

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**LEVANTAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E ETIOLOGIA
DAS PODRIDÕES DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) NO SEMIÁRIDO
DA BAHIA**

JESSICA SILVA SANTOS

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

FEVEREIRO-2021

**LEVANTAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E ETIOLOGIA
DAS PODRIDÕES DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) NO
SEMIÁRIDO DA BAHIA**

JESSICA SILVA SANTOS

Bacharel em Engenharia Agrônômica
Universidade Federal de Sergipe, 2018

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola.

Orientador: Ana Cristina Fermino Soares

Co-Orientadores: José Ricardo Gonçalves Magalhães

José Luiz Bezerra

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

FEVEREIRO-2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S2371

Santos, Jessica Silva.

Levantamento por sensoriamento remoto e etiologia das podridões do mandacaru (*Cereus jamacaru*) no Semiárido da Bahia / Jessica Silva Santos. – Cruz das Almas, Bahia, 2021.

78f.; il.

Orientadora: Ana Cristina Fermino Soares.

Coorientador: José Ricardo Gonçalves Magalhães.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Pós-graduação em Microbiologia Agrícola.

1.Cactacea – Doença. 2.Cacto – Plantas da Caatinga .
3.Sensoriamento remoto – Semiárido – Análise.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Bezerra, José Luiz. III.Título.

CDD: 582.852

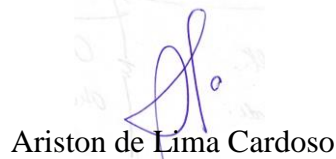
Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO

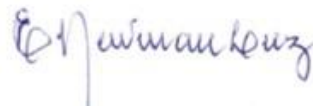
COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
JESSICA SILVA SANTOS



Prof. Dr. Ana Cristina Fermino Soares
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Orientador)



Ariston de Lima Cardoso
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



Edna Dora Martins Newman Luz
Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – Ceplac

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola em _____ conferindo o grau de Mestre em Microbiologia Agrícola em _____.”

*Dedico este trabalho à minha “mainha”
Zeza, mãe guerreira, que me ensinou a ser
independente e a correr atrás dos meus
objetivos com dedicação, meu melhor exemplo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por todos os bons momentos vivenciados durante a caminhada.

Agradeço à minha mãe Maria José (Zeza), por sempre ter me incentivado nos estudos e na vida, por sua dedicação, abdicção e auxílio que foram fundamentais durante esta jornada. Às minhas irmãs Lídia e Regina pelo carinho, compreensão e companheirismo em todos os momentos da vida.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Ana Cristina Fermino Soares, pela oportunidade, ensinamentos, dedicação e carinho ao repassar o conhecimento que fez total diferença na minha formação, só tenho a agradecer.

Agradeço aos meus co-orientadores, José Ricardo Gonçalves Magalhães e José Luiz Bezerra, por toda contribuição e ensinamentos que tornaram este projeto enriquecido em suas vertentes.

Agradeço a todos os professores do curso de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola-UFRB-EMBRAPA, que contribuíram para minha formação profissional e científica.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Microbiologia, Eliane, Beatriz, Wélica, Aurelio, Marília, Elisângela, Renata, e a todos os que conheci e que de alguma forma fizeram parte deste processo. Também as técnicas (anjos) Lene e Veronica, pela ajuda e companheirismo, ao porteiro do bloco L, Derlon, por tantas risadas, vocês são incríveis!

Agradeço a minha turma 2018.2, companheiros de jornada com os quais compartilhei momentos únicos e inesquecíveis, em especial a Leide e Kryste, minhas parceiras de todas as horas, obrigada por todos os momentos de risadas, estudos, desabafos e cumplicidade que compartilhamos, vocês tornaram a caminhada mais prazerosa. Obrigada por tudo, irei levar para vida.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta me incentivaram e ajudaram a alcançar meu objetivo. Simplesmente, GRATIDÃO!

“O mandacaru simboliza a permanência, a força, a esperança, a tenacidade, o suportar as agruras sem esmorecer ou definhar de vez. Simboliza a beleza, a majestade sertaneja, a demonstração da pujança na sua flor. Sim, pois mandacaru tem flor e não há flor mais bela que a do mandacaru. Ao alvorecer, quando toda mataria entristece de sequeidão, a flor é avistada no alto ou nas pontas de suas mãos, de forma singela e esplendorosa, ávidas por um beijo do primeiro pássaro que surgir.”

Rangel Alves da Costa

ÍNDICE

Resumo	9
Abstract	10
Introdução geral	11
CAPITULO I	13
Revisão bibliografica	14
CAPITULO II	34
Levantamento por sensoriamento remoto e etiologia das podridões do mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i>) no semiárido da Bahia	34
Resumo	35
Introdução	37
Material e Métodos	40
Resultados	46
Discussão	57
Conclusões	65
Referências	66

SANTOS, J. S. Levantamento por sensoriamento remoto e etiologia das podridões do mandacaru (*Cereus jamacaru*) no semiárido da Bahia. Cruz das Almas, 2021. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Resumo

O mandacaru (*Cereus jamacaru*) é uma cactácea nativa do Brasil, e comum no bioma Caatinga, o qual predomina no semiárido brasileiro. As doenças desta cactácea, observadas no semiárido baiano, afetam seus cladódios, inviabilizando a sua utilização e afetando negativamente a sua multiplicação. O sensoriamento remoto está entre as principais técnicas usadas atualmente para tomada de decisões, nos segmentos agrícola e ambiental. Os objetivos deste estudo foram: 1) identificar os agentes etiológicos das podridões do mandacaru, no semiárido da Bahia e 2) avaliar a ocorrência da(s) podridão(ões) no mandacaru por sensoriamento remoto e observação *in loco*. O trabalho foi realizado em áreas com mandacaru nativo, nos municípios de Valente (MVL), Riachão do Jacuípe (MRJ) e São Domingos (MSD), na Bahia. Os cladódios sintomáticos foram coletados em campo e os microrganismos foram isolados, identificados e avaliados quanto à patogenicidade. A análise por sensoriamento remoto foi realizada com sensores RGB (Red, Green, Blue) e multiespectral, embarcados em um veículo aéreo não tripulado (VANT) multirrotor. A incidência da doença foi avaliada *in loco* e pelo sensoriamento remoto, e a severidade foi analisada *in loco*. A podridão no mandacaru é causada pelos fungos dos gêneros *Lasiodiplodia* sp., *Dichotomophthora* sp. e *Clonostachys* sp. A composição falsa-cor 541 foi a melhor na análise qualitativa dos sintomas da podridão no mandacaru pelos mapas. A incidência da doença foi de 53% (MVL), 63% (MRJ) e 59% (MSD) na observação *in loco* e de 34%, 30% e 50% pelas imagens, respectivamente. A severidade da doença foi de 40 a 100% nos cladódios avaliados, sendo essas porcentagens em 16% dos cladódios da área MVL e 17% em MRJ e MSD. Os índices vegetativos NDVI e NDRE em plantas sintomáticas foram abaixo de 0,51 e 0,59, respectivamente. É possível avaliar a ocorrência da podridão de cladódios no mandacaru via sensoriamento remoto. Este é o primeiro relato de *Lasiodiplodia* sp. e *Dichotomophthora* sp. causando podridão em cladódios de *Cereus jamacaru* no semiárido da Bahia, e de *Clonostachys* sp. como agente patogênico em cactáceas.

Palavras-chave: Caatinga, cactáceas, fitopatógenos, Drone.

SANTOS, J. S. Survey by remote sensing and etiology of rot of mandacaru (*Cereus jamacaru*) in the semiarid region of Bahia. Cruz das Almas, 2021. Dissertation (Master in Agricultural Microbiology). Federal University of Recôncavo da Bahia.

Abstract

Mandacaru (*Cereus jamacaru*) is a cactus native to Brazil, and common in the Caatinga biome, which predominates in the Brazilian semiarid region. The diseases of this cactus, observed in the Bahian semiarid, affect its cladodes, making its use unfeasible and negatively affecting its multiplication. Remote sensing is among the main techniques currently used for decision making, in the agricultural and environmental segments. The objectives of this study were: 1) to identify the etiologic agents of mandacaru rot in the semiarid region of Bahia and 2) to evaluate the occurrence of rot (s) in mandacaru by remote sensing and observation in loco. The work was carried out in areas with native mandacaru, in the municipalities of Valente (MVL), Riachão do Jacuípe (MRJ) and São Domingos (MSD), in Bahia. Symptomatic cladodes were collected in the field and microorganisms were isolated, identified and evaluated for pathogenicity. The analysis by remote sensing was performed with RGB (Red, Green, Blue) and multispectral sensors, embedded in a multirotor unmanned aerial vehicle (UAV). The disease incidence was assessed on the spot and by remote sensing, and the severity was analyzed on the spot. Rot in mandacaru is caused by fungi of the genera *Lasiodiplodia* sp., *Dichotomophthora* sp. and *Clonostachys* sp. The false-color composition 541 was the best in the qualitative analysis of the symptoms of rot in mandacaru by maps. The disease incidence was 53% (MVL), 63% (MRJ) and 59% (MSD) on site observation and 34%, 30% and 50% by images, respectively. The severity of the disease ranged from 40 to 100% in the evaluated cladodes, with these percentages in 16% of the cladodes in the MVL area and 17% in MRJ and MSD. The vegetative indices NDVI and NDRE in symptomatic plants were below 0.51 and 0.59, respectively. It is possible to evaluate the occurrence of cladodes rot in mandacaru via remote sensing. This is the first report of *Lasiodiplodia* sp. and sp.

causing rot in *Cereus jamacaru* cladodes in the semiarid region of Bahia, and *Clonostachys* sp. as a pathogen in cacti.

Key words: Caatinga, cactacea, phytopathogens, Drone.

Introdução geral

O semiárido corresponde a 11,5% do território nacional, com clima caracterizado por temperaturas elevadas, associadas a baixas precipitações pluviométricas. O bioma predominante é a Caatinga, que engloba 70% do nordeste brasileiro (Cavalcante et al., 2013). Dentre as espécies existentes na Caatinga estão alguns representantes da família Cactaceae, como o cacto colunar mandacaru (*Cereus jamacaru* De Candolle.), espécie amplamente distribuída na região e importante para o desenvolvimento sustentável e a conservação da biodiversidade no semiárido (Alencar et al., 2012; Silva e Alves, 2009).

O mandacaru pode ser utilizado para fins medicinal, ornamental, industrial e alimentar, para os seres humanos e os animais. Nos períodos de seca, os agricultores cortam o mandacaru e queimam seus espinhos para utilizar este cacto na alimentação de caprinos, ovinos e bovinos (Sales et al., 2014). Porém, o mandacaru é acometido por doenças, principalmente as fúngicas, tais como a podridão-azul causada pelo fungo *Dichotomophthora cactacearum* (Ponte e Freire), a podridão de Lasiodiplodia causada por *Lasiodiplodia theobromae* (Patouillard) Griffon e Maublanc), a antracnose causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. e Sacc.) e outras patologias causadas pelos fungos *Scytalidium lignicola* (Pes) e *Bipolaris cactivora* (Petr.) Alcorn), doenças que afetam diretamente os cladódios e podem levar a planta à morte (Freire, 2009; Gomes et al., 2020).

O sensoriamento remoto é uma das principais técnicas utilizadas nos últimos anos, para a tomada de decisões em diversos segmentos. Consiste na obtenção de dados da superfície terrestre por meio de imagens, sem que ocorra contato direto com alvo, permitindo a detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética (REM) com os materiais terrestres (Senar, 2019; Meneses et al., 2012). Alterações na REM absorvida, transmitida e refletida pelas plantas permite estimar produtividade, avaliar o estado nutricional, o hídrico, a presença de plantas daninhas e a detecção de pragas e doenças (Lopes et al.,2020; Menezes et al.,2012). A análise geralmente é realizada através dos índices vegetativos, que consistem em cálculos entre os comprimentos de onda obtidos pela reflectância do espectro eletromagnético (Shiratsuchi et al., 2014).

As técnicas convencionais de avaliação de doenças de plantas em campo requerem tempo e um grande número de pessoas qualificadas, enquanto que a utilização de sensores pode conferir uma análise mais precisa e objetiva de doenças em plantas, tornando o processo mais rápido e preciso, com menos pessoas qualificadas envolvidas (El-Ghany et al., 2020). Agricultores do semiárido da Bahia vem relatando o aumento de doenças no mandacaru, em especial de uma podridão nos cladódios, afetando as novas brotações, o que vem impossibilitando a utilização dos cladódios na alimentação animal e colocando em risco a conservação dessa espécie na região. Portanto, os objetivos deste estudo foram identificar os agentes etiológicos das podridões associadas aos cladódios do mandacaru no semiárido da Bahia e analisar a ocorrência dessas podridões através de sensoriamento remoto.

CAPITULO I

Revisão de literatura

Mandacaru (*Cereus jamacaru*)

O semiárido brasileiro abrange a 11,5% do território nacional. O clima característico é o tropical-árido, com temperatura média anual oscilando entre 27°C e 32°C, baixa umidade do ar, alta insolação, quantidade limitada ou má distribuição das precipitações pluviométricas, associadas as elevadas taxas de evaporação. As chuvas concentram-se em três a seis meses e o resto do ano corresponde à estiagem com chuvas inconstantes. No geral, os solos são rasos, pedregosos e com afloramentos de rocha localizados, características que desfavorecem a retenção de água das chuvas. Os rios e riachos das regiões semiáridas geralmente são intermitentes, ou seja, só ocorrem durante as chuvas e secam durante a estiagem (Cavalcante et al., 2013).

A vegetação que domina o semiárido é a Caatinga, formação florestal que engloba 70% do nordeste brasileiro e é caracterizada pela presença de arbustos e árvores espontâneas, distribuídas de forma adensada, com porte baixo, os quais no período de estiagem apresentam aspecto seco, com folhas pequenas e caducas. Essas plantas apresentam ciclo de vida curto, com dormência das sementes e presença de espinhos, assim como caules e raízes suculentas, que armazenam água e nutrientes, sendo exemplos de adaptação à seca (Cavalcante et al., 2013; Correia et al., 2012).

Entre as espécies existentes na Caatinga, estão alguns representantes da família Cactaceae. Segundo Zappi et al., (2007), a família apresenta cerca de 120 gêneros e distribuição quase exclusiva nas Américas, com centros de diversidade no México, Leste do Brasil e Andes (Peru e Bolívia). São plantas perenes, que apresentam caule suculento com função fotossintetizante, com flores são vistosas e o fruto é do tipo baga, suculento, com polpa colorida, sólida ou mucilagínosa.

As cactáceas caracterizam-se por apresentarem metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), um mecanismo de concentração de dióxido de carbono, com sistema altamente eficiente no uso da água, devido ao comportamento dos estômatos, que abrem a noite e fecham durante o período quente e seco do dia (Taiz et al. 2017), o que proporciona aos cactos a habilidade de se desenvolverem e reproduzirem em condições extrema e de elevada limitação hídrica (Mizrahi et al., 2002). Considerando as mudanças climáticas que têm ocorrido em todas as regiões do mundo e a crescente escassez de água em muitas áreas, essas plantas estão sendo vistas como um novo recurso alimentar e hídrico, de importância significativa para o futuro da humanidade (Mizrahi et al., 2002).

O gênero *Cereus* apresenta plantas terrestres, arborescentes ou arbustivas, com raízes tuberosas, tecidos vasculares lenhosos, epiderme e cutícula espessa, resistente, e muitas vezes coberta por cera, com flores grandes, alongadas e com antese noturna e aroma mais ou menos adocicado e agradável, com o frutos ovóides a subcilíndricos, deiscentes através de fenda lateral ou apicalmente, pericarpo rosa-forte a vermelho, amarelo ou alaranjado, com sementes são escuras, lisas a ruminadas, planas a convexas (Zappi et al., 2007).

Uma das espécies mais representativas da Caatinga no Brasil é o cacto colunar *Cereus jamacaru*, também conhecido como Mandacaru, que é amplamente distribuído na região semiárida e se desenvolve junto a outras espécies de cactáceas, formando a paisagem típica do Nordeste. Este cacto é considerado uma planta importante para o desenvolvimento sustentável e conservação da biodiversidade da Caatinga, além de ser essencial para o povo sertanejo, devido às suas características adaptativas e seu potencial de utilização (Alencar et al., 2012; Silva e Alves, 2009).

O mandacaru pode atingir até 10 metros de altura, possui tronco lenhoso que pode chegar a 60 cm de diâmetro, com muitas hastes eretas, formando um topo compacto (Zara et al., 2012). Vegeta em solos pobres em nutrientes, até mesmo rochas, onde existe um pouco de areia, e resiste há vários meses de seca (Oliveira et al., 2007). Possui flores solitárias, noturnas, laterais e subapicais, brancas, de 20 cm a 30 cm de comprimento, 1,5 cm de diâmetro, recobertas de escamas largas e oblongas de cor verde-escura. Os frutos são repletos de inúmeras sementes de cor preta e bem pequenas. São elipsoides, de 05 cm a 12 cm de diâmetro, alaranjados ou vermelhos, com polpa mucilaginoso branca, de aroma suave, comestível e doce (Simões et al. 2020).

O caule e as raízes do mandacaru possuem compostos químicos como nitrato de sódio, B-sisterol, aminas como a tiramina, N-metilamida e horderina. Além do caule, nas folhas e sementes também pode ser encontrados ácidos graxos insaturados, como o oleico e o linoleico, entre os saturados, os ácidos palmítico, cítrico, ascórbico, esteárico, betalaína e indicaxantina, assim como grande quantidade de fibras (Davet, 2009; Meiado et al., 2010). O fruto fresco apresenta teor de água de 82,75%, acidez titulável de 0,18%, pH de 4,35, compostos fenólicos de 28,35 mg.100⁻¹g (Moreira et al., 2018), elevado conteúdo de polifenóis e sólidos solúveis totais, como também relevante atividade antioxidante, indicando ser adequado para o consumo *in natura*, bem como para o processamento industrial (Silva e Alves, 2009; Melo et al., 2017).

O mandacaru pode ser utilizado para diversos fins, desde o medicinal até a construção civil, porém o conhecimento em relação as suas potencialidades ainda se encontram em estudo. A aplicação medicinal popular do mandacaru atribui a esta espécie funções como ação diurética, benefícios no tratamento de doenças do coração,

respiratórias e renais, além de possuir elementos com atividade anticonstipante, anti-hipertensivo, antirreumático, antiemético, com ação contra albuminúria, diabetes, e no combate ao escorbuto, verminoses, furúnculos e abscessos (Sales et al.,2014).

Messias et al. (2010) relataram a ação antimicrobiana e vasodilatadora em roedores. Davet et al., (2009) investigaram a atividade antibacteriana *in vitro* do mandacaru, observando a inibição do crescimento de microrganismos como o *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Outros autores relataram que o extrato hidroalcoólico e a tiramina do cladódio do mandacaru atuaram reduzindo o crescimento tumoral e amenizando os sintomas de mal de Parkinson em camundongos (Oliveira e Machado, 2003; Bruton et al., 2006)

Além do potencial medicinal, o mandacaru tem importância econômica para o nordestino, pois no período de seca, esta planta é utilizada para alimentar os rebanhos de caprinos, ovinos e bovinos dos pequenos agricultores, além de ser uma fonte de renda, por ser comercializada entre os produtores (Cavalcanti e Resende, 2006). Na alimentação animal, o caule do mandacaru é utilizado como volumoso por armazenar grande quantidade de água e ter uma concentração de proteína bruta que chega a mais de 10% (Davet et al., 2009).

Os frutos do mandacaru servem principalmente de fonte de alimento para diversos animais silvestres, no entanto são pouco aproveitados comercialmente, apesar de apresentarem potencial para o melhoramento genético (Nunes et al., 2013). Neste contexto, alguns estudos com a finalidade de elaborar produtos com valor agregado, demonstraram potencialidade para produção de bebidas fermentadas (Almeida et al.,

2011), fruta desidratada em pó (Oliveira et al., 2015), sorvete e iogurte (Fidelis et al., 2015) como derivados do fruto do mandacaru. Das sementes pode ser extraído óleo para uso culinário (Davet, 2009).

O cladódio, por ser lenhoso e espesso, é utilizado popularmente como alicerce de casas, na construção de telhados, carroças, portas, janelas e reservatórios de água, como também no seu tratamento. A mucilagem do caule do mandacaru pode melhorar a resistência de argamassas de gesso, cal ou cimento. O mandacaru por sua beleza e rusticidade, também é muito utilizado na decoração de interiores, jardins e em projetos paisagísticos (Cavalcante et al., 2013; Sales et al., 2014; Zara et al., 2012).

As cactáceas podem ser multiplicadas tanto pela propagação sexual (sementes), que proporciona a conservação da variabilidade genética, quanto por propagação assexual ou vegetativa (estaquia, enxertia) e cultivo *in vitro*, que é mais voltado para clonagem, sua exploração ocorre em sua maioria de forma extrativista, porém é possível e viável a produção de mudas envasadas (Cavalcante et al., 2013; Correia et al., 2012). Apesar de ser considerada uma planta resistente, devido as suas características morfológicas e fisiológicas, o mandacaru é acometido por fitopatógenos que podem afetar seu desenvolvimento e reprodução, causando prejuízos econômicos e ambientais.

As principais doenças associadas ao mandacaru são a podridão azul causado pelo fungo *Dichotomophthora cactacearum*, mais comum nos períodos chuvosos, praticamente desaparecendo na época seca. A infecção ocorre apenas na parte superior dos cladódios, as quais exibem lesões escuras, azuladas, às vezes com abundante formação de estruturas vegetativas e reprodutivas do patógeno sobre as áreas lesionadas. A podridão de *Lasiodiplodia* causada pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, que é um

micro-organismo polífago, com vários hospedeiros de importância econômica. Geralmente este fungo inicia a infecção tanto na parte basal quanto no ápice dos cladódios, os sintomas típicos são o escurecimento dos tecidos infectados, seguido de apodrecimento, que pode levar a planta à morte (Freire, 2009). Também ocorre a antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, que afeta a parte terminal dos cladódios, provocando uma extensa lesão de coloração azulada, às vezes com linhas concêntricas. O fungo *Scytalidium lignicola* Pes. é mais comum na palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), mas também foi isolado no mandacaru em lesões semelhantes a uma verrugose (Gomes et al., 2020).

Sensoriamento remoto da vegetação

O sensoriamento é um conjunto de ferramentas utilizadas para a obtenção de informações sobre alvos, e é dividido em sensoriamento direto, quando um sensor entra em contato com o alvo, e o sensoriamento remoto, termo que foi mencionado na literatura científica pela primeira vez em 1960, que consiste na obtenção de dados da superfície terrestre por meio de imagens, sem que ocorra contato direto com o alvo, permitindo a detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Senar, 2019; Meneses et al., 2012).

O sensoriamento remoto é uma das principais técnicas utilizadas para tomada de decisões em diversos segmentos, pois através de imagens e programas computacionais vem se tornando uma importante ferramenta em várias áreas de atuação, dentre os quais estão o manejo e gestão de recursos naturais nos setores agrícola e ambiental (Tullio, 2018).

Através do mapeamento é possível uma avaliação mais avançada de características do ambiente, propiciando uma extensa visão em relação a distribuição espacial, temporal e dos padrões de classes de diferentes ambientes, com isto, é possível construir modelos de quantificação de biomassa ou identificar anomalias fenológicas presentes em vegetações nativas ou estabelecidas, permitindo a análise de impactos ambientais e agrícolas (Lopes et al., 2020). Com os dados obtidos pode se definir o planejamento estratégico e a busca da solução, auxiliando no monitoramento e fiscalização em geral (Pereira et al., 2012).

A análise sensorial remota parte do pressuposto de que cada objeto tem características únicas de reflexão e emite uma assinatura eletromagnética específica (Molin et al., 2015). Para tal, quatro elementos são fundamentais: fonte, alvo, sensor e a REM (radiação eletromagnética), que é a ligação entre todos os demais elementos. A REM propaga-se no vácuo, na velocidade da luz, e a sua interação com o meio físico pode ser explicada através dos modelos quântico ou ondulatório (Novo e Ponzoni, 2001; Jensen, 2009).

No modelo quântico, a REM é produto da irradiação de diminutos latejos de energia, enquanto que no modelo ondulatório, a REM se propaga na forma de ondas formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético. Esse conjunto de ondas que vai desde os raios gama até as ondas de rádio, é conhecido como espectro eletromagnético, que é a disposição destas radiações em razão do comprimento de onda e da frequência emitida, abrangendo a região do visível (400-700 nm), infravermelho próximo (700-1300 nm) e infravermelho de ondas curtas (Moreira, 2007).

Dentre os componentes fracionados resultantes da interação da radiação solar com a planta (reflexão, absorção e transmissão), a energia refletida é mais utilizada em estudos por sensoriamento remoto, pois é nessa faixa do espectro eletromagnético que existem mais sensores disponíveis para registro das informações (Moreira, 2007). A avaliação da vegetação por meio da energia eletromagnética refletida envolve vários fatores conjunturais, como a estrutura da planta, estágio de crescimento, propriedades físicas e químicas e condições atmosféricas (Liu, 2006). De acordo com Kuplich et al., (2016), na análise sensorial remota, o principal órgão vegetativo estudado são as folhas, que é onde ocorrem mais interações da REM com a planta.

As características morfológicas e fisiológicas que mais atuam na energia eletromagnética refletida pelas plantas são os pigmentos (carotenóides, clorofila *a* e *b*, e antocianina), espaços intercelulares, estruturas celulares, conteúdo hídrico e de ar, maturação vegetativa, posição nodal, condição de iluminação, pubescência e senescência (Moreira, 2007; Jensen, 2009; Liu, 2006).

Modificações nestes fatores influenciam diretamente na energia eletromagnética absorvida, transmitida e refletida pelas plantas, e a partir dessas alterações é possível determinar variações na cobertura vegetal, permitindo estimar produtividade, avaliar estado nutricional, estresse hídrico, presença de plantas daninhas e detecção de pragas e doenças (Menezes et al., 2012). Essa análise é realizada através dos índices vegetativos, que consistem em operações matemáticas entre os comprimentos de onda obtidos pela reflectância do espectro eletromagnético (Shiratsuchi et al., 2014), sendo as bandas do vermelho e do infravermelho próximo às mais utilizadas por conterem cerca de 90% da variação da resposta espectral da vegetação (Guedes e Silva, 2018).

Os principais índices vegetativos utilizados na análise vegetativa são o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index/ Índice De Vegetação De Diferença Normalizada), associado ao vigor da planta e produção de biomassa e o NDRE (Normalized Difference Red Edge/ Borda vermelha de diferença normalizada) que avalia perturbações bioquímicas na escala da estrutura celular das plantas, assim como sua captação de nitrogênio e o SAVI (Adjusted Soil Vegetation Index /Índice de Vegetação Ajustado do Solo), índice muito similar ao NDVI, porém este diminui os efeitos de saturação do solo (Shiratsuchi et al., 2014).

Para a captação desses índices, são utilizadas câmeras especiais que vão embarcadas em veículos aéreos não tripulados (VANTs), comumente conhecidos como drones, as câmeras que podem ser convencionais, multiespectrais ou termais possuem sensores que captam a reflexão da radiação eletromagnética após interação com diversas superfícies, em diferentes comprimentos de onda, abrangendo a região do visível, infravermelho próximo, e infravermelho de ondas curtas (Molin et al., 2015).

Os sensores podem indicar uma condição de estresse na planta causada pela transpiração ou redução da absorção de CO₂ e da atividade fotossintética, pois a assinatura espectral da planta resulta em uma série de padrões que auxiliam na identificação do estágio fisiológico e da saúde da planta (Castro Jorge e Inamasu, 2014). A aplicação do sensoriamento remoto na análise vegetativa é recurso promissor para o manejo e avaliação das perturbações que ocorrem em diferentes ambientes e com diversas espécies de plantas.

Sensoriamento remoto na análise fitossanitária

As técnicas convencionais de avaliação de fitopatologias em campo requerem tempo e grande número de pessoal qualificado, a depender da extensão da área, o que pode tornar a análise inviável. Nestas circunstâncias, a utilização de sensores pode conferir uma análise mais precisa e objetiva de doenças em plantas, o que é fundamental para tomada de decisão, visando ações subsequentes de controle (El-Ghany et al., 2020)

A energia eletromagnética refletida pelo tecido do vegetal é modificada de acordo com o estado de saúde, pois plantas sob estresse apresentam um aumento na refletância da superfície vegetal na região do visível, resultando na redução do nível de clorofila e diminuição na absorção de luz, afetando a fotossíntese e, conseqüentemente a vitalidade (Rani et al. 2018). De modo geral, plantas saudáveis apresentam baixa reflectância na região do espectro visível (400-700 nm) e do infravermelho (1.200-2.400 nm) e alta reflectância na região do infravermelho próximo (700-1.200 nm), e essa diferenciação da assinatura espectral também ocorre de acordo com os tipos de doenças, pois alteram de formas divergentes as propriedades óticas dos tecidos vegetativos, permitindo a avaliação da ocorrência de doenças baseada nas medidas do espectro em diferentes combinações de comprimento de ondas (Amarin e Bergamim Filho, 2018).

De acordo com Oerke (2020), o uso de imagens digitais aliado a informações espaciais e métodos de processamento são uma ferramenta poderosa na percepção de doenças. Porém, a diferenciação entre os sintomas de doenças que podem ocorrer em uma cultura, independente ou simultaneamente, além dos estresses abióticos que podem afetar a mesma cultura ao mesmo tempo, tornam a singularidade das assinaturas espectrais de doenças de plantas não aceitas universalmente na literatura. No entanto, estudos recentes

com diferentes sensores demonstraram que a análise de fitopatologias por sensoriamento remoto está evoluindo constantemente, a partir da sua aplicação na detecção de diversas doenças em diferentes espécies vegetais. Abdulridha et al. (2020) utilizaram sensor hiperespectral em condições de laboratório e em campo embarcado em VANT para classificar plantas de tomate com e sem sintomas de mancha bacteriana, mancha alvo e enrolamento de folha amarela e distingui-las utilizando múltiplos índices de vegetação, dentre os quais, os índices de vegetação de diferença renormalizado (RDVI) e o índice de vegetação triangular modificado 1 (MTVI 1) foram altamente precisos.

Dang et al., (2020) conseguiram detectar a murcha de *Fusarium* em rabanetes utilizando imagens RGB e NIR obtidas por sensores multiespectrais e categorizaram a severidade da doença em regiões saudáveis, murchas leves e murchas graves, aplicando diferentes técnicas de visão computacional. Estes autores também construíram o mapa NDVI, a partir do conjunto de dados NIR proposto para lidar com diferentes estágios da doença de murcha com alta precisão. Ye et al., (2020) identificaram áreas de plantio de bananeiras infestadas ou não com a murcha de *Fusarium*, através de imagens multiespectrais obtidas por VANTs e índices vegetativos relacionados à absorção de pigmentos, como o índice de clorofila de borda vermelha (CIRE), clorofila verde (CIgreen), índice de vegetação de diferença normalizado (NDVI) e normalizado índice de diferença de borda vermelha (NDRE). Estes autores também citam que diferentes resoluções espaciais podem influenciar na identificação da doença. Lan et al., (2020) utilizaram sensores multiespectral em VANTs para identificar o Greening cítrico, doença mais destrutiva na indústria de citros, em grandes áreas produtoras, e demonstraram que

os índices vegetativos associados a modelos de aprendizagem de conjunto e rede neural são uma técnica promissora na classificação de plantas saudáveis e infectadas.

Savian et al., (2020) utilizaram sensores térmicos e multiespectrais para a detecção de doença destrutiva, responsável por podridão das raízes de plantas de kiwis, e os dados multiespectrais mostraram uma alta correlação com o vigor da planta, enquanto que os dados de temperatura demonstraram um bom potencial na previsão de alterações fisiológicas nas plantas, podendo ser uma ferramenta confiável para discriminar plantas sintomáticas de assintomáticas, permitindo uma estimativa rápida da propagação da doença. Soca-Munoz et al (2019) identificaram por meio de sensor multiespectral e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) a assinatura de refletância espectral da ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) e da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) em folhas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Através da refletância espectral foi possível determinar cinco níveis de contaminação das folhas em cada tipo de ferrugem, observando-se as maiores diferenças entre folhas sãs e doentes nas bandas no vermelho e infravermelho próximo.

A avaliação da doença em solo ainda é considerada um componente indispensável para precisão da análise de doença via sensoriamento remoto, pois diferentes estresses abióticos e bióticos muitas vezes causam sintomas e modificações fisiológicas semelhantes na planta (Oerke, 2020). Porém, estudos com novas metodologias e técnicas vem sendo desenvolvidos para tornar a avaliação de doenças por sensoriamento remoto mais automatizada e precisa.

Zhao et al., (2020) desenvolveram com base na normalização VI, através dos índices vegetativos mais utilizados obtidos por imagens hiperespectrais, um método

automatizado de classificação de severidade de doenças vegetativas, sem o uso de levantamentos em solo. Esta técnica foi aplicada em dois campos de algodão infestados em diferentes níveis com a podridão da raiz do algodão, e os resultados mostraram que os pixels em imagens de plantas com altos níveis de severidade da doença tinham valores espectrais diferentes de plantas saudáveis, e geralmente estavam localizadas nas partes centrais das áreas infestadas. Este resultado foi comparado com estudos anteriores baseados em pesquisas de solo, garantindo que o método de classificação era adequado para monitoramento da doença.

Wang et al., (2020) desenvolveram um classificador capaz de detectar a podridão da raiz do algodão, causada pelo fungo *Phymatotrichopsis omnivora*, a nível de uma única planta automaticamente, baseados em imagens multiespectrais obtidas por sensoriamento remoto de VANTs, que em comparação com os métodos convencionais de classificação convencional, alcançou precisão geral de 92,1%.

A ocorrência de doenças em áreas nativas de mandacaru, afetando as novas brotações, coloca em risco a conservação dessa espécie, além de impossibilitar a utilização dos cladódios na alimentação animal. Os recentes avanços nos métodos de análise de fitopatologias pelo sensoriamento remoto a tornam uma das tecnologias essenciais na investigação de diferentes parâmetros ambientais. Os objetivos deste estudo foram identificar os agentes etiológicos das podridões associadas aos cladódios do mandacaru no semiárido da Bahia e analisar a ocorrência dessas podridões através de sensoriamento remoto e observação em campo.

Referências

- Alencar, N. L. M.; Innecco, R.; Gomes-Filho, E.; Gallão, M. I.; Alvarez-Pizarro, J. C.; Prisco, J. T.; Oliveira, A. B. 2012. Seed reserve composition and mobilization during germination and early seedling establishment of *Cereus jamacaru* D.C. ssp. *Jamacaru* (Cactaceae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84 (3):823-832.
- Almeida, M. M.; Silva, F. L. H.; Conrado, L. S.; Mota, J. C.; Freire, R. M. M. 2011. Estudo cinético e caracterização da bebida fermentada do *Cereus jamacaru* P. DC. *Revista Verde*, 6(2):176-183.
- Abdulridha, J.; Ampatzidis, Y.; Qureshi, J.; Roberts, P. 2020. Laboratory and UAV-based identification and classification of tomato yellow leaf curl, bacterial spot, and target spot diseases in tomato utilizing hyperspectral imaging and machine learning. *Remote Sensing*, 12(2732):1-17.
- Amorim, L.; Bergamin Filho, A. 2018. Fenologia, patometria e quantificação de danos. In: Amorim, L.; Resende, J. A. M; Bergamin Filho, A (Ed.). *Manual de fitopatologia*, Piracicaba: Agronômica Ceres, 1 (5):500-516.
- Bruton, L. L.; Lazo, J. S.; Parker, K. L. 2006. *As bases farmacológicas da terapêutica*. São Paulo: McGraw-Hill- Interamericana do Brasil.
- Cavalcante, A.; Teles, M.; Machado, M. 2013. *Cactos do semiárido do Brasil: Guia ilustrado*. Campina grande: INSA, 54p.
- Cavalcanti, N. B.; Resende, R. 2006. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento do mandacaru sem espinhos (*Cereus hildemannianus* K. Schum). *Revista Caatinga*, 19(3):255-260.

- Correia, D.; Silva, I. C.; Nascimento, E. H. S.; Morais, J. P. S. 2012. Produção de mudas de mandacaru. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 6 p. il. (Comunicado técnico, 39).
- Davet, A.; Virtuoso, S.; Dias, J. F. G.; Miguel, M. D.; Oliveira, A. B.; Miguel, O. G. 2009. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. Revista Brasileira de Farmacognosia, 19(2):561-564.
- Dang, L.M.; Wang, H.; Li, Y.; Min, K.; Kwak, J.T.; Lee, O.N.; Park, H.; Moon, H. 2020. *Fusarium* wilt of radish detection using RGB and near infrared images from unmanned aerial vehicles. Remote Sensing, 12(2863):1-21.
- El-Ghany, N.M.A., El-Aziz, S.E.A., Marei, S.S. A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management. Environmental Science and Pollution Research, v.27, n.1, p.33503 – 33515, 2020.
- Freire, F. C. O. 2009. Patógenos associados ao mandacaru (*Cereus jamacaru* Dc.) no Estado do Ceará. Embrapa. Comunicado Técnico, n. 148.
- Fidelis, V. R. L.; Pereira, E. M.; Silva, W. P.; Gomes, J.P.; Silva, L. A. 2015. Produção de sorvetes e iogurtes a partir dos frutos figo da índia e mandacaru. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 10(4):17-21.
- Guedes, J.C.F.; Silva, S.M.P. 2018. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. ACTA Geográfica, 12(29):127- 144.
- Gomes, R.S.S.; Souza, J.T.A.; Barreto, G.G.; Nascimento, L.C. 2020. Identification of associated fungi to diseases in *Cereus jamacaru* and *Cereus hildmannianus*. Mexican Journal of Phytopathology, 38(2):250-257.

- Jensen, J. R. 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parênteses. 663p.
- Kuplich, T.M.; Barbieri, D.W.; Moreira, A.; Quadros, F.L.F.; Trentin, A.B.; Corazza, R.; Deprá, B.2016. Algumas aplicações de sensoriamento remoto em estudos de vegetação campestre no RS. São José dos Campos:INPE.39p.
- Lan, Y.; Huang, Z.; Deng, X.; Zhu, Z.; Huang, H.; Zheng, Z.; Bizhen Lian, B.; Zeng, G.; Tong, Z. 2020. Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171(105234):1-12.
- Liu, W. T. H. 2006. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande: UNIDERP. 908 p.
- Lopes, R.J.C.; Santos, A.M.; Zlatar, T.; Lima Júnior, C. 2020. Uso de índices de vegetação por sensoriamento remoto para estudos da caatinga: uma revisão sistemática. *Gaia Scientia*, 14(1):104-116.
- Meneses, P.R., Almeida, T., Rosa, A. N.C.S., Sano, E. E., Souza, E. B., Baptista, G. M. M., Brites, R. S. (ed.). 2012. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UNB. 276p.
- Moreira, M.A. 2007. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: UFV. 3ed. 315 p.
- Molin, J.P.; Amaral, L.R.; Colaço, A.F. (eds.). 2015. Agricultura de precisão. São Paulo: Oficina de textos. 240 p.

- Meiado, M. V.; Albuquerque, L. S. C.; Rocha, E. A.; Rojas-Aréchiga M.; Leal, I. R. 2010. Seed germination responses of *Cereus jamacaru* D.C. ssp. *Jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. *Plant Species Biology*, 25(2):120-128.
- Melo, R. S.; Silva, S.M.; Sousa, A.S.B.; Lima, R. P.; Dantas, A.L.; Dantas, R. L.; Figueiredo, V. M. A. 2017. Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba. *Revista Agropecuária Técnica*, 38(3):160-168.
- Moreira, I. S.; Silva, L. M.M.; Castro, D. S.; Lima, J. P.; Sousa, F. C.; Almeida, F. A. C.; Silva, W. P.; Gomes, J. P.; Silva, C. M. D. P. S. 2018. Fruit of Mandacaru: Kinetics of Drying and Physical-Chemical Characterization. *Journal Of Agricultural Science*, 10 (11):461-470.
- Messias, J. B.; Caraciolo, M. C.; Oliveira, I. M. D.; Montarroyos, U. R.; Bastos, I. V. G. A.; Guerra, M. D. O.; Souza, I. 2010 Avaliação dos parâmetros hematológicos e bioquímicos de ratas no segundo terço da gestação submetidas à ação de extrato metanólico de *Cereus jamacaru* D.C., Cactaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(1):478-483
- Mizrahi, Y.; Nerd, A.; Sitrit, Y. New Fruits For Arids Climates. In: Janick, J.; Whipkey, A. (Ed.). 2002. Trends in new crops and new uses. Alexandria: ASHS Press, p. 378-384.
- Novo, E.M.L.; Ponzoni, F.J. 2001. Introdução ao sensoriamento remoto. São José dos Campos:INPE.68p.

- Nunes, J. T.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Santiago, V. M. S.; Gomes, J. P. 2013. Caracterização química e colorimétrica da polpa do mandacaru. *Revista Educação Agrícola Superior*, 28(2):102-106.
- Oliveira, F. M. N.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Almeida, C. A. 2007. Caracterização físico-química das polpas dos ramos do mandacaru. *Revista Caatinga*, 20(4):89-92.
- Oliveira, A. S.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Brito, J. G. 2015. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(2):147-153.
- Oerke, E. 2020. Remote sensing of diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 1(58):225–252.
- Oliveira, A. J. B.; Machado, M. F. P. S. 2003. Alkaloid production by callous tissue cultures of *Cereus peruvianus* (Cactaceae). *Applied Biochemical and Biotechnology*, 104 (2)149-155.
- Pereira, A.A.; Pereira, J.A.A.; Morelli, F.; Barros, D.A.; Acerbi, F.W.; Scolforo, J.R.S. 2012. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. *Cerne*, 18(2):335-343.
- Rani, D.S.; Venkatesh, M. N.; Srich, N. S.; Kumar, K. A. 2018. Remote sensing as pest forecasting model in agriculture. *Int. J. Curr. Microbiol Appl. Sci.*, 7(3):2680–2689.
- Savian, F.; Martini, M.; Ermacora, P.; Paulus, S.; Mahlein, A. 2020. Prediction of the kiwifruit decline syndrome in diseased orchards by remote sensing. *Remote Sensing*, 12(2194):1-19.

- Sales, M. S.L.; Martins, L. V.; Iael De Souza, I.; Meireles De Deus, M. S.; Peron, A. P. 2014. *Cereus jamacaru* de candolle (cactaceae), o mandacaru do Nordeste brasileiro. Publicatio Uepg: Ciencias Biologicas e da Saude, 20(2):135-142.
- Senar. 2019. Agricultura de precisão: conceitos. (Coleção Senar, 244). Brasília: Senar. 28 p.
- Silva, L. R.; Alves, R. E. 2009. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, 7(2):199-205.
- Simões, S.S., Zappi, D.C., Aona, L.Y.S. 2020. A família Cactaceae no Parque Nacional de Boa Nova, Estado da Bahia, Brasil. Hoehnea 47: e1102019.
- Soca-Muñoz, J.L.; Rodríguez-Machado, E.; Aday-Díaz, O.; Hernández-Santana, L.; Orozco-Morales, R. 2019. Spectral signature of brown rust and orange rust in sugarcane. Rev.fac.ing.univ. Antioquia, 1(96):1-21.
- Tullio, L. (Org.).2018. Aplicações e princípios do sensoriamento remoto. Ponta Grossa: Atena. 256 p.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p.
- Wang, T.; Thomasson, A. J.; Isakeit, T.; Yang, C.; Nichols, R.L. 2020. A plant-by-plant method to identify and treat cotton root rot based on uav remote sensing. Remote Sensing, 12(245):1-30.
- Ye, H.; Huang, W.; Huang, S.; Cui, B.; Dong, Y.; Guo, A.; Ren, Y.; Jin, Y. 2020. Recognition of banana *Fusarium* wilt based on UAV remote sensing. Remote Sensing, 12(938):1-14.

- Zhao, H.; Yang, C.; Guo, W.; Zhang, L.; Zhang, D. 2020. Automatic estimation of crop disease severity levels based on vegetation index normalization. *Remote Sensing*, 12(1930):1-17.
- Zappi, D.; Aona, L.Y.S.; Taylor, N. Cactaceae In: Melhem, T.S.; Wanderley, M.G.L.; Martins, S. E.; Jung-Mendaçolli, S.L.; Shepherd, G.J.; Kirizawa, M. (eds.) 2007. *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo*. Instituto de Botânica, São Paulo, (5):163-194.
- Zara, R. F.; Thomazini, M. H.; Lenz, G. F. 2012. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. *Revista de Estudos Ambientais*, 14(2):75-83.

CAPITULO II

**Levantamento por sensoriamento remoto e etiologia das podridões do mandacaru
(*Cereus jamaçaru*) no semiárido da Bahia**

Artigo no formato de submissão para a Revista *Plant Disease* – APS Publications

SANTOS, J. S. Levantamento por sensoriamento remoto e etiologia das podridões do mandacaru (*Cereus jamacaru*) no semiárido da Bahia.

Resumo:

O mandacaru (*Cereus jamacaru*) é uma cactácea importante para o desenvolvimento sustentável e a biodiversidade da Caatinga. Este cacto é acometido por doenças que colocam em risco a sua conservação. O sensoriamento remoto é uma das principais técnicas aplicadas atualmente nos segmentos agrícola e ambiental para avaliação da vegetação. Os objetivos deste estudo foram: 1) identificar os agentes etiológicos da podridão associada aos cladódios do mandacaru no semiárido da Bahia e 2) avaliar a ocorrência da podridão em cladódios de mandacaru por sensoriamento remoto e observação *in loco*. O trabalho foi realizado em áreas com mandacaru nativo nos municípios de Valente (MVL), Riachão do Jacuípe (MRJ) e São Domingos (MSD), na Bahia. Os micro-organismos isolados de cladódios sintomáticos foram identificados e submetidos ao teste de patogenicidade. A análise por sensoriamento remoto foi realizada com sensores RGB e multiespectral embarcados em veículo aéreo não tripulado (VANT). A incidência e severidade foram avaliados por sensoriamento remoto e observação *in loco* no campo. A podridão nos cladódios do mandacaru é causada por fungos dos gêneros *Lasiodiplodia* sp., *Dichotomophthora* sp. e *Clonostachys* sp. A composição falsa-cor 541 foi a melhor na análise qualitativa do sintoma da podridão do mandacaru pelo sensoriamento remoto. A incidência da doença no mandacaru foi de 59,2% na área MVL, 62,9% na área MRJ e 58,6% na área MSD pela avaliação *in loco* e de 34%, 30% e 50%, respectivamente, por sensoriamento remoto. A severidade em cladódios foi de 40 a 100%, sendo 16% na área MVL e de 17% nas áreas MRJ e MSD. Os índices NDVI e NDRE em plantas sintomáticas foram inferiores a 0,59 e 0,51, respectivamente.

Palavras-chave: Cactáceas, Caatinga, Drone, Fitopatógenos.

SANTOS, J. S. Survey by remote sensing and etiology of rot of mandacaru (*Cereus jamacaru*) in the semiarid region of Bahia.

Abstract

Mandacaru (*Cereus jamacaru*) is an important cactus for the sustainable development and biodiversity of the Caatinga. This cactus is affected by diseases that put its conservation at risk. Remote sensing is one of the main techniques currently applied in the agricultural and environmental segments to assess vegetation. The objectives of this study were: 1) to identify the etiological agents of rot symptoms associated with mandacaru cladodes in the field in the semiarid region of Bahia and 2) to evaluate the occurrence of rot in mandacaru cladodes by remote sensing and on-site observation. The work was carried out in areas with native mandacarus in the municipalities of Valente (MVL), Riachão do Jacuípe (MRJ) and São Domingos (MSD), in Bahia. Microorganisms isolated from symptomatic cladodes were identified and subjected to the pathogenicity test. Remote sensing analysis was performed with RGB and multispectral sensors embedded in an unmanned aerial vehicle (UAV). The incidence and severity were evaluated by means of remote sensing and in situ observation in the field. Rot in the mandacaru cladodes is caused by fungi of the genera *Lasiodiplodia* sp., *Dichotomophthora* sp. and *Clonostachys* sp. The false-color composition 541 was the best in the qualitative analysis of the mandacaru rot symptom by remote sensing. The incidence of the disease in the mandacaru was 59.2% in the MVL area, 62.9% in the MRJ area and 58.6% in the MSD area by on-site assessment and 34%, 30% and 50%, respectively, by remote sensing. Severity in cladodes was 40 to 100%, with 16% in the MVL area and 17% in the MRJ and MSD areas. The NDVI and NDRE indices in symptomatic plants were less than 0.59 and 0.51, respectively.

Key words: Cacti, Caatinga, Drone, Phytopathogens.

Introdução

O bioma predominante na região semiárida do Brasil é a Caatinga, que engloba 70% do nordeste brasileiro (Cavalcante et al. 2013; Correia et al. 2012). Entre as espécies existentes na Caatinga, estão alguns representantes da família Cactaceae, que possui cerca de 120 gêneros de distribuição quase exclusiva nas Américas, com centros de diversidade no México, leste do Brasil e Andes (Peru e Bolívia).

Uma das espécies mais representativas entre as cactáceas na Caatinga é o cacto colunar *Cereus jamacaru*. De Candolle, conhecido como mandacaru, que é amplamente distribuído na região semiárida e se desenvolve junto a outras espécies vegetativas, formando a paisagem típica do Nordeste e contribuindo para o desenvolvimento sustentável e conservação da biodiversidade da Caatinga, além de ser essencial para o povo sertanejo, mediante as suas características adaptativas e seu diversificado potencial de utilização (Alencar et al. 2012; Silva e Alves, 2009).

O mandacaru pode ser utilizado para fins medicinal, ornamental, industrial e alimentar, tanto para os seres humanos quanto para os animais (Sales et al. 2014). Messias et al. (2010) relataram a ação antimicrobiana e vasodilatadora do mandacaru em roedores. Davet et al., (2009) relataram a atividade antibacteriana *in vitro* do mandacaru, com inibição do crescimento de *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. O extrato hidro alcoólico e a tiramina presentes nos cladódios do mandacaru atuaram reduzindo o crescimento tumoral e amenizando os sintomas de mal de Parkinson em camundongos (Oliveira e Machado, 2003; Bruton et al., 2006).

O cladódio do mandacaru é utilizado no período de seca como volumoso na alimentação animal por armazenar grande quantidade de água e ter uma concentração de proteína bruta que chega a mais de 10 % (Davet et al. 2009). Os frutos do mandacaru servem principalmente de fonte de alimento para diversos animais silvestres, no entanto, são pouco aproveitados comercialmente (Nunes et al. 2013). Os frutos também demonstram potencialidade para produção de bebidas fermentadas (Almeida et al. 2011), frutas desidratadas em pó (Oliveira et al. 2015) sorvetes e iogurtes (Fidelis et al. 2015). Das sementes, pode ser extraído óleo para uso culinário (Davet et al. 2009). O mandacaru, por sua beleza e rusticidade, também é muito utilizado na decoração de interiores e jardins, em projetos paisagísticos (Cavalcante et al. 2013; Sales et al. 2014; Zara et al. 2012). Entretanto, a utilização do mandacaru ocorre de forma extrativista, sem que haja o plantio e manejo adequado da cultura, o que pode afetar sua disponibilidade futuramente (Nascimento et al. 2019).

Apesar de ser considerada uma planta resistente pelas suas características morfofisiológicas, o mandacaru é acometido por fitopatógenos que podem afetar seu desenvolvimento e propagação. Segundo Freire (2009) e Gomes et al. (2020), as principais doenças associadas ao mandacaru são causadas por fungos, como *Dichotomophthora cactacearum* (Ponte e Freire), *Lasiodiplodia theobromae*, (Patouillard) Griffon e Maublanc), *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. e Sacc.), *Scytalidium lignicola* (Pes) e *Bipolaris cactivora* (Petr.) Alcorn), no entanto existem poucos estudos relacionados a doenças nesta espécie e a ocorrência destas em campo.

No geral, as técnicas de avaliação de patologias no campo são manuais e requerem tempo e grande número de pessoal qualificado a depender da extensão da área,

envolvendo custos elevados. A utilização de sensores pode conferir uma análise mais precisa e objetiva de doenças em plantas, além de proporcionar economia de recursos em geral, por abranger áreas extensas em curto período, o que é fundamental para tomada de decisão de precisa visando ações de controle subsequente (El-Ghany et al., 2020)

A energia eletromagnética refletida pelo tecido vegetal é modificada de acordo com a vitalidade da planta, desta forma, uso de imagens digitais aliadas a informações espaciais e métodos de processamento são excelentes ferramentas no levantamento de patologias (Oerke, 2020). Plantas saudáveis apresentam baixa reflectância na região do espectro visível (400-700 nm) e do infravermelho (1.200-2.400 nm) e alta reflectância na região do infravermelho próximo (700-1.200 nm). Essa diferenciação da assinatura espectral também ocorre de acordo com os tipos de doença, pois estas alteram de formas divergentes as propriedades óticas dos tecidos vegetativos, o que permite a avaliação da ocorrência de doenças baseadas nas medidas do espectro em diferentes combinações de comprimentos de onda (Amorim e Bergamim Filho, 2018).

A análise sensorial remota parte do pressuposto de que cada objeto tem características únicas de reflexão e emitem uma assinatura eletromagnética específica (Molin et al., 2015). Assim, a partir dos índices vegetativos, que consistem em cálculos entre as bandas espectrais por meio da reflectância, são realizados estudos voltados para diagnósticos, como a estimativa da produtividade, avaliação nutricional, estresse hídrico, presença de plantas daninhas e detecção de pragas e doenças (Shiratsuchi et al. 2014; Meneses e Almeida, 2012).

Os principais índices vegetativos utilizados são o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), associado ao vigor da planta e produção de biomassa e a borda

vermelha de diferença normalizada (NDRE), que avalia perturbações bioquímicas na escala da estrutura celular das plantas, assim como sua captação de nitrogênio, e o índice de vegetação ajustado do solo (SAVI) que é muito similar ao NDVI, porém este diminui os efeitos de saturação do solo (Shiratsuchi et al., 2014).

Para a captação desses índices, são utilizadas câmeras especiais que vão embarcadas em veículos aéreos não tripulados (VANTs), comumente conhecidos como drones. As câmeras acopladas a estas aeronaves possuem sensores que captam a reflexão da radiação eletromagnética (REM) após interação com diversas superfícies, em diferentes comprimentos de onda, e podem indicar condição de estresse na planta, causada pela transpiração ou redução da absorção de CO₂ e da atividade fotossintética, os padrões espectrais auxiliam na identificação do estágio fisiológico e da saúde das plantas (Castro Jorge e Inamasu 2014).

Os pequenos produtores rurais da região semiárida da Bahia vêm relatando um aumento alarmante da podridão no mandacaru, o que requer estudos, considerando a sua importância para o bioma Caatinga e para população que convive com as condições semiáridas nesse bioma. Portanto, os objetivos do presente do trabalho foram 1) identificar os agentes etiológicos da podridão associada aos cladódios do mandacaru em campo no semiárido da Bahia e 2) avaliar a ocorrência da podridão em cladódios do mandacaru por sensoriamento remoto e observação *in loco* em campo.

Material e Métodos

Áreas de estudo

O presente estudo foi realizado em áreas com mandacaru (*Cereus jamacaru*) nativo, situadas na região semiárida do estado da Bahia, Brasil, nos municípios de Valente (MVL) (-39°46'97"O,-39°46'41"L,-11°34'15"N,-11°34'06"S), Riachão do Jacuípe (MRJ) (-39°37'11"O,-39°36'60"L,-11°67'64"N, -11°67'07"S) e São Domingos (MSD) (39°53'45"O, -39°53'68"L, -11°43'73"N, -11°43'48"S), entre o período de março à julho de 2019 e conduzido no Laboratório de Microbiologia Agrícola e no Laboratório GTERF- Grupo de Tecnologias Educacionais Robótica e Física, ambos situados na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), campus Cruz das Almas.

Isolamento micro-organismos de cladódios sintomáticos

Os cladódios de mandacaru com sintomas de podridão foram coletados em campo de forma aleatória, média de 15 cladódios por área anteriormente mencionadas O isolamento ocorreu com a retirada de 10 fragmentos, por cladódio, da região limítrofe abrangendo o tecido com e sem sintomas. Os fragmentos foram desinfestados por imersão em etanol 70% e hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto cada, seguido de três a quatro lavagens em água destilada esterilizada. Em seguida os fragmentos foram transferidos para placa de Petri contendo meio de batata dextrose ágar (BDA) e incubados na temperatura de $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ com fotoperíodo de 12/12 horas por 7 dias. Os microrganismos que cresceram foram repicados para meio BDA, obtendo-se assim culturas monospóricas, e discos do meio com as culturas foram transferidos para frascos de vidro com água esterilizada (método de Castellani) e para tubos de micro-centrífuga com glicerol 30 %, para preservação das culturas. As culturas em água foram mantidas a temperatura

ambiente e as culturas em glicerol 30% foram preservadas a -20°C Os isolados foram identificados pelas características morfológicas e reprodutivas por meio de literatura especializada (Seifert et al., 2011). A identificação das espécies por métodos moleculares, mediante a extração e sequenciamento de DNA, está em andamento.

Teste de patogenicidade

O teste de patogenicidade foi conduzido em laboratório e em casa de vegetação, com mudas de mandacaru obtidas via semente, e mudas produzidas a partir de cladódios sadios obtidos em campo. Em laboratório, os cladódios foram desinfestados conforme procedimento descrito para os fragmentos. Em casa de vegetação as mudas permaneceram envasadas e a desinfestação ocorreu escoando ao longo do cladódio etanol 70% e hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto cada, seguido de lavagens em água destilada esterilizada, utilizando piceta estéril e sem que houvesse contato com o substrato e sistema radicular. A inoculação dos micro-organismos se deu com e sem ferimento superficial, sendo a lesão provocada por bisturi esterilizado e o inoculo foi colocado sobre a lesão através de discos (diâmetro de 4 mm) da cultura fúngica, contendo hifas e esporos, em cinco pontos dispersos pela extensão do cladódio, sendo cinco mudas para cada fungo. Para o tratamento controle, foram colocados discos de meio BDA estéril. Em laboratório, os cladódios foram colocados em bandejas plásticas contendo papel filtro esterilizado e umedecido, cobertos com filme de PVC e mantidos em temperatura ambiente. Em casa de vegetação, os cladódios foram recobertos com sacos de PVC e foi adicionado algodão esterilizado e umedecido. Os cladódios foram mantidos em câmara úmida por 48 horas, em ambos os casos, e observados diariamente para o aparecimento

de sintomas. Com o surgimento de sintomas, seguiu-se os passos que preconizam os postulados de Koch (Agrios, 2005) para confirmação do agente etiológico da doença. O teste de patogenicidade foi repetido três vezes para confirmação do patógeno e este foi reisolado e preservado em água estéril e em glicerol 30 %.

Aquisição de imagens via sensoriamento remoto por VANT

O estudo da ocorrência da doença em campo, nas áreas com presença de mandacarus nativos no semiárido baiano, foi realizado com a câmera multiespectral MicaSense RedEdge-M™ (Bandas espectrais: azul, verde, vermelho, borda vermelha, infravermelho próximo) que foi embarcada em um veículo aéreo não-tripulado (VANT) multirotor, modelo *Phantom 4 Advanced*. O planejamento dos voos e coleta de imagens foram realizadas em plataformas específicas dos aplicativos DroneDeploy e Pix4Dcapture, ambos disponibilizados gratuitamente no Google Play. Os parâmetros utilizados para programar os voos foram as coordenadas geográficas da área em estudo, a orientação das linhas de voo, a altura de voo a 60 m e a sobreposição frontal e lateral de 80 %.

Processamento digital de imagens (PDI)

O PDI foi realizado em duas etapas. A primeira (1) com o uso do *software* aerofotogramétrico Agisoft Metashape versão 1.5.1, no qual o processamento das imagens é iniciado pela calibração radiométrica das imagens multiespectrais e posteriormente ocorre a geração das nuvens de pontos esparsas e densas, modelos digitais de elevação e terreno, ortomosaicos georreferenciados e composições falsa-cor. A

segunda (2) foi com os produtos gerados pelo processamento (1), na qual as informações foram trabalhadas no *software* Arcgis, versão 10.5. Em seguida, procedeu-se à interpretação manual qualitativa planta-planta, compondo assim as rotinas de pós-processamento com a caracterização de todas as plantas de mandacaru sadias e doentes presentes nas áreas, nos ortomosaicos multiespectrais RGB e composição falsa-cor 541, e obtenção dos índices de vegetação pelas equações: $NDVI = \frac{\text{Infravermelho Próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho Próximo} + \text{Vermelho}}$, e $NDRE = \frac{\text{Infravermelho Próximo} - \text{Vermelho Limítrofe}}{\text{Infravermelho Próximo} + \text{Vermelho Limítrofe}}$ (Figura 1). Os valores de NDVI e NDRE foram pontualmente extraídos sobre 70 plantas de mandacaru selecionadas através da ferramenta *Random Points* (pontos aleatórios) no *software* Arcgis versão 10.5 com espaçamento de 2,0 metros entre plantas, em partes dos cladódios com e sem sintomas aparentes nas imagens.

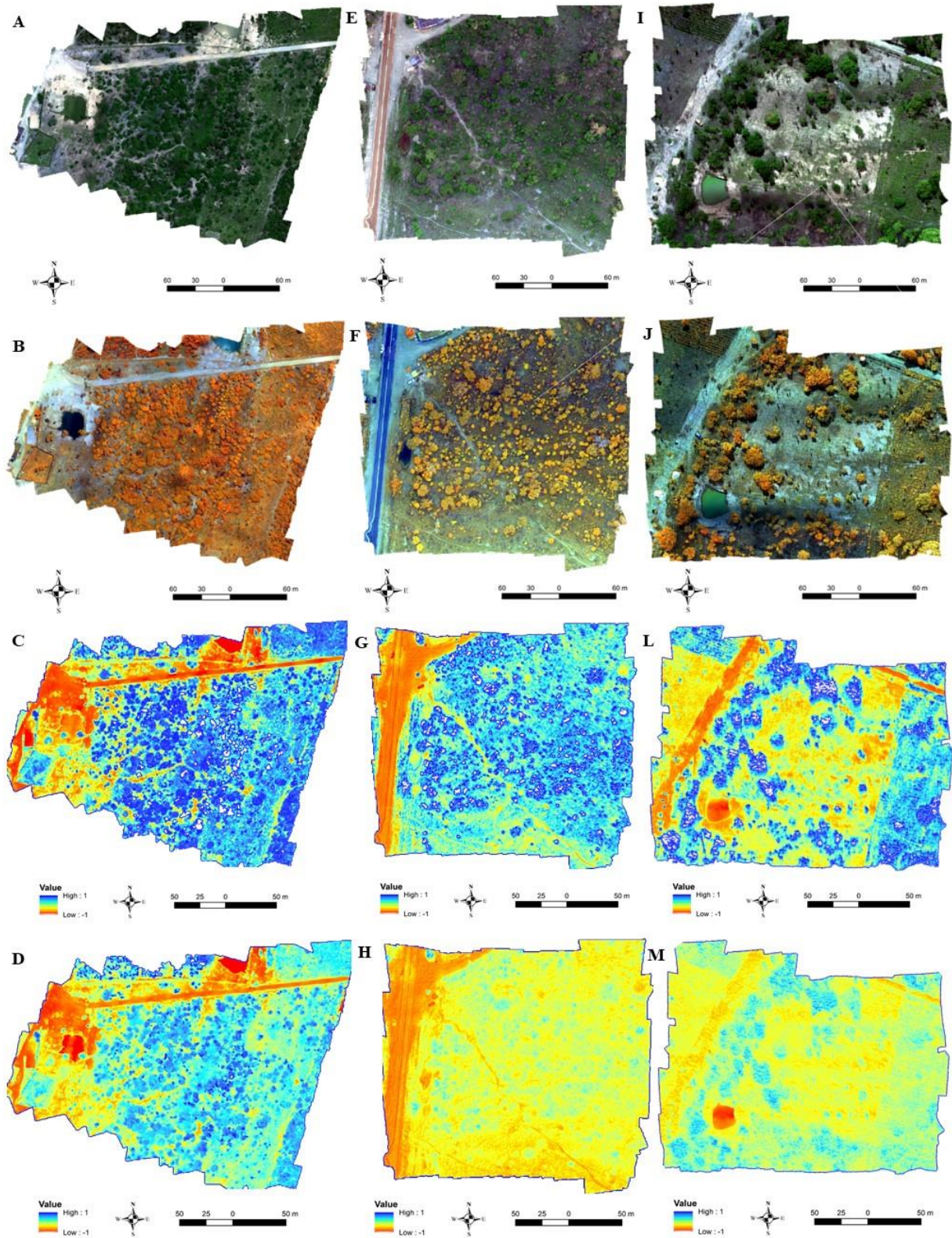


Figura 1- Mapas¹ das áreas MVL (A, B, C, D), MRJ (E, F, G, H) e MSD (I, J, L, M) gerados a partir do fluxo de trabalho adotado para processamento das imagens e obtenção dos índices vegetativos. ¹ Ortomosaico multiespectral RGB (A, E, I), composição falsa-cor 541 (B, F, J), NDVI (C, G, L) e NDRE (D, H, M).

Levantamento da ocorrência de doenças no mandacaru

A incidência e severidade das podridões nos cladódios do mandacaru foram analisadas em 70 plantas de mandacaru por área em campo. *In loco* as plantas foram selecionadas de forma aleatória pelo observador e nas imagens multiespectrais os mandacarus foram selecionados através da ferramenta *Random Points* (pontos aleatórios) no *software* Arcgis, versão 10.5., com espaçamento de 2,0 metros entre plantas. A incidência foi quantificada pela equação: $INC (\%) = (NPD \div NTP) \times 100$ (Cooke, 2006) (INC- incidência; NPD- número de plantas doentes; NTP- número total de plantas). Este cálculo foi utilizado para os dados obtidos por observação *in loco* e por sensoriamento remoto. A severidade da podridão por planta de mandacaru foi calculada pela equação: $SV (\%) = (NCS \div NTC) \times 100$ (SV-severidade; NCS- número de cladódios com sintomas e NTC- número total de cladódios), adaptada de Cooke (2006). Após, com a porcentagem obtida pelo cálculo, foi aplicada a escala de classificação de severidade, com modificações, proposta por Bowen (2004), em que 1 = 0 - 20% de cladódios sintomáticos; 2 = 20 - 40% de cladódios sintomáticos; 3 = 40 - 60% de cladódios sintomáticos; 4 = 60 - 80% de cladódios sintomáticos e 5 = 80 - 100% de cladódios sintomáticos. A avaliação da severidade foi realizada apenas por observação *in loco*. Os dados foram analisados com o programa *Microsoft Excel* 2010.

Resultados

Avaliação dos sintomas e identificação dos agentes patogênicos

Nas três áreas avaliadas, MVL, MRJ e MSD, os sintomas observados no mandacaru (*Cereus jamacaru*) em campo apresentavam características diferenciadas. Os

sintomas externos geralmente iniciam com manchas marrons ou pretas no ápice, centro ou base dos cladódios, com ou sem borda clorótica, as vezes as lesões apresentavam reflexo azulado. Internamente, ocorria necrose e coalescimento do sistema vascular, com consequente apodrecimento do tecido vegetal. Posteriormente, a podridão evolui para um aspecto seco com ou sem linhas concêntricas. A podridão ocorre tanto em cladódios maduros, quanto em novas brotações (Figura 2). Associados aos sintomas foram isolados 20 gêneros fúngicos, distribuídos nas três áreas (Tabela 1).



Figura 2- Sintomas externos (A, B, C, D, E, F e G) e internos (H e I) da podridão do mandacaru (*Cereus jamacaru*) em campo.

Tabela 1- Distribuição por município dos gêneros fúngicos isolados de cladódios do mandacaru com sintomas de podridão, no semiárido da Bahia.

Gêneros fúngicos	Áreas ¹		
	MVL	MRJ	MSD
<i>Acremonium sp</i>			x
<i>Alternaria sp.</i>			x
<i>Aspergillus sp.</i>	x	x	
<i>Baudoinia sp.</i>	x	x	
<i>Chrysonilia sp.</i>	x		
<i>Chaetomium sp.</i>	x		x
<i>Clonostachys sp.</i>			x
<i>Dendryphiopsis sp.</i>	x		
<i>Dichotomophthora sp.</i>		x	
<i>Fusarium sp.</i>	x	x	x
<i>Haplosporella sp.</i>			x
<i>Lasiodiplodia sp.</i>	x		
<i>Nigrospora sp.</i>	x		x
<i>Penicillium sp.</i>		x	
<i>Pestalotiopsis sp.</i>			x
<i>Preussia sp.</i>		x	
<i>Pythomices sp.</i>	x		
<i>Sporormia sp.</i>	x		
<i>Trichoderma sp.</i>	x		
<i>Xylaria sp.</i>	x		
Total	12	6	8

¹ Áreas: MVL= município de Valente, MRJ= município de Riachão do Jacuípe e MSD = município de São domingos.

Teste de patogenicidade

Todos os micro-organismos isolados foram analisados quanto à patogenicidade, seguindo os postulados de Koch. De todos os isolados, os que causaram sintomas nos cladódios de mandacaru foram *Lasiodiplodia sp.* isolado na área MVL, *Dichotomophthora sp.* proveniente da área MRJ e *Clonostachys sp.* da área MSD. *Lasiodiplodia sp.* e *Dichotomophthora sp.* causaram sintomas em mudas de sementes e de cladódios maduros. Os sintomas iniciaram após 72 horas da inoculação, em condições

de laboratório, nas mudas de sementes e de cladódios maduros coletados no campo e 96 horas em condições de casa de vegetação, para ambos os fungos. O isolado de *Clonostachys* sp. apresentou sintomas apenas nas mudas de sementes nas duas condições de estudo e nos mesmos períodos de tempo que outros isolados. Nas mudas do controle não foram observados sintomas. Os três gêneros fúngicos (*Lasiodiplodia* sp, *Dichotomophthora* sp. e *Clonostachys* sp.) causaram sintomas nos cladódios com e sem ferimentos no teste de patogenicidade.

No mandacaru, *Lasiodiplodia* sp. causou uma podridão negra com coalescimento do tecido vegetal e sistema vascular do cladódio (Figura 3).

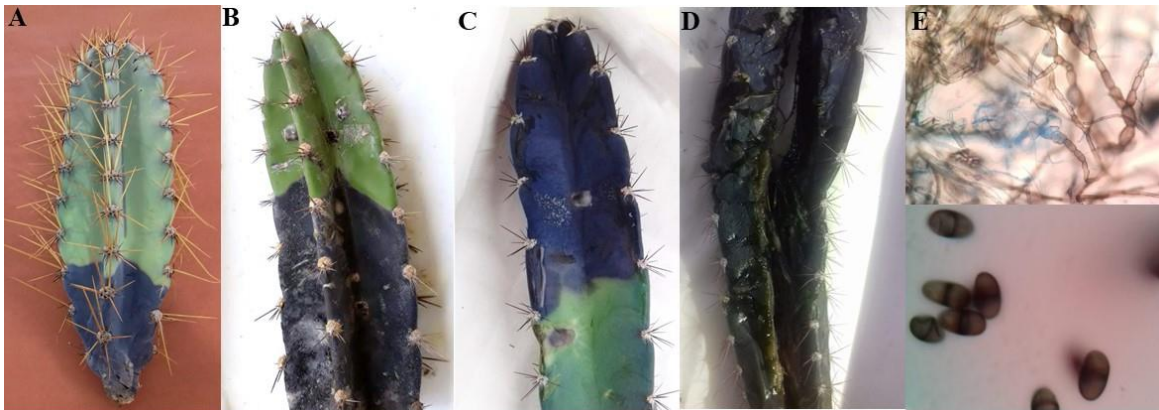


Figura 3 - Sintomas em cladódios de mandacaru coletado em campo (A), sintoma externo em muda de cladódio maduro e muda de semente (B, C), sintoma interno (D) da podridão causada por *Lasiodiplodia* sp. Hifas, clamidósporos e conídios de *Lasiodiplodia* sp. (400x) (E).

O fungo *Dichotomophthora* sp. causou uma mancha escura com reflexo azulado, acompanhada por borda clorótica e avermelhada, evoluindo para necrose vascular (Figura

4). O *Clonostachys* sp., apresentou inicialmente uma mancha marrom, com necrose local e posterior murcha e apodrecimento do cladódio (Figura 5).



Figura 4 - Sintoma em cladódio de mandacaru coletado em campo (A), sintoma externo em muda de cladódio maduro e muda de semente (B, C), sintoma interno (D) causados por *Dichotomophthora* sp. Conidióforos, células conidiogênicas e conídios de *Dichotomophthora* sp. (400x) (E).



Figura 5 - Sintoma em cladódio de mandacaru coletado em campo (A), sintoma externo em muda de cladódio maduro e muda de semente (B, C), sintoma interno (D) de podridão marrom e murcha em cladódios de mandacaru por *Clonostachys* sp. Conidióforos e conídios de *Clonostachys* sp. (400x) (E).

Levantamento de ocorrência da doença *in loco* e por imageamento multiespectral por VANT

Através dos mapas multiespectrais foi possível classificar as plantas de mandacaru nas áreas MVL, MRJ e MSD, permitindo assim a diferenciação entre plantas sintomáticas e assintomáticas (Figura 6 e 7). A composição falsa-cor 541 (5 - Infravermelho Próximo, 4 - Vermelho Limítrofe, 1 - Azul) proporcionou a melhor definição visual dos sintomas por meio das imagens digitas, em relação a composição de cor verdadeira RGB (3 - vermelho, 2 - verde, 1 - azul) (Figura 8).

Os índices vegetativos variaram em relação ao estado de saúde das plantas de mandacaru. Nas plantas sem sintoma aparente da doença, os valores do NDVI máximo foram de até 0,81 na área MVL, 0,84 na área MRJ e de 0,81 na área MSD. Já o NDRE foi de 0,53 em MVL, 0,46 em MRJ e de 0,61 em MSD nas plantas sem sintomas. Nas plantas de mandacaru sintomáticas, o NDVI ficou abaixo de 0,53 na área MVL, de 0,56 em MRJ e de 0,59 em MSD. O índice NDRE foi inferior a 0,34 em MVL, de 0,35 em MRJ, e de 0,51 na área MSD (Tabela 2).

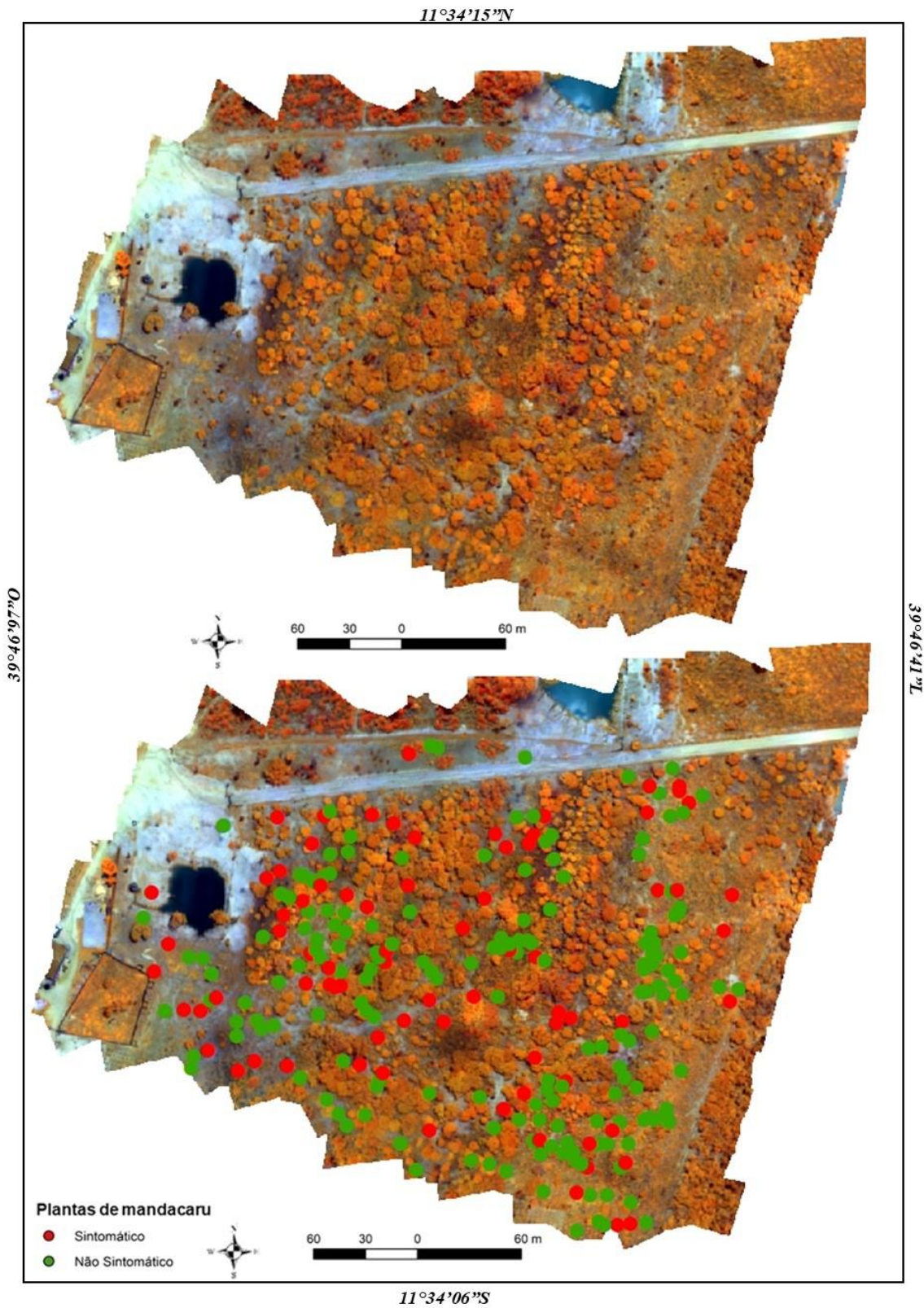


Figura 6 - Ortomosaico multiespectral composição falsa cor-541 da área¹ MVL de classificação de plantas de mandacaru. ¹Município de Valente.

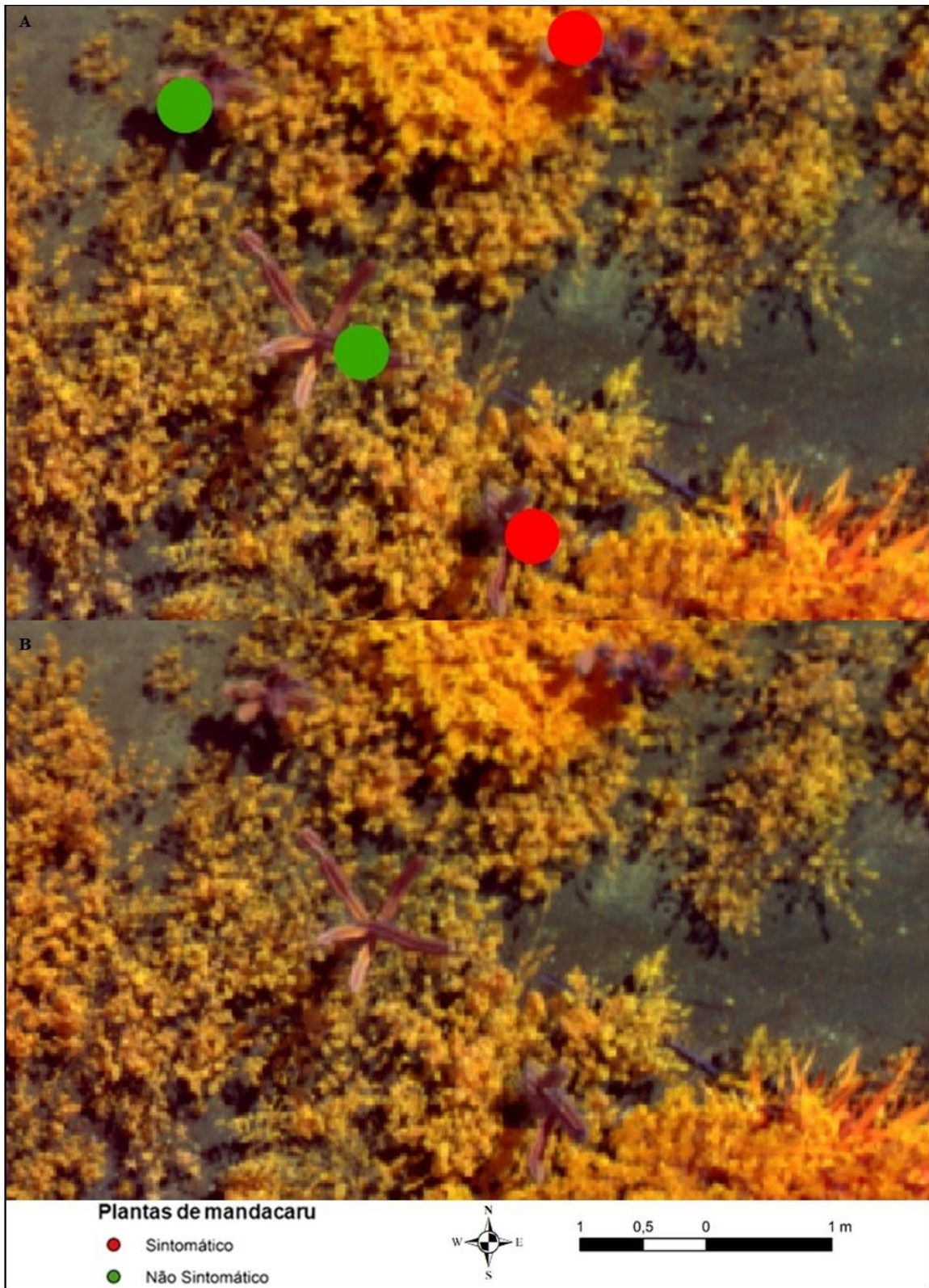


Figura 7 – Pontos de plantas sintomáticas e assintomáticas (A, B) de mandacaru na composição falsa cor-541 da área¹ MVL. ¹Município de Valente.

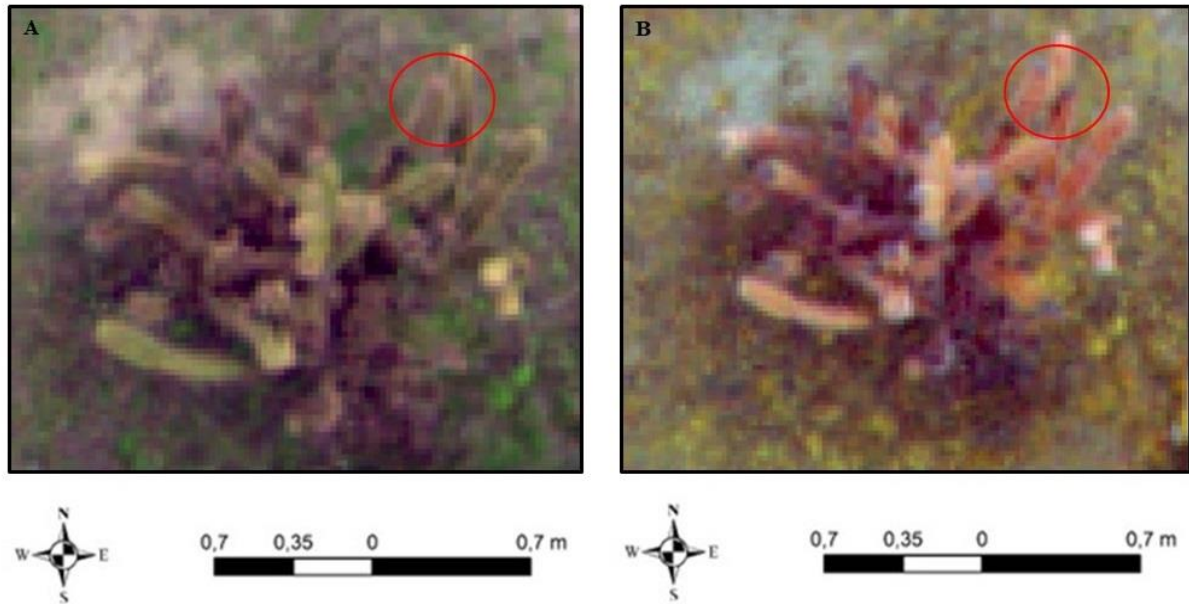


Figura 8 - Visualização do sintoma da podridão no mandacaru em ortomosaico multiespectral composição cor verdadeira RGB (A) e falsa-cor (541) (B) na área¹ MRJ.

¹Município de Riachão do Jacuípe.

Tabela 2- Índices vegetativos extraídos de plantas de mandacaru com e sem sintomas de podridão em campo.

Áreas ¹	Índices vegetativos	Classificação	Nº de Amostras	V.M ²	Desvio padrão
MVL	NDVI	SS	46	0,50 - 0,81	±0,1
		CS	24	0,19 - 0,53	±0,1
	NDRE	SS	46	0,38 - 0,53	±0,1
		CS	24	0,11 - 0,34	±0,1
MRJ	NDVI	SS	49	0,46 - 0,84	±0,1
		CS	21	0,33 - 0,56	±0,1
	NDRE	SS	49	0,22 - 0,46	±0,1
		CS	21	0,22 - 0,35	±0,1
MSD	NDVI	SS	35	0,54 - 0,81	±0,1
		CS	35	0,35 - 0,59	±0,1
	NDRE	SS	35	0,36 - 0,61	±0,1
		CS	35	0,31 - 0,51	±0,1

¹ Áreas: MVL=município de Valente, MRJ= município de Riachão do Jacuípe e MSD=

município de São domingos. ²V.M=Variação média.

A incidência da doença foi de 53% (MVL), 63% (MRJ) e 59% (MSD) na observação *in loco* e de 34%, 30% e 50%, respectivamente, pelos mapas nas áreas avaliadas. A severidade foi de 40 a 100% nos cladódios de 16% dos mandacarus sintomáticos na área do município de Valente e de 17% nas áreas dos municípios de Riachão do Jacuípe e São Domingos (Figura 9).

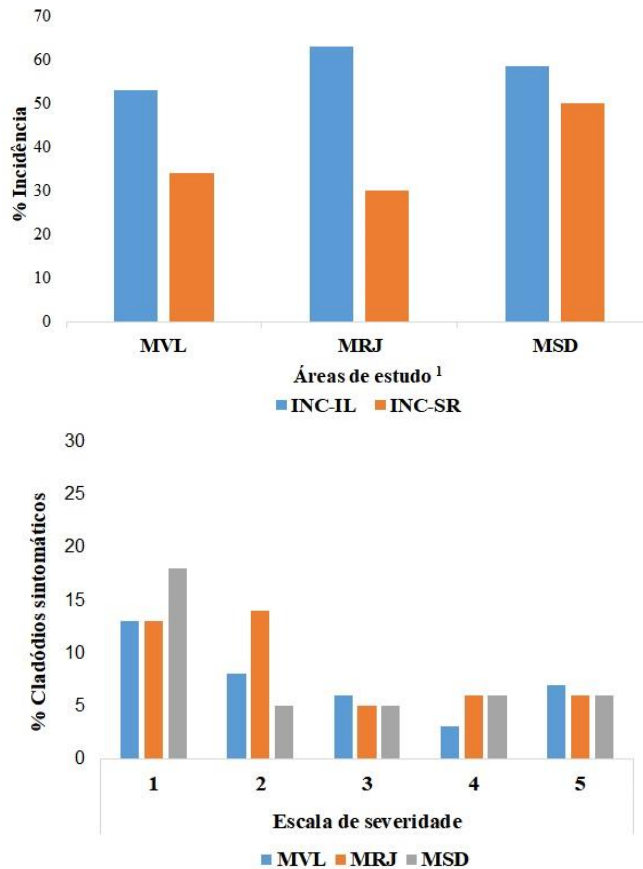


Figura 9- Incidência¹ e severidade² da podridão do mandacaru (*Cereus jamacaru*) em campo³.

¹INC-IL=Incidência *in loco*, INC-SR= Incidência no sensoriamento remoto.²Escala de severidade: 1= corresponde de 0 – 20 % de cladódios sintomáticos, 2= 20 -40 % de cladódios sintomáticos, 3 = 40 – 60 % de cladódios sintomáticos, 4 = 60 – 80 % de cladódios sintomáticos e 5 = 80 – 100% de cladódios sintomáticos (Bowen, 2004, adaptada). ³Municípios de Valente (MVL), Riachão do Jacuípe (MRJ) e São Domingos (MSD).

O mapa NDVI permitiu melhor visualização das plantas de mandacaru com sintomas, em relação ao NDRE (Figura 10).

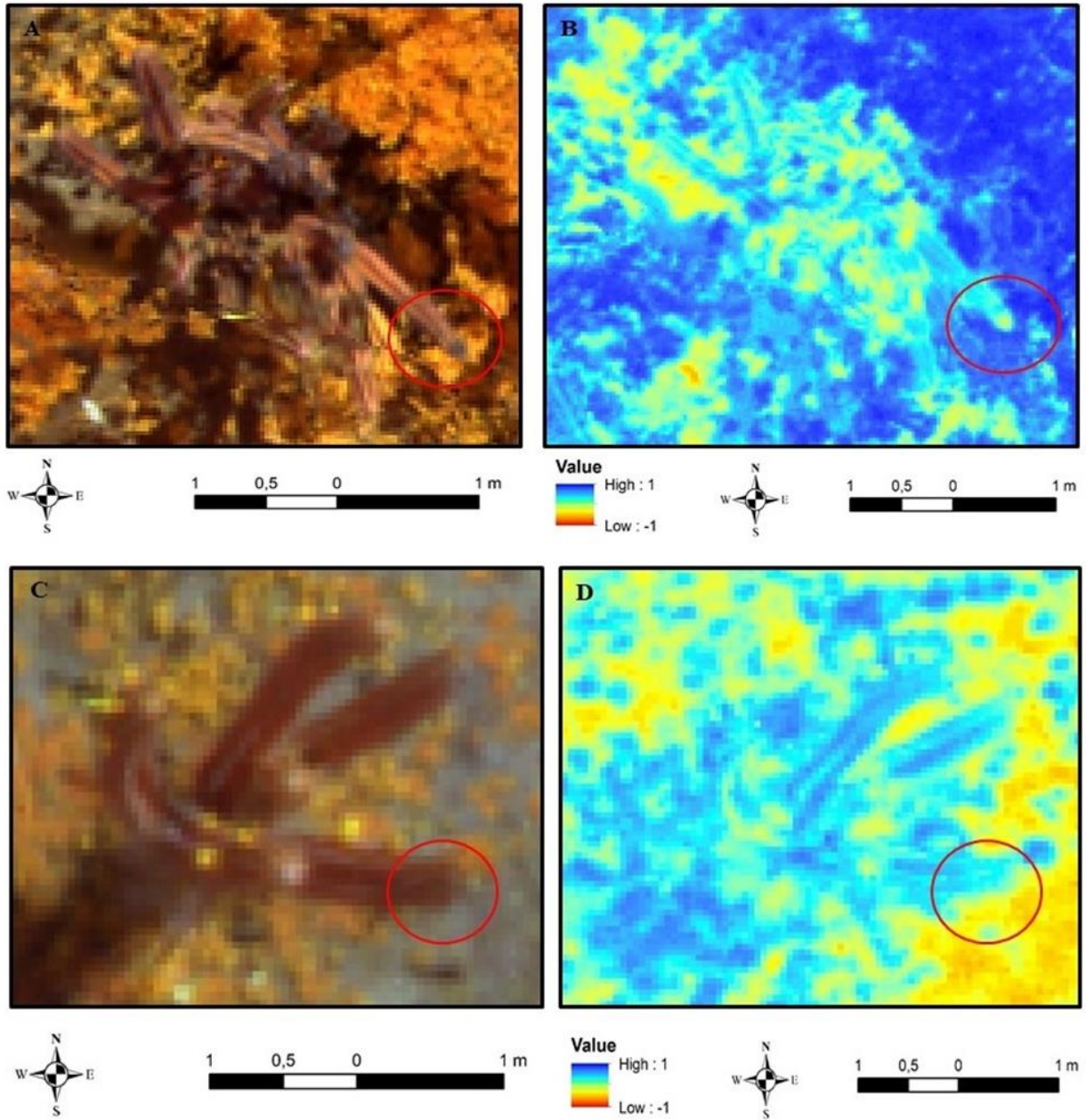


Figura 10 - Índice vegetativo NDVI aplicado ao mandacaru com (A, B) e sem sintomas (C, D) de podridão nos cladódios.

Discussão

Os sintomas observados nos cladódios das plantas de mandacaru nas áreas de produtores de sisal MVL, MRJ e MSD no semiárido da Bahia são causados por fungos dos gêneros *Lasiodiplodia sp.*, *Dichotomophthora sp.* e *Clonostachys*, respectivamente. Entretanto, a análise molecular irá confirmar a identificação taxonômica destes fungos em nível de gênero e espécie. Sintomas de podridão na parte basal e do ápice de cladódios, com posterior escurecimento e necrose dos tecidos infectados no mandacaru (*Cereus jamacaru*), causados por *Lasiodiplodia theobromae*, em plantas adultas, foram relatados por Freire (2009) no estado do Ceará, mas sem a identificação molecular deste isolado fúngico e sem o relato de ocorrência no campo ou em mudas envasadas, como neste estudo. Este mesmo autor cita a espécie *Lasiodiplodia theobromae* como endofítica no mandacaru, por ter sido isolada em mudas de produção *in vitro*.

O fungo *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon e Maubl. (sinônimo= *Botryodiplodia theobromae* Pat.) é um fungo oportunista, cosmopolita e polífago, com diversos hospedeiros, em regiões de clima tropical e temperado, cuja patogenicidade está relacionada a estresses bióticos e abióticos, mesmo em espécies vegetais adaptadas as condições climáticas (Freire et al. 2004; Lima et al. 2013). Este gênero fúngico já foi encontrado causando doenças em outras cactáceas. Na palma (*Nopalea cochenillifera*), diferentes espécies do gênero *Lasiodiplodia* foram associadas à mancha marrom do cladódio (CBS), importante doença que acomete esta cultura, sendo *Lasiodiplodia iraniensis* considerada a espécie mais agressiva (Conforto et al. 2019; Feijo et al. 2019). Na palma *Opuntia ficus-indica*, os sintomas de mancha marrom e necrose foram associados ao *Lasiodiplodia theobromae* (Souza et al. 2010; Swart e Kriel 2002).

As espécies do gênero *Lasiodiplodia* podem infectar vários órgãos de plantas, causando necroses, manchas ou gomoses que afetam o desenvolvimento e levam a morte das plantas, acarretando significativos danos na agricultura. No Brasil, este fungo já foi relatado causando podridão em coco (*Cocos nucifera* L) (Rosado et al. 2016), fruta-do-conde (*Annona squamosa*) (Cardoso et al. 2017), maçã (*Malus domestica*) (Martins et al. 2018), berinjela (*Solanum melongena*) (Vieira et al. 2018) e caju (*Anacardium* spp.) (Netto et al. 2017). Em todos estes estudos, as espécies isoladas de *Lasiodiplodia* foram consideradas agressivas, o que pode estar ocorrendo também para o mandacaru no semiárido da Bahia.

O gênero *Dichotomophthora* Mehrl. & Fitzp é de distribuição mundial, com espécies conhecidas como patógenos de plantas, os quais causam sintomas como manchas foliares, abscisão foliar, ferrugem do caule, podridões e enfraquecimento de sementes e, estes também são encontrados como saprófitos do solo, porém, foram encontrados poucos relatos na literatura a respeito deste gênero (Marin-Felix et al. 2019).

No mandacaru (*Cereus jamacaru*), a podridão azul causada pela espécie *Dichotomophthora cactacearum* é considerada uma das principais doenças desta cactácea no Nordeste, sendo detectada pela primeira vez nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará em 1972, e descrita como uma nova espécie de *Dichotomophthora* (Ponte e Freire, 1972). A doença costuma ocorrer principalmente nos períodos de alta pluviosidade e a infecção geralmente atinge a parte apical dos cladódios, provocando lesões escuras e azuladas, às vezes com abundante formação de esporos do patógeno sobre as áreas lesionadas (Freire, 2009). No presente estudo, este gênero foi associado a sintomas de mancha escura com reflexo azulado, acompanhada por borda clorótica e avermelhada e

consequente apodrecimento do sistema vascular. Outras espécies de *Dichotomophthora* já foram associadas a doenças em cactáceas, como o *D. indica* (sinônimo=*Dichotomophthora lutea*), isolado de tecido doente de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart.) e *Gymnocalycium mihanovichii* (Fric & Gurke), produzidos em estufa comercial no estado do Arizona, nos Estados Unidos. Em *M. geometrizans* as lesões causadas por *D. indicam* eram de cor marrom a preta, com posterior colapso do tecido infectado, enquanto no *G. mihanovichii* o sintoma foi de podridão seca acinzentada (Pfeiffer e Wheeler, 1989). Na cactácea *Schlumbergera truncatan*, a ferrugem da ponta, causada por *Dichotomophthora* sp., é considerada uma doença de baixo impacto (Wick, 2017).

As espécies *D. lutea* e *D. portulacae* são apontadas como principais patógenos responsáveis por manchas foliares e necrose em beldroega (*Portulaca oleracea*), importante hortaliça cultivada em diversos países e hospedeiro original do gênero *Dichotomophthora* (Eken, 2003; Jing et al., 2008; Heidari et al., 2018; Mehrlich e Fitzpatrick, 1935). No Brasil, uma espécie ainda não identificada do gênero *Dichotomophthora* é caracterizada como agente etiológico da mancha e abscisão foliar em *Anredera cordifolia* (Soares e Nechet, 2017).

O gênero *Clonostachys* (sinônimo=*Bionectria*) engloba espécies cosmopolitas, saprofíticas, micoparasitas destrutivos, entomopatogênicos, liquenícolas, endofíticos em tecidos vegetais saudáveis ou em decomposição, que estão presentes no solo e em diferentes substratos, sendo encontradas em regiões temperadas, tropicais e desérticas (Abreu et al., 2014; Hyde et al., 2020; Saraiva et al., 2014). As espécies deste gênero são comumente utilizadas no controle biológico de diversos patógenos vegetais, como bactérias, fungos e

nematoides, destacando-se a espécie *C. rosea* (Morandi et al., 2000; Márquez-Dávila et al 2020; Saraiva et al 2014). Dentre os mecanismos antagônicos apresentados pelas espécies desse gênero, está a produção de metabólitos secundários, contendo nitrogênio, policetídeos, piperazinas e terpenóides como as glisopreninas e ilicicolinas, que foram extraídos apenas de *Clonostachys* (Han et al., 2020).

Schroers (2001) relata que espécies de *Clonostachys* não possuem fitopatogenicidade significativa, e quando ocorrem associados a sintomas, esta é possivelmente uma infecção secundária, pois estes fungos apresentam características saprofíticas inespecíficas. Além disso, costumam colonizar de forma eficaz lesões causadas por danos mecânicos, evitando a entrada de agentes patogênicos ou limitando o seu crescimento (Saraiva et al 2014; Schroers, 2001). No presente estudo, o *Clonostachys* foi isolado de plantas de mandacaru com sintomas de podridão seca no campo (Figura 11) e não foram observados ferimentos provocados por insetos.



Figura 11 - Sintoma de podridão seca em cladódios de mandacaru advindos do campo, no município de São Domingos, Bahia.

No teste de patogenicidade, o *Clonostachys* sp. causou a formação de lesões marrons com necrose local, apodrecimento e murcha do cladódio de mudas de semente, não ocorrendo sintomas nas mudas de cladódios maduros. A espécie *C. rosea* foi apontada como sendo o patógeno responsável por causar murcha e podridão da coroa em feijão-fava (*Vicia faba*) no Iran (Afshari e Hemmati, 2017), e também por causar mancha necrótica em tubérculos de orquídea (*Gastrodia elata*) medicinal, com incidência de 70, 5% e severidade de 25%, em campos de produção comercial na Coreia (Lee et al., 2020) e em tubérculos de batata inglesa (*Solanum tuberosum*) (García-Ávila et al., 2018). Bienapfl et al. (2012) relatam o *C. rosea* como agente causal da podridão radicular em soja (*Glycine max*), em plantios nos Estados Unidos, e este fungo também foi isolado de pecíolos e trifólios sintomáticos, indicando colonização sistêmica das plantas.

Abang et al. (2009) citam a espécie *Clonostachys rhizophaga* causando clorose da folhagem, descoloração vascular e morte de cultivares de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) na Síria. Zizzerini et al. (2010) relataram esta espécie afetando a Poaceae *Dendrocalamus giganteus*, bambu gigante muito difundido em Moçambique, utilizado como material de construção, com sintomas de estrias longitudinais escuras na superfície do caule, correspondendo a um escurecimento vascular interno e clorose nas folhas largas que gradualmente evoluíam para necrose, com posterior morte da planta. Os mesmos sintomas provocados por *C. rhizophaga* também foram observados em Castanha d'água (*Eleocharis dulcis*) na China (Yan et al., 2019).

A análise de podridões em cladódios de mandacaru em campo, com uso do imageamento via sensoriamento remoto, mostrou-se como potencial método para estudo da ocorrência de doenças nesta espécie vegetal no bioma Caatinga, em comparação com a

observação das plantas no solo e anotação manual dos sintomas. El-Ghany et al., (2020) relatam que a utilização de sensores pode proporcionar uma avaliação mais precisa e objetiva de infecções em plantas, o que é fundamental para a tomada de decisão para ações de controle. Na análise de patossistemas por meio de imageamento remoto, nem sempre é possível a visualização do sintoma da doença, mas no presente estudo foi possível a observação do sintoma nas imagens com a aplicação da composição falsa-cor 541. Outros autores têm utilizado o imageamento para análise de doenças de planta em campo, a exemplo de Mattupalli et al. (2018) que monitoraram a ocorrência e evolução da podridão radicular em alfafa (*Medicago sativa* L.) pelo fungo *Phymatotrichopsis omnívora*, porém, com a composição RGB.

Os índices NDVI e NDRE, com valores abaixo de 0,59 e 0,51 respectivamente, observados nas plantas de mandacaru com sintomas, indicam o estresse biótico da planta, conforme relatado por Candiago et al. (2015). Estes índices variam de -1 a 1, onde valores negativos correspondem às áreas com estruturas artificiais ou solo exposto, as vegetações apresentam valores positivos de acordo com seu estado vegetativo, valores próximos a 0 geralmente estão associados a alterações na cobertura vegetal, que pode estar relacionado a ocorrência de pragas e doenças (Meneses et al., 2012). Nesse sentido, Dang et al., (2020) conseguiram detectar a murcha de *Fusarium* sp. em rabanetes em diferentes estágios da doença com alta precisão, utilizando imagens RGB e NIR obtidas por sensores multiespectrais, e categorizaram a severidade da doença em regiões saudáveis, murchas leves e graves, onde os valores de NDVI na fase intermediária da doença (murcha leve) foram de 0,45 a 0,70 e abaixo de 0,45 na fase tardia. Ye et al., (2020) também diferenciaram bananeiras (*Musa* spp.) infestadas ou não

com murcha de *Fusarium* através de imagens multiespectrais obtidas por VANTs e índices vegetativos relacionados à absorção de pigmentos, como o índice de clorofila de borda vermelha (CIRE), clorofila verde (CIgreen), NDVI com valores abaixo de 0,36 e NDRE 0,12. Estes autores também citam que diferentes resoluções espaciais podem influenciar na identificação da doença. Neste estudo, o índice NDVI permitiu uma melhor visualização do sintoma de podridão nas plantas de mandacaru por meio das imagens digitais, e uma amplitude maior dos valores médios obtidos entre as plantas com e sem sintomas em relação ao NDRE. A menor extensão dos valores do NDRE em analogia ao NDVI nas plantas sintomáticas pode ser devido a maior sensibilidade do NDRE às variações de clorofila presente nos cladódios, já que este avalia perturbações bioquímicas na escala da estrutura celular das plantas (Holland e Schepers, 2010; Shiratsuchi et al., 2014).

Soca-Munoz et al., (2019) identificaram por meio de sensor multiespectral e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) a assinatura da refletância espectral da ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) e da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*), com valores abaixo de 0,23 e 0,13 respectivamente, que afetam folhas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), e assim foi possível determinar cinco níveis de severidade para cada tipo de ferrugem, observando que as maiores diferenças entre folhas saudáveis e doentes foram nas bandas do vermelho e infravermelho próximo.

No mandacaru, houve diferença da taxa de incidência da podridão em relação a avaliação *in loco* e através dos mapas multiespectrais. A menor incidência nas imagens, em comparação a análise *in loco*, pode ser devido ao fato de que o drone conseguiu abranger uma área maior do que foi possível para o avaliador em solo, devido as

características inerentes do local avaliado. A análise da incidência pelo sensoriamento remoto permitiu uma visão mais ampla da ocorrência da doença nas áreas. A severidade da doença foi avaliada *in loco*, através das imagens não foi possível a visualização de toda a extensão dos cladódios pelos mapas gerados, provavelmente devido à estrutura morfofisiológica do mandacaru. A avaliação dos patosistemas em solo ainda é considerada por muitos um componente indispensável para a precisão da avaliação de doenças em vegetais via sensoriamento remoto, pois diferentes estresses abióticos e bióticos muitas vezes causam sintomas e modificações fisiológicas semelhantes na planta (Oerke, 2020). Pugh et al. (2018), ao avaliarem a incidência e severidade da antracnose causada por *Colletotrichum sublineola* em sorgo, correlacionaram os valores obtidos por NDVI com os dados obtidos pela observação em solo e destacaram a necessidade desta avaliação conjunta pelo fato do índice NDVI avaliar a fitossanidade de modo geral, incluindo fatores bióticos e abióticos. Kalischuk et al. (2019) também citam esta necessidade em estudo realizado em plantio de melancia com ocorrência de murcha de *Fusarium* sp., podridão de frutos (*Phytophthora* sp.) e mancha foliar (*Alternaria* sp.).

Porém, estudos com novas metodologias e técnicas vem sendo desenvolvidos para tornar a avaliação de doenças por sensoriamento remoto mais automatizada e precisa. Como exemplo, Zhao et al., (2020) desenvolveram um método baseado na normalização dos índices vegetativos mais utilizados e, através de imagens hiperespectrais, foi possível avaliar por automação, a ocorrência de doenças sem a observação em solo. A técnica foi aplicada em dois campos de algodão com diferentes graus da podridão da raiz do algodão e os resultados mostraram que os pixels das imagens de plantas com altos níveis de severidade da doença tinham valores espectrais diferentes das imagens de plantas

saudáveis e geralmente estavam localizadas nas partes centrais das áreas infestadas. Este estudo foi baseado em estudos anteriores com pesquisas em solo, garantindo que o método de classificação foi eficiente na monitoração desta doença em grandes áreas. Wang et al., (2020) também desenvolveram um classificador capaz de detectar a podridão da raiz do algodão, causada pelo fungo *Phymatotrichopsis omnivora*, a nível de uma única planta, de modo automatizado, baseado em imagens multiespectrais obtidas por sensoriamento remoto com VANTs, que em comparação aos métodos convencionais de classificação, alcançou precisão geral de 92,1%.

Os recentes avanços nos métodos de análises fitopatológicas com o uso de sensoriamento remoto têm contribuído para que esta tenha se tornado uma das tecnologias mais promissoras na investigação de diferentes parâmetros ambientais, no que diz respeito à monitorização de doenças em plantas, fazendo com que o processo de tomada de decisão seja mais preciso. Esta tecnologia pode contribuir para um manejo mais eficiente, ao permitir uma abrangência cada vez maior de áreas, em relação as observações em solo, além de ter custo e tempo de análise reduzidos, em comparação aos métodos tradicionais (Ganthaler et al. 2018; Fahrentrapp et al. 2019; Heim et al. 2019).

Conclusões

A podridão em cladódios de mandacaru nessas regiões do semiárido da Bahia é causada pelos fungos dos gêneros *Lasiodiplodia* sp., *Dichotomophthora* sp. e *Clonostachys* sp. Este é o primeiro relato de *Lasiodiplodia* sp. e *Dichotomophthora* sp. causando doenças em *Cereus jamacaru* em campo, no semiárido da Bahia, e de *Clonostachys* sp. como agente patogênico em cactáceas. É possível avaliar a ocorrência

da podridão em cladódios do mandacaru via imageamento utilizando VANTs e sensores multiespectrais. A composição de falsa-cor 541 é a melhor na análise dos sintomas da podridão nos cladódios do mandacaru, através das imagens. Os valores de incidência de podridões no mandacaru são elevados, acima de 50 %, em áreas avaliadas. Essas podridões afetam a propagação e conservação desta cactácea no semiárido da Bahia, pois a infecção dos cladódios impede o seu crescimento e reprodução, o que pode causar a redução drástica desta cactácea no bioma Caatinga.

Referências

- Alencar, N. L. M., Innecco, R., Gomes-Filho, E., Gallão, M. I., Alvarez-pizarro, J. C., Prisco, J. T., Oliveira, A. B. 2012. Seed reserve composition and mobilization during germination and early seedling establishment of *Cereus jamacaru* D.C. ssp. *Jamacaru* (Cactaceae). *Anais da Acad. Brasile. de Ciênc.* 84:823-832.
- Almeida, M. M., Silva, F. L. H., Conrado, L. S., Mota, J. C., Freire, R. M. M. 2011. Estudo cinético e caracterização da bebida fermentada do *Cereus jamacaru* P. DC. *Rev. Verde.* 6:176-183.
- Abdulridha, J., Ampatzidis, Y., Qureshi, J., Roberts, P. 2020. Laboratory and UAV-based identification and classification of tomato yellow leaf curl, bacterial spot, and target spot diseases in tomato utilizing hyperspectral imaging and machine learning. *Remote Sensing*, 12(2732):1-17.
- Amorim, L., Bergamin Filho, A. 2018. Fenologia, patometria e quantificação de danos. In: Amorim, L.; Resende, J. A. M; Bergamin Filho, A (Ed.). *Manual de fitopatologia*, Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, 5. ed., p. 500-516.

- Abreu, L., Moreira, G., Ferreira, D., Rodrigues-Filho, E., Pfenning, L. 2014. Diversity of *Clonostachys* species assessed by molecular phylogenetics and MALDI-TOF mass spectrometry. *Fungal Biology* 118(12):1004-1012.
- Abang, M.M., Kabbabeh, S., Ahmed, S., Murad, S., Chilvers, M.I., Peever, T.L., Schroers, H.J. 2009. First Report of Chickpea Wilt Caused by *Clonostachys rhizophaga* in Syria. *Plant Dis.* 93(6):666.
- Afshari, N., Hemmati, R. 2017. First report of the occurrence and pathogenicity of *Clonostachys rosea* on *faba bean*. *Australasian Plant Pathol.* 46:231–234.
- Bienapfl, J.C., Floyd, C.M., Percich, J.A., Malvick, D.K. 2012. First Report of *Clonostachys rosea* Causing Root Rot of Soybean in the United States. *Plant Disease* 96(11):1700.
- Bowen, K.L. 2004. Plant Disease Epidemiology. In: Trigiano, R.N., M.T. Windham and A.S. Windham (eds.), *Plant Pathology, Concepts and Laboratory Exercises*. New York: CRC Press, 2ed, 281–294.
- Bruton, L. L., Lazo, J. S., Parker, K. L. 2006. *As bases farmacológicas da terapêutica*. São Paulo: McGraw-Hill- Interamericana do Brasil.
- Candiago S., Remondino, F., Giglio, M.D., Dubbini, M., Gattelli, M. 2015. Multispectral images and vegetation indices for precision agricultural applications from. *Remote Sens.* 7: 4026-4047.
- Castro Jorge, L. A. e Inamasu, R. Y. 2014. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: Bernardi, A. C. C., Naime, J. M., Resende, A. V., Bassoi, L. H., Inamasu, R. Y. (Org.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. São Carlos: Embrapa. 2:58-73.

- Cavalcante, A., Teles, M., Machado, M. 2013. Cactos do semiárido do Brasil: Guia ilustrado. Campina grande: INSA. 54p.
- Cavalcanti, N. B. e Resende, R. 2006. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento do mandacaru sem espinhos (*Cereus hildemannianus* K. Schum). Rev. Caatinga.19: 255- 260.
- Cardoso, J.E.; Lima, J.S, Viana, F.M.P, Ootani, M.A, Araújo, F.S.A, Fonseca, W.L, Lima, C.S, Martins, M.V.V. 2017. First report of *Lasiodiplodia brasiliense* causing postharvest fruit rot of custard apple (*Annona squamosa*) in Brazil. Plant Disease. 101:1542–1542.
- Correia, D., Silva, I. C., Nascimento, E. H. S., Morais, J. P. S. 2012. Produção de mudas de mandacaru. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 6 p. il. (Comunicado técnico, 39).
- Cooke, B.M., 2006. Disease Assessment and Yield Loss. In: Cooke, B.M., D.G. Jones and B. Kaye (eds.), The Epidemiology of Plant Diseases, 2 ed, pp: 43–80. Springer, The Netherlands.
- Conforto, C., Lima, N. B., Silva, F. J. A., Câmara, M. P. S., Maharachchikumbura, S., Michereff, S. J.2019. Characterization of fungal species associated with cladode brown spot on *Nopalea cochenillifera* in Brazil. Eur. J. Plant. Pathol. 155: 1179-1194.
- Davet, A., Virtuoso, S., Dias, J. F. G., Miguel, M. D., Oliveira, A. B., Miguel, O. G. 2009. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. Rev. Brasile. de Farmacog. 19:561-564.

- Dang, L.M., Wang, H., Li, Y., Min, K., Kwak, J.T., Lee, O.N., Park, H., Moon, H. 2020. *Fusarium* wilt of radish detection using RGB and near infrared images from unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing*, 12(2863):1-21.
- Eken, C. 2003. *Dichotomophthora portulacae* on *Portulaca oleracea* in Turkey. *Mycotaxon*, 87:153-156.
- El-Ghany, N.M.A., El-Aziz, S.E.A., Marei, S.S. 2020. A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1): 33503 – 33515.
- Fahrentrapp, J., Ria, F., Geilhausen, M., Panassiti, B. 2019. Detection of gray mold leaf infections before visual appearance of symptoms using a five band multispectral sensor. *Front. Plant Sci.* 10: 628.
- Feijo, F.M., Silva, M.J.S., Nascimento, A. D., Infante, A. B., Ramos-Sobrinho, R., Assunção, I. P., Lima, G. S. 2019. Botryosphaeriaceae species associated with the pickly pear cactus, *Nopalea cochenillifera*. *Trop. Plant Pathol.* 44: 452–459
- Freire, F. C. O. 2009. Patógenos associados ao mandacaru (*Cereus jamacaru* Dc.) no Estado do Ceará. Embrapa. Comunicado Técnico 148.
- Freire, F. C. O., Viana, F. M. P., Cardoso, J. E., Santos, A. A. 2004. Novos hospedeiros do fungo *Lasiodiplodia theobromae* no Estado do Ceará. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico 91. 6p.
- Fidelis, V. R. L., Pereira, E. M., Silva, W. P., Gomes, J.P., Silva, L. A. 2015. Produção de sorvetes e iogurtes a partir dos frutos figo da índia e mandacaru. *Rev. Verde de Agroec. e Desenv. Suste.* 10: 17-21.

- Ganthaler A., Losso, A., Mayr, S. 2018. Using image analysis for quantitative assessment of needle bladder rust disease of Norway spruce. *Plant Pathology*. 67:1122–1130.
- García-Ávila, C.J., Valenzuela-Tirado, G.A., Florencio-Anastasio, J.G., Ruiz-Galván, I., Moreno-Velázquez, M., Hernández-Macías, B., López-Buenfil, J.A, Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J.M., Quezada-Salinas, A., Ávila-Quezada, G. 2018. Organisms associated with damage to post-harvest potato tubers. *Mexican Magazine of Fitopatología* 36(2): 308-320.
- Han, P., Zhang, X., Xu, D., Zhang, B., Lai, D., Zhou, L. 2020. Metabolites from *Clonostachys* Fungi and Their Biological Activities. *J. Fungi* 6: 229.
- Hyde, K.D., Dong, Y., Phookamsak, R. et al. 2020. Fungal diversity notes 1151–1276: taxonomic and phylogenetic contributions on genera and species of fungal taxa. *Fungal Diversity* 100:5–277.
- Heidari, K., Farokhinejad, R., Mehrabi-Koushki, M. 2018. Occurrence of purslane leaf spot caused by *Dichotomophthora lutea* in Iran. *Australasian Plant Disease Notes*. 13:33.
- Heim, R., Wright, I. J., Scarth, P., Carnegie, A.J., Taylor, D., Oldeland, J. 2019. Multispectral, aerial disease detection for Myrtle Rust (*Austropuccinia psidii*) on a Lemon Myrtle Plantation. *Drones*. 3:25.
- Heyduk, K., Mckain, M. R., Lalani F., Leebens-Mack, J. 2016. Evolution of a CAM anatomy predates the origins of Crassulacean acid metabolism in the Agavoideae (Asparagaceae). *Molec. Phylog. and Evolut.* 105: 102–113.

- Holland, K.H., Schepers, J.S. 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for inseason fertilization of corn. *Agronomy Journal*, Madison, 102(5):1415-1424.
- Kalischuk, M., Paret, L.M.L., Freeman, J.H., Raj, D., Silva, S., Eubanks, S., Wiggins, D.J. Lollar, M., James J. Marois, J. J., Mellinger, H. C., Das, J. 2019. An improved crop scouting technique incorporating unmanned aerial vehicle–assisted multispectral crop imaging into conventional scouting practice for gummy stem blight in watermelon. *Plant Disease*. 103:1642-1650.
- Kranz, J. 1988. Measuring Plant Disease. In: Kranz, J. and J. Rotem (eds.), *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*, pp: 35–50. Springer, The Netherlands.
- Jing, J., Diao, L.G., Lu, B.S., Li, B.D. 2008. The finding of *Dichotomophthora portulacae* in China. *Mycosystema* 27:601–603.
- Lan, Y., Huang, Z., Deng, X., Zhu, Z., Huang, H., Zheng, Z., Lian, B., Zeng, G., Tong, Z. 2020. Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171(105234) :1-12.
- Loladze, A., Rodrigues Jr. F.A., Toledo, F., San Vicente, F., Gérard, B., Boddupalli, M. P. 2019. Application of remote sensing for phenotyping tar spot complex resistance in maize. *Frontiers In Plant Sciec*. 10:552.
- Lee, S.A., Kang, M.J., Kim, T.D., Park, E. J. 2020. First Report of *Clonostachys rosea* Causing Root Rot of *Gastrodia elata* in Korea. *Plant Disease* ,104(11): 3069-3069
- Liu, W. T. H. 2006. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande: UNIDERP. 908 p.

- Lima, J.S., Moreira, R.C., Cardoso, J.E., Martins, M.V.V., Viana, F.M.P. 2013. Caracterização cultural, morfológica e patogênica de *Lasiodiplodia theobromae* associado a frutíferas tropicais. *Summa Phytopatho.* 39:81-88.
- Márquez-Dávila, K., Arévalo-López, L., Gonzáles, R., Vega, L., Meza, M. 2020. *Trichoderma* e *Clonostachys* como agentes de biocontrole contra *Meloidogyne incognita* em sacha inchi. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 50: 60890.
- Morandi, M.A.B., Sutton, J.C., Maffia, L.A. 2000. Relationships of aphid and mite infestations to control of *Botrytis cinerea* by *Clonostachys rosea* in rose (*Rosa hybrida*) leaves. *Phytoparasitica* 28:55–64.
- Mattupalli, C., Moffet, C. A., Shah, K. N., Young, C. A. 2018. Supervised Classification of RGB Aerial Imagery to Evaluate the Impact of a Root Rot Disease. *Remote Sens.* 10:917.
- Martins, M. V. V., Lima, J. S., Hawerth, F., Ootani, M. A., Araújo, F. S. A., Cardoso, J. E., Serrano, L., and Viana, F. M. 2018. First report of *Lasiodiplodia brasiliensis* causing disease in apple trees in Brazil. *Plant Disease.* 102:1027.
- Marin-Felix, Y., Hernandez-Restrepo M., Wingfield, M.J., Akulov, A., Carnegie, A.J., Cheewangkoon, R., Gramaje, D., Groenewald, J.Z., Guarnaccia, V., Halleen, F., Lombard, L., Luangsaard, J., Marincowitz, S., Moslemi, A., Mostert, L., Quaedvlieg, W., Schumacher, R.K., Spies, C.F.J., Thangavel, R., Taylor, P.W.J., Wilson, A.M., Wingfield, B.D., Wood, A.R., Crous, P.W. 2019. Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 2. *Stud Mycol* 92:47–133.
- Mehrlich, F.P., Fitzpatrick, H.M. 1935. *Dichotomophthora portulacae*, a pathogene of *Portulaca oleracea*. *Mycologia* 27:543–550.

- Messias, J. B., Caraciolo, M. C., Oliveira, I. M. D., Montarroyos, U. R., Bastos, I. V. G. A., Guerra, M. D. O., Souza, I. 2010. Avaliação dos parâmetros hematológicos e bioquímicos de ratas no segundo terço da gestação submetidas à ação de extrato metanólico de *Cereus jamacaru* D.C., Cactaceae. Rev. Brasile. de Farmacog. 20:478-483.
- Meneses, P.R., Almeida, T., Rosa, A. N.C.S., Sano, E. E., Souza, E. B., Baptista, G. M. M., Brites, R. S. (Ed.). 2012. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UNB. 276p.
- Mizrahi, Y., Nerd, A., Sitrit, Y. 2002. New fruits for arid climates. In: Janick, J.; Whipkey, A. (Ed.). Trends in new crops and new uses. Alexandria: ASHS Press. 378-384.
- Nascimento, A. M. L., Silva, J. S. B., Lucena, C. M., Lucena, R. F. P. 2019. Etnobotânica de cactos nativos da região nordeste do Brasil: o uso tradicional pode influenciar a disponibilidade ?. Acta Botanica Brasilica, 33 (2), 350-359.
- Nunes, J. T., Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., Santiago, V. M. S., Gomes, J. P. 2013. Caracterização química e colorimétrica da polpa do mandacaru. Rev. Educa. Agríc. Super. 28:102-106.
- Pfeiffer, C.M., Wheeler, J.E. 1989. First Report of *Dichotomophthora indica* as a Pathogen of *Myrtillocactus geometrizans* and *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* in Arizona. Plant Disease. 73(81):1.
- Ponte, J.J., Freire, F.C.O. 1972. *Dichotomophthora cactacearum* sp. n. agent of the cactus blue rot. Boletim Cearense de Agronomia. 13:13-16.

- Pugh, N. A., Han, X., Collins, D.S., Thomasson, J. A., Chang, D. A., Jung, J., Isakeit, T. S., Prom, L. K., Carvalho, G., Gates, I.T., Vree, A., Bagnall, G.C., Rooney, W. L. (2018). Suitability estimation in a sorghum field infected with anthracnose using a fixed wing unmanned aerial system. *Journ. of Harv. Improv.* 32:861-877.
- Oerke, E. 2020. Remote sensing of diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 1(58):225–252.
- Oliveira, A. S., Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., Brito, J. G. 2015. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. *Rev. Brasile. de Eng. Agríc. e Amb.* 19:147-153.
- Oliveira, A. J. B. e Machado, M. F. P. S. 2003. Alkaloid production by callous tissue cultures of *Cereus peruvianus* (Cactaceae). *Appli. Bioch. and Biotec.* 104:149-155.
- Rani, D.S., Venkatesh, M. N., Srich, N. S., Kumar, K. A. 2018. Remote sensing as pest forecasting model in agriculture. *Int. J. Curr. Microbiol Appl. Sci.*, 7(3):2680–2689.
- Rosado, A. W. C., Machado, A. R., Freire, F.C. O., Pereira, O. L. 2016. Phylogeny, Identification, and Pathogenicity of *Lasiodiplodia* Associated with Postharvest Stem-End Rot of Coconut in Brazil. *Plant Disease.* 100:561-568.
- Sales, M. S.L., Martins, L. V., Iael De Souza, I., Meireles De Deus, M. S., Peron, A. P. 2014. *Cereus jamacaru* de candolle (cactaceae), o mandacaru do Nordeste brasileiro. *Publicatio Uepg: Cienc. Biolog. e da Saud.* 20:135-142.
- Saraiva, R. M., França, P. E., Borges, Á. V., Maffia, L. A. 2014. Uso e perspectiva de *Clonostachys rosea* como agente de biocontrole. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1): 78-91.

- Savian, F., Martini, M., Ermacora, P., Paulus, S., Mahlein, A. 2020. Prediction of the kiwifruit decline syndrome in diseased orchards by remote sensing. *Remote Sensing*, 12(2194):1-19.
- Soca-Muñoz, J.L., Rodríguez-Machado, E., Aday-Díaz, O., Hernández-Santana, L., Orozco-Morales, R. 2019. Spectral signature of brown rust and orange rust in sugarcane. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia*, 1(96):1-21.
- Schroers, H.J. 2001. A monograph of *Bionectria* (Ascomycota, Hypocreales, Bionectriaceae) and its *Clonostachys* anamorphs. *Stud Mycol* 46:1–214.
- Seifert, K., Morgan-Jones, G., Gams, W., Kendrick, B. 2011. The genera of Hyphomycetes. 9 ed. CBS Biodiversity Series, 997 p.
- Silva, L. R. e Alves, R. E. 2009. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. *Rev. Acad.: Ciênc. Agrár. e Ambie.* 7: 199-205.
- Shiratsuchi, L. S., Brandão, Z. N., Vicente, L. E., Victoria, D.C., Ducati, J. R., Oliveira, R.P., Vilela, M. F. 2014. 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. (Org.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. São Carlos: Embrapa. 2:58-73.
- Souza, A.E.F, Nascimento, L.C, Araújo, E., Lopes, E.B, Souto, F.M 2010. Ocorrência e identificação de agentes etiológicos de doenças em palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) no semiárido paraibano. *Biotemas*. 23:11–20.
- Soares, D.J., Nechet, K.L. 2017. *Dichotomophthora* sp. causing leaf spot and foliar abscission on *Anredera cordifolia* in Brazil. *Austr Plant Dis Notes*, 12:51.

- Swart, W. J e Kriel, W. M. 2002. Patógenos associados à necrose de cladódios de peras de cactos na África do Sul. *Plant Disease*. 86:693.
- Vieira, J.C. B., Câmara, M. P. S., Bezerra, J.D.P., Motta, C.M.S., Machado, A.R. 2018. First Report of *Lasiodiplodia theobromae* Causing Rot in Eggplant Fruit in Brazil. *Plant Disease*.102:2039.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p
- Wick, R.L. 2017. Diseases of Holiday Cacti: *Schlumbergera* and *Hatiora*. In: McGovern R., Elmer, W. (eds). Handbook of Florists' Crops Diseases. *Handbook of Plant Disease Management*. Springer, Cham. 975-986.
- Wang, T., Thomasson, A. J., Isakeit, T., Yang, C., Nichols, R.L. 2020. A plant-by-plant method to identify and treat cotton root rot based on uav remote sensing. *Remote Sensing*, 12(245):1-30.
- Yang, X., Zhang, A.F., Gu, C. Y., Zang, H.Y., Chen, Y. 2019. First Report of *Clonostachys rhizophaga* as a Pathogen of Water Chestnut (*Eleocharis dulcis*) in Anhui Province of China. *Plant Disease*,103 (1): 151.
- Ye, H., Huang, W., Huang, S., Cui, B., Dong, Y., Guo, A., Ren, Y., Jin, Y. 2020. Recognition of banana *Fusarium* wilt based on UAV remote sensing. *Remote Sensing*, 12(938):1-14.
- Zizzerini, A., Quaglia, M., Davoli, O., Marani, O. 2010 First Report of *Clonostachys rhizophaga* as a Pathogen of *Dendrocalamus giganteus* in Mozambique. *Plant Disease*, 94(3):372.

- Zappi, D., Aona, L.Y.S., Taylor, N. 2007. Cactaceae In: Melhem, T.S., Wanderley, M.G.L., Martins, S. E., Jung-Mendaçolli, S.L., Shepherd, G.J., Kirizawa, M. (eds.) Flor. Fanerog. do Estad. de São Paulo. Instit. de Botân. São Paulo. 5:163-194.
- Zara, R. F., Thomazini, M. H., Lenz, G. F. 2012. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. Rev. de Estud. Ambien. 14:75-83.
- Zhao, H., Yang, C., Guo, W., Zhang, L., Zhang, D. 2020. Automatic estimation of crop disease severity levels based on vegetation index normalization. Remote Sensing, 12(1930):1-17.

