolated way. Nevertheless, quality mapping is possible and assists in visualizing the parameters that suffered premiums and discounts in the commercialization due to its classification meeting or not the national or international market standards.

Keywords: regression algorithm, HVI classification, satellite image, vegetation index, cotton module, traceability

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

INTRODUÇÃO

O algodão é uma fonte crucial de fibra natural, e os Estados Unidos da América (EUA) é o maior exportador mundial da fibra (USDA, 2022), entretanto, a cotonicultura brasileira vem crescendo e em 2019 posicionou o Brasil como o segundo maior exportador mundial.

Novas técnicas de gerenciamento do campo, investimentos em tecnologias embarcadas, pesquisa e melhor beneficiamento aumentaram a qualidade e a quantidade do algodão brasileiro, adequando-o às necessidades das indústrias internacionais (Severino et al., 2019).

Nos EUA e Brasil a colheita do algodão é totalmente mecanizada e altamente tecnológica, entretanto, mesmo em fazendas que possuem máquinas com sensor de rendimento, ainda se observa a utilização de métodos manuais, considerados morosos, para estimar a produção antes da operação de colheita. Diante disso, é necessário recorrer a métodos alternativos que tornem a atividade mais rápida, como proposto no capítulo 2 do presente trabalho.

A tecnologia na colheita mecanizada do algodão evoluiu de tal forma que as novas máquinas fornecem rastreabilidade e a documentação da colheita em campo estão em ampla adoção. Segundo Franco (2020) os módulos redondos originados pelas colhedoras JD7760, CP690 e JD770 são a maioria do algodão colhido e processado por descarçadores nas regiões produtoras de algodão dos EUA e do Brasil, e contabilizam cerca de 80% em substituição aos antigos módulos retangulares.

Mesmo com esse nível de tecnologia, a rastreabilidade e o completo gerenciamento dos módulos em campo atrelados à classificação da fibra não vêm sendo realizados. Isso porque, para interrelacionar a qualidade da fibra ao local de colheita desta, as fazendas precisam vincular as informações dos módulos com as etiquetas que as algodoceiras criam no beneficiamento desses módulos.

Além de máquinas agrícolas, plataformas digitais como imagens de satélite, parâmetros climáticos/meteorológicos e séries temporais para previsões de produtividade são formas de monitorar e adquirir dados.

Algoritmos de machine learning (aprendizado de máquina) colocam em prática a ideia de que as máquinas podem aprender parcial ou totalmente de forma autônoma diretamente dos dados de entrada. Como resultado, eles são promissores para analisar dados agrícolas em grande volume (big data), agindo de forma mais rápida, eficiente e precisa.

Na colheita do algodão, a tecnologia evoluiu de tal forma que as colhedoras de algodão dotadas da tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) em conjunto com o Rastreador de Colheita (Harvest Identification Cotton), fornece diversas informações como a variedade, coordenadas geográficas do trajeto dos módulos colhidos, umidade, peso, área colhida e produtividade.

Diante do exposto, este trabalho foi elaborado com o intuito de contribuir com a cotonicultura, possibilitando auxiliar produtores e gerenciadores de dados na predição de produtividade e rastreabilidade da qualidade da fibra em campos comerciais de algodão. Como consequência espera-se um ganho de tempo no planejamento, seja na intervenção do manejo à colheita do algodão, e até mesmo na da comercialização.

Dessa forma, o trabalho foi constituído de quatro fases distintas, sumarizadas em quatro capítulos.

No primeiro capítulo foi realizado um referencial teórico abordando a importância de alternativas para estimar a produtividade do algodoeiro utilizando técnicas de aprendizado de máquina com base em sensoriamento remoto por satélite. Além disso, foi abordada a importância da exploração da tecnologia RFID presentes nas recentes colhedoras de algodão, que, com a integração de dados de campo e algodoeira, possibilitam o mapeamento da qualidade da fibra em campos comerciais de algodão.

No segundo capítulo, são apresentados resultados inéditos de comparação do desempenho de algoritmos de machine learning (K-Nearest Neighbors, Multilayer Perceptron, Random Forest, Linear Regression e AutoML) na predição da produtividade do algodão baseado em sensoriamento remoto por satélite. O estudo

foi realizado em 2019 em campos comerciais em propriedade agrícola no estado do Mato Grosso, e utilizou-se imagens do satélite Sentinel 2A adquiridas durante o ciclo do algodoeiro, que originaram índices de vegetação avaliados no algodoeiro das três áreas de estudo (Figura 1).

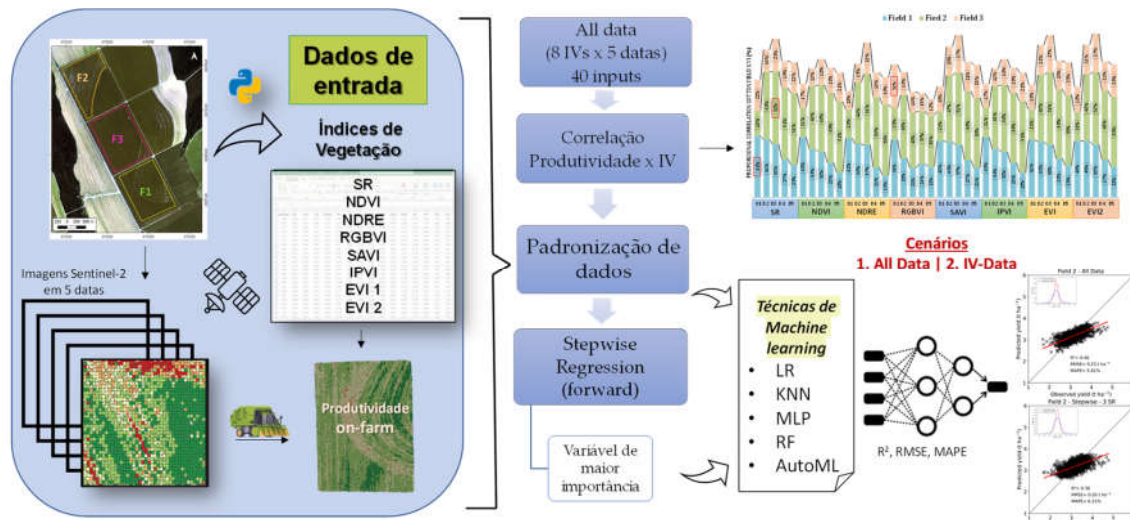


Figura 1. Fluxograma das etapas percorridas na predição da produtividade do algodão utilizando algoritmos de machine learning e índices de vegetação, apresentadas no Capítulo 2.

No terceiro capítulo deste trabalho apresenta-se um estudo inédito realizado em duas etapas (Brasil e EUA), utilizando-se de tecnologia existente nas colhedoras de algodão (RFID), porém pouco explorada no Brasil, que objetiva vincular as informações de localização de colheita dos módulos de algodão com as informações de classificação de fibra recebidas na algodoeira.

Para isso, métodos de amostragem de algodão para avaliar os parâmetros de qualidade da fibra foram testados (coletas da máquina em operação, coletas do módulo em campo, e coletas na algodoeira), avaliados em relação ao controle estatístico do processo por meio de cartas de controle, e por meio da geoespacialização da área colhida dos módulos, mapas de parâmetros de qualidade da fibra em campos comerciais foram gerados (Figura 2).

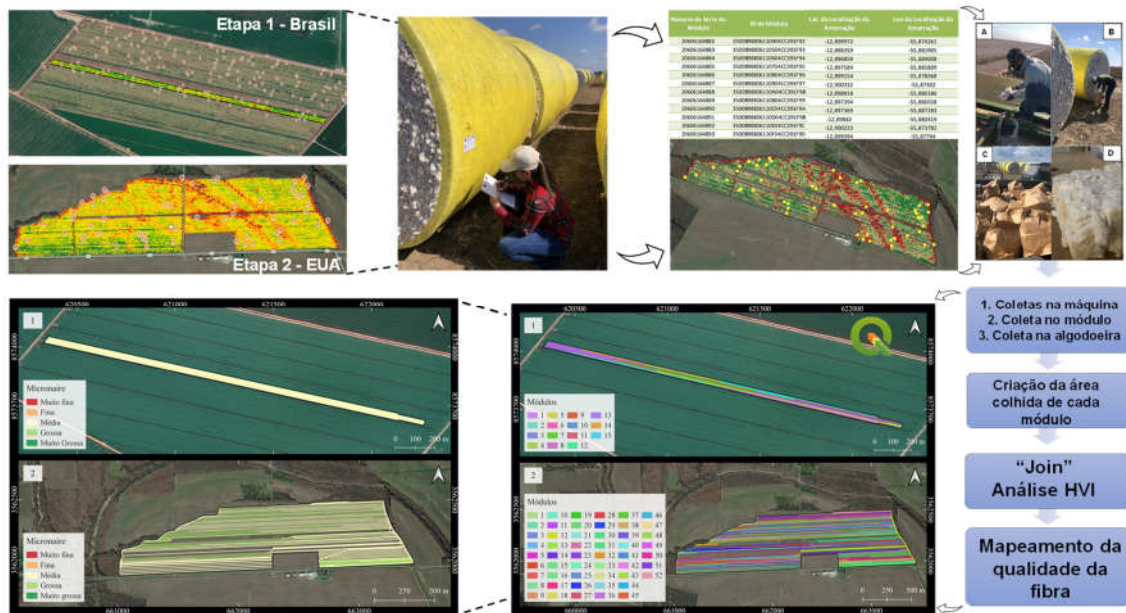


Figura 2. Fluxograma das etapas realizadas para o mapeamento dos parâmetros de qualidade da fibra do algodão, apresentadas no Capítulo 3.

A exploração das ferramentas da agricultura digital abordadas nos capítulos dois e três visam auxiliar produtores e gerenciadores de dados nas tomadas de decisões, sendo assim, no capítulo quatro são apresentadas as considerações finais deste trabalho, os quais demonstram os principais resultados obtidos de forma objetiva e coesa, bem como recomendações e perspectivas de estudos futuros.

Pressupondo que índices de vegetação sejam preditores da produtividade de algodão utilizando aprendizagem de máquina supervisionada e que os parâmetros de qualidade da fibra podem ser rastreados e identificados na resolução de módulo, atrelado ao fato de que a exploração dessas ferramentas auxiliarão o produtor nas tomadas de decisões, este trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de técnicas de auxílio na predição da produtividade e melhoria da rastreabilidade da qualidade da fibra do algodoeiro em campos comerciais.

Conclusões

É possível mapear os parâmetros de qualidade da fibra nas duas etapas da presente pesquisa desde que se vincule os dados de identificação do módulo com a etiqueta criada na algodoeira para os fardos beneficiados.

Esta técnica pode ser utilizada como ferramenta para os produtores visualizarem a variabilidade espacial da qualidade da fibra em seus campos comerciais, por meio de mapas, e tomarem decisões mais assertivas quanto ao manejo da lavoura.

A produtividade pode ser mapeada e classificada à nível de módulo.

Na etapa 1 (Brasil) o método de coleta do fardo (algodoeira) originou classificação de fibra com menor variabilidade no processo.

Os parâmetros de qualidade da fibra apresentam variabilidade em cada módulo e em cada método de coleta, na mesma área.

O processo de classificação ficou dentro dos limites superior e inferior de controle, apresentando variabilidade apenas entre os métodos de coleta, com exceção do parâmetro de classificação grau de cor e folha, que apresentaram diversos pontos fora de controle indicando que o processo não foi estável, coincidindo com a produção de fibras de padrão com qualidade inferior, fora da faixa de comercialização para o mercado internacional (31-4 ou inferior).

Referências

Ayele AG, Kelly BR, Hequet EF (2018) Evaluating Within-Plant Variability of Cotton Fiber Length and Maturity. **Agron. J.** 110:47–55. Doi:10.2134/agronj2017.06.0359

Bachelier B, Gourlot JP (2018) A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. In: AMPA & IMAMT. **Manual de qualidade da fibra da AMPA**. Ed. Jean-Louis Belot. Cuiabá. p.194-204. Disponível em: <http://www.ampa.com.br/arquivos/publicacoes/manual_qualidade_parte2.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2019.

Barnes E (2020) Cotton Module Traceability. Disponível em: <<https://www.cottoninc.com/cotton-production/ag-resources/harvest-systems/rfid-tracking/>>. Acesso em: 01 ago. 2022.

Basf Sementes de algodão - FM 985GLTP (2022). Disponível em: <<https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/fibermax/variedades-fibermax/FM-985GLTP.html>>. Acesso em 01 set. 2022.

Belot JL, Vilela PMC, Galbieri RDS (2017) Variedades comerciais e pré-comerciais de algodão para o Mato Grosso: síntese de resultados agronômicos e de qualidade de fibra obtidos pelo IMAmt até a safra 2015/16. IMAmt – Instituto Mato-grossense do Algodão.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2016). Instrução Normativa nº 24, de 14 de julho de 2016. Regulamento Técnico do algodão em pluma. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/BRA_683.PDF>.

Bolsa Brasileira de Mercadorias (2021) Tabela de ágios e deságios (mercado interno e externo) Disponível em: <https://www.bbmnet.com.br/upload/Tabela_de_Agios_e_desagios_19_10_2021.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020 dão em Pluma. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2016.

Conab, Companhia Nacional de Abastecimento (2021) Acomp. safra bras. grãos, v. 7 - Safra 2020/21 - n. 12 – décimo segundo levantamento, Brasília. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 10 jul 2022.

Conab/MOC – Companhia Nacional de Abastecimento - Manual de Operações (2022) Título 41 - Normas Específicas de Algodão – Safras 2021/2022 e 2022. Comunicado CONAB/MOC N.º 008 de 14/04/2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/images/arquivos/moc/41_NORMAS_ESPECIFICAS_DE_ALGODAO_SAFRA_2021_2022_E_2022.pdf>. Acesso em 13 out. 2022.

Cotton Incorporated (2018) The Classification of Cotton. 32 p. Disponível em: <<https://www.cottoninc.com/wp-content/uploads/2017/02/Classification-of-Cotton.pdf>>. Acesso em 02 set. 2022.

Franco BC (2020) Tama e o algodão. Disponível em: <<https://soudealgodao.com.br/blog/apoiadores/tama/>>. Acesso em: 20 out. 2022.

Fuhrer L, Porter WM, Rains G, Snider JL, Barnes EM (2020) Mapping in-field cotton fiber quality utilizing John Deere Harvest Identification System. **Proceedings...** Beltwide Cotton Conferences, Austin, TX, January, 297-301.

Fuhrer L (2022) **Mapping of in-field cotton fiber quality utilizing John Deere's Harvest Identification System (HID)**. 73 f. Thesis (Master of Science). University of Georgia, Tifton.

Fryxell PA (1971). Phenetic analysis and the phylogeny of the diploid species of *Gossypium* L. (Malvaceae). **Evolution**, v. 25, n. 3, p. 554-562. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1971.tb01916.x.

Ge Y, Thomasson JA, Sui R, Morgan CL, Searcy, WS, Parnell, CB (2008) Spatial variation of fiber quality and associated loan rate in a dryland cotton field. **Precision Agric.**, 9(4), 181–194. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9064-2>.

Ge Y, Thomasson JA, Sui, R. (2012) Wireless-and-GPS system for cotton fiber-quality mappings. **Precision Agric.** n. 13, p. 90-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9225-6>.

Gourlot JP, Drieling A, Qaud M, Gordon S, Knowlton J, Matusiak, M.; Sluijs, R. Van Der; Martin, V.; Froese, K.; Delhom, C (2020) Interpretation and use of instrument measured cotton characteristics - A guideline by ITMF International Committee on Cotton Testing Methods (ICCTM) and by ICAC task force on commercial standardization of instrument testing of cotton (CSITC). Washington, DC [s.n.]. Disponível em: www.csitc.org. Acesso em: 18 Jun. 2020.

Hardin IV RG, Barnes EM, Delhom CD, Wanjura, JD, Ward, JK (2022). Internet of things: Cotton harvesting and processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202, 107294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107294>

John Deere. Colhedora de Algodão CP690. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/magazines/publication.html?id=4f26a16d#5>. Acesso em: 01 mar. 2020.

Johnson RM, Downer RG, MBradow JM, J Bauer, PJ, Sadler EJ (2002) Variability in Cotton Fiber Yield, Fiber Quality, and Soil Properties in a Southeastern Coastal Plain. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 1305-1316. Doi: 10.2134 / agronj2002.1305

Kothari N, Deve J, Hague S, Hequet E (2015) Evaluating intraplant cotton fiber variability. *Crop Sci.* 55:564–570. Doi: 10.2135/cropsci2014.01.0077.

Kottek MJ, Grieser C, Beck B Rudolf, Rubel F(2006) World Map of Köppen Geiger Climate Classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263.

Maldaner LMJ, Spekken M, Molin JP (2019) Software Map Filter 2. Piracicaba: USP Laboratório de Agricultura de Precisão. Disponível em: <<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/software/>>. Acesso em: 28 out. 2022.

Montgomery DC (2013) *Statistical Quality Control*. 7th Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Morais JPS, Farias FJC, Belot J, Martins RSA, Mizoguchi ET (2021). Interpretação das características avaliadas no SITC para qualidade de fibra de algodão – uma abordagem prática. Campina Grande: Embrapa Algodão. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134241/1/PUBLICA_R-AINFO-DOC285.pdf>. Acesso em 05 ago. 2022.

IoP Journal (2020) ID-Cotton guarantees cotton quality from the agriculture. Disponível em: <<https://iopjournal.com.br/id-cotton-guarantees-cotton-quality-from-the-agriculture/?lang=en>>. Acesso em 01 ago. 2022.

Porter WM et al. Tracking Cotton Fiber Quality and Foreign Matter through a Stripper Harvester. *The Journal of Cotton Science.* 21:29-39 (2017). Disponível em: <<https://www.cotton.org/journal/2017-21/1/upload/JCS21-029.pdf>>. Acesso em 02 mar. 2020.

Santos HG, JacominE PKT, Anjo LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho, JC; Oliveira, JB, Cunha, TJF (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>>. Acesso em: 10 maio. 2021.

Silva ORRF, Sofiatti V (2017) Colheita e Beneficiamento In Sistemas de Produção 2 ed. Embrapa Algodão. ISSN 1678-8710. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_lifecycle=0&p_p_id=conteudopor_tlet_WAR_sistemasdeproducao1f6_1ga1ceportlet&p_p_col_count=1&p_p_col_id=column-1&p_p_state=normal&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7718&p_r_p_-996514994_topicId=7993&p_p_mode=view>.

Silva RP, Corrêa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008). Statistical control applied to the mechanized harvesting process of sugarcane. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 292-304.

Soil Survey Staff (2014) Keys to Soil Taxonomy (12th ed.) Washington DC: USDA-Natural Resources Conservation Service.

Stackhouse P. (2010) Prediction of worldwide energy resource. Hampton: NASA Langley Research Center. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/>>.

Taylor RA (1990) Estimating the size of cotton trash with video images. *Textile Research Journal*, v. 60, n. 4, p. 185-193, 1990. Doi: 10.1177/004051759006000401.

United States, Department of Agriculture (2020) Washington, DC, 1982. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT87208951/PDF>. Acesso em: 17 jun. 2022

USDA - United States Department of Agriculture (2018) Cotton Classification: Understanding the Data. Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CottonDBUnderstandingtheData.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

USDA - United States Department of Agriculture (2021a) National Agricultural Statistics Service. Crop Production – December. ISSN: 1936-3737. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/crop1221.pdf>. Acesso em: 10 mar 2022.

USDA - United States Department of Agriculture (2021b) Premiums and Discounts for Grade, Staple Length, and Leaf Content of 2021 - Crop American Upland Cotton 1. 5 p. Disponível em: <<https://www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdfiles/Price-Support/pdf/2021/2021%20Cotton%20%20Premiums%20and%20Discounts.pdf>>.

USDA – United State Department of Agriculture (2020) World Agricultural Production. Circular Series WAP 2-20 February. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2020

Wakeham H (1955) Cotton fiber length distribution: an important quality factor. *Textile Research Journal*, v. 25, n. 5, p. 422-429, 1955. DOI: 10.1177/004051755502500509.

Wanjura, JD, Barnes EM, Pelletier, MG, Holt GA (2017) New Technologies for Managing Cotton Modules. **Proceedings...** Beltwide Cotton Conference, Dallas, TX. Memphis, TN: National Cotton Council of America. 420-432.

Wanjura JD, Barnes EM, Holt GA, Pelletier MG (2018) New technologies for managing cotton modules and harvest information. **Proceedings...** Beltwide Cotton Conf. pp. 841-856. National Cotton Council of America, Memphis, TN.

Wanjura JD, Holt GA, Pelletier MG, Barnes EM (2020). Advances in managing cotton modules using RFID technology - system development update. **Proceedings...** Beltwide Cotton Conference National Cotton Council Beltwide Cotton Conference. 588-609.

Ward JK, Mitchell L, Barnes EM. Fiber Quality Mapping for Yield and Quality Interaction **Proceedings...** Beltwide Cotton Conference, San Antonio TX. Disponível em: <<https://ncc.confex.com/ncc/2022/meetingapp.cgi/Paper/21911>>. Acesso em 05 jul. 2022.

Ward JK (2020) Cotton Quality Mapping. Doi: <https://doi.org/10.1094/GROW-COT-12-20-275>.