

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

SELEÇÃO PRECOCE PARA DIÂMETRO EM UM TESTE DE PROGÊNIES DE
Myracrodruon urundeuva **ATACADO POR PATÓGENO**

Tainara da Silva Santos

Sorocaba
Junho de 2021

Tainara da Silva Santos

SELEÇÃO PRECOCE PARA DIÂMETRO EM UM TESTE DE PROGÊNIES DE
Myracrodruon urundeuva **ATACADO POR PATÓGENO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de São Carlos campus Sorocaba.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Martins

Coorientador: Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes

Sorocaba

2021

Tainara da Silva Santos.

Seleção precoce para diâmetro em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* atacado por patógeno/ Tainara da Silva Santos. – Sorocaba: UFSCar, 2021.

35 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021

1. NDVI. 2. *Aspergillus niger*. 3. Coeficiente de repetibilidade. 4. Herdabilidade. I. Título.

CDD [número da CDD]



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL - CCEFI-So/CCTS
Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780
Telefone: (15) 32296168 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 2/2021/CCEFI-So/CCTS

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso
Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

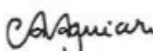
TAINARA DA SILVA SANTOS

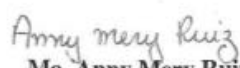
SELEÇÃO PRECOCE PARA DIÂMETRO EM UM TESTE DE PROGÊNIES DE *Myracrodruon urundeuva* ATACADO POR PATÓGENO

Trabalho de Conclusão de Curso

Sorocaba, 22 de junho de 2021

Profa. Dr. Karina Martins
Presidente (Orientadora)


Dra. Ananda Virginia de Aguiar
Membro da Banca 1


Ma. Anny Mery Ruiz
Membro da Banca 2



Documento assinado eletronicamente por **Karina Martins, Professor do Magistério Superior**, em 22/06/2021, às 16:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0418655** e o código CRC **0E63A26B**.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado as duas pessoas que sempre me apoiam desde o início, que têm os melhores conselhos, meus maiores exemplos como pessoas, pais e melhores amigos **Nelson Dias dos Santos** e **Celina Ap. da Silva Santos**. Obrigada por todo carinho!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Nelson e Celina por todo apoio, carinho, força, companheirismo e conselhos, sou extremamente grata por tudo que fizeram até aqui por mim e ainda fazem incentivando meus sonhos.

A minha família por cada palavra de carinho e motivação durante essa caminhada, em especial meus Avós Maria, Dinarte e José. A presença de vocês nesta caminhada foi muito importante a cada gesto de carinho, e sou muito grata!

A universidade Federal de São Carlos (UFSCar), incluindo meus colegas e amigos por toda a ajuda a cada ida a campo, a cada fase e nova conquista. O apoio de vocês foi fundamental para ser corajosa e correr atrás dos meus objetivos ganhando maturidade, muito obrigada! Em especial aos avacalhadeiros Ana Luiza, Ângela, Anna Flávia, Bianca, Camila, Jeniffer, Gabriela, Gustavo, Larissa, Mariana, Nicolli, Pedro e Sofia, obrigado pela amizade, vocês são incríveis!

A minha colega de trabalho e amiga Carla Américo, sem você parte deste trabalho não seria possível. Muito obrigada por acreditar no meu trabalho e aceitar fazer parte!

Aos meus amigos e companheiros de trabalho durante o período de estágio na Eucatex por todos os ensinamentos, trocas de conhecimentos e apoio, Olavo, Paula, João, Luiza, Rafael, Alexandre, Fernanda, Júlio, Jonas.

Ao meu primeiro orientador Pedro José Ferreira Filho, pelos ensinamentos iniciais como pesquisadora e por todo apoio para correr atrás e me dedicar pelos meus objetivos.

A minha orientadora, Karina, por acreditar em mim, se dedicar para o meu crescimento e sempre me impulsionar em todos meus objetivos topando todas as ideias com carinho e sem medir esforços, sem você nada do que conquistei durante a graduação seria possível! Da mesma forma ao meu coorientador Mário, pela paciência e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Claudio por todo o ensinamento e apoio em programação, seus ensinamentos sempre me ajudam até hoje!

Sou extremamente grata a todos vocês!!

“Aprendi que a coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre isso...”

Nelson Mandela

RESUMO

Myracrodruon urundeuva (Anacardiaceae), conhecida como aroeira verdadeira, possui ocorrência natural do Ceará ao chaco argentino e é classificada como espécie ameaçada nos âmbitos nacional e global. Um teste de progênies puro da espécie foi recentemente diagnosticado com severos danos no tronco, apresentando sintoma de apodrecimento do fuste e alta mortalidade devido ao ataque por patógeno. O presente trabalho teve por objetivos (i) realizar a identificação do patógeno, (ii) quantificar o nível de infestação no plantio ao longo dos anos, com uso de mapas e dados de mortalidade quantificados em campo, (iii) determinar se há associação entre a ocorrência da doença e a infestação de cupins e brocas observados no plantio, (iv) estimar a correlação entre três idades quanto à estabilidade do teste em meio a perturbação com a crescente mortalidade ocasionada pelo patógeno e (v) determinar a eficácia do uso de índices de vegetação (NDVI) na detecção de mortalidade em plantios. As avaliações das variáveis diâmetro e sobrevivência foram feitas nas idades de 11, 16 e 22 anos. O patógeno foi identificado como *Aspergillus niger* causador de podridão vermelha em sisal (*Agave sisalana* Perrine ex. Engelm). Para o caráter diâmetro, o teste de razão de probabilidades revelou que não há diferenças significativas entre as progênies nas três idades, porém o coeficiente de herdabilidade entre médias de progênies variou de mediano (0,32) a relativamente alto (0,44), indicando a possibilidade de ganho genético. O coeficiente de repetibilidade foi médio ($0,34 \pm 0,03$) para diâmetro, tendo-se uma forte correlação entre anos, o que indica o potencial de ganhos com uma seleção precoce. Os percentuais de sobrevivência nas idades de 11, 16 e 22 anos de avaliação do teste foram de 95,7%, 92,1% e 86,1% respectivamente. Foi verificada dependência espacial de sobrevivência entre as progênies impossibilitando a seleção de genótipos resistentes. A porcentagem de mortalidade obtida a partir do NDVI foi altamente correlacionada à mortalidade medida em campo, sendo, portanto, um método válido e eficiente para o uso proposto, além de ser de baixo custo e de fácil execução.

Palavras-chave: NDVI, *Aspergillus niger*, Coeficiente de repetibilidade, herdabilidade.

ABSTRACT

Myracrodruon urundeuva (Anacardiaceae), known as “aroeira”, occurs naturally from Ceará to the Argentine Chaco and is classified as an endangered species in Brazilian and global levels. A *M. urundeuva* progeny test was recently diagnosed with severe damage to the trunk, showing symptoms of stem rot and high mortality due to a pathogen attack. The present work had as objectives (i) to carry out the identification of the pathogen, (ii) to quantify the level of infestation in the plantation over the years, raising a history of the area using vegetation indexes (NDVI) estimated from satellite maps and mortality data measured in the field, (iii) to determine if there is an association between the occurrence of the disease and the infestation of termites and borers observed in the planting, (iv) estimate the correlation between three ages regarding the stability of the test amidst disturbance with the increasing mortality caused by the pathogen and (v) determine the effectiveness of NDVI analysis in detecting mortality in plantations. Measurements of tree diameter and survival were made at the ages of 11, 16 and 22 years. The pathogen has been identified as *Aspergillus niger* causing red rot in sisal (*Agave sisalana* Perrine ex. Engelm). For tree diameter, the likelihood ratio test revealed that there are no significant differences among progenies at the three ages, but the heritability coefficient among progenies means for diameter ranged from median (0.32) to relatively high (0.44), indicating the possibility of genetic gain. The repeatability coefficient was medium (0.34 ± 0.03) for diameter, with a strong correlation among years, which indicates the potential for gains with an early selection. The percentages of survival at ages 11, 16 and 22 years were 95.7%, 92.1% and 86.1%, respectively. We found spatial dependence of survival among progenies, hindering the selection of resistant genotypes. The percentage of mortality obtained from NDVI was highly correlated with the mortality measured in the field, being, therefore, it is a valid and efficient method for the proposed use, besides being of low cost and easy to carry out.

Keywords: NDVI, *Aspergillus niger*, Repeatability coefficient, heritability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do experimento na Fazenda Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, em Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	16
Figura 2: Sintomas das árvores do plantio. (a) Manchamento do fuste e broqueamento por insetos xilófagos. (b) Amostra de casca manchada pelo patógeno. (c) Murcha das folhas. (d) Fuste com broqueamento por insetos xilófagos.....	17
Figura 3: Isolado do patógeno em meio de cultura BDA, inoculado a partir de amostras de disco de árvores contaminadas.....	22
Figura 4: Croqui do experimento demonstrando a quantidade de árvores mortas nas três medições. Os números indicados nas células representam o código da progênie.....	26
Figura 5: Imagem dos conídios de <i>Aspergillus niger</i> em lâmina.....	27
Figura 6: NDVI calculado para o experimento de <i>Myracrodruon urundeuva</i> aos 11 (A), 16 (B), e 22 anos (C), Fazenda Experimental da UNESP, em Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	28

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Valores de *deviance* do teste de razão de verossimilhança (LRT) para variável diâmetro. Onde: ns indica diferença não significativa para o teste de qui-quadrado a 5% com um grau de liberdade..... **23**
- Tabela 2:** Componentes de variância e estimativas de parâmetros genéticos para a variável DAP (cm) em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* em três idades, em Selvíria, MS..... **24**
- Tabela 3:** Valores de *deviance* do teste de razão de verossimilhança (LRT) para variável sobrevivência. Onde: (**) $P \leq 0,01$ e ns (não significativo) a 5% para o teste de qui-quadrado com um grau de liberdade..... **26**

Sumário

1. Introdução	13
2. Metodologia	14
2.1. Informações sobre a espécie	14
2.2. Caracterização da área e do plantio	15
2.3. Medições de diâmetro e avaliação da mortalidade.....	16
2.4. Coleta de amostra para identificação da espécie de patógeno.....	17
2.5. Avaliação da associação da doença à infestação de cupins.....	18
2.6. Análise de dados de diâmetro e sobrevivência.....	18
2.7. Mapeamento da taxa de sobrevivência.....	21
2.8. Identificação do patógeno	21
3. Resultados e Discussão	23
3.1. Avaliação da associação da doença à infestação de cupins.....	23
3.2. Análise da variável DAP	23
3.3. Análise da variável sobrevivência	25
3.4. Identificação do patógeno	26
3.5. Mapeamento da taxa de sobrevivência.....	28
3.6. Estratégias de manejo	29
4. Conclusões	29
5. Referências.....	29

1. Introdução

De ocorrência natural desde o Ceará até São Paulo, *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (Anacardiaceae) é conhecida como aroeira-verdadeira ou aroeira preta. Caracterizada por possuir madeira de crescimento lento a moderado, com cerne durável, altamente resistente, elástica, resistente a cupins, recebe excelente polimento e, quando seca, é de difícil trabalhabilidade (Queiroz et al. 2002; Canuto et al. 2016). Em consequência da elevada qualidade da madeira, a espécie foi extremamente explorada e atualmente se encontra na lista oficial das espécies ameaçadas de extinção da IUCN na categoria vulnerável (Rodrigues et al. 2017).

Segundo Canuto et al. (2016), devido às elevadas ações antrópicas de exploração da espécie, têm-se feito uso da conservação *ex situ*, por meio de testes de progênies e procedências, que promovem assim maior garantia da conservação da diversidade genética das populações. Como exemplo, cita-se o Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *M. urundeuva* na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), localizada no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, composto por 19 plantios da espécie, oriundas de 12 procedências, em plantios puros e sistemas mistos com diferentes combinações de espécies.

Além de conservar amostras representativas das populações naturais, retendo alelos e combinações gênicas, os testes de progênies e procedências configuram materiais de base valiosos para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético. A caracterização e avaliação desses plantios possibilita que parâmetros genéticos sejam estimados, o que é essencial para a escolha das melhores estratégias de conservação e melhoramento de *M. urundeuva* (Guerra et al. 2009; Riva et al. 2020). Segundo Guerra et al. (2009), parâmetros genéticos como a variabilidade genética, sua distribuição entre e dentro de progênies e a proporção da variação fenotípica devido aos efeitos genéticos e ambientais de uma população constituem ferramenta básica para se definir as estratégias de melhoramento a serem aplicadas de modo a preservar o máximo da variabilidade das populações base e obter ganhos genéticos com a seleção.

Um teste de progênies puro da espécie plantado em 1997 na FEIS/UNESP foi recentemente diagnosticado com severos danos no tronco, apresentando sintomas de trincamento, apodrecimento do tronco e mortalidade sob suspeita do ataque de patógeno. Assim, devido à urgente necessidade de se evitar a perda deste material, faz-se necessárias a identificação do patógeno e o mapeamento da mortalidade no plantio, para que assim possa-se propor estratégias de intervenção no plantio para tentar conter o avanço do ataque.

A fim de se levantar o histórico de evolução da doença, utilizamos dados de mensurações em três diferentes idades do teste. Considerando que nem sempre os pesquisadores têm acesso a dados de avaliações fenotípicas em diferentes idades para quantificar o avanço direcionado da mortalidade em

plantios, há necessidade de que outras estratégias de quantificação do avanço da mortalidade sejam utilizadas e validadas. Como recurso para análise fitossanidade de plantios, propomos o uso de índices de vegetação (VIs) estimados a partir da análise de mapas, os quais possibilitam avaliar o estado de saúde de plantios e detectar casos de estresse hídrico e doenças, sendo que um dos índices de vegetação mais comumente usados e estudados é o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973; Costa et al. 2020). Assim, de posse das análises de mortalidade, tanto com base nos dados fenotípicos coletados em campo quanto as análises de NDVI, realizaremos a comparação entre as metodologias e a eficácia do NDVI na detecção de mortalidade em plantios, sem a necessidade de deslocamentos a campo.

Assim o presente trabalho teve por objetivo principal ampliar os conhecimentos referentes à relação aroeira e patógeno, por meio de uma avaliação multidisciplinar do teste de progênie com sintomas de ataque por patógeno. Os objetivos específicos são (i) realizar a identificação do patógeno, (ii) quantificar o nível de infestação no plantio ao longo dos anos levantando um histórico com uso de imagens de satélite e dados de mortalidade quantificados em campo, (iii) determinar se há associação entre a ocorrência da doença e a infestação de cupins e brocas observados no plantio, (iv) estimar a correlação entre três idades quanto à estabilidade do teste em meio a perturbação com a crescente mortalidade ocasionada pelo patógeno e (v) determinar a eficácia da análise de NDVI na detecção de mortalidade em plantios.

2. Metodologia

2.1. Informações sobre a espécie

O termo aroeira tem sido usado para designar plantas classificadas em quatro gêneros, *Lithraea*, *Schinus*, *Myracrodruon* e *Astronium*, onde o termo aroeira é originário da abreviatura de “araroeira”, ou seja, da junção de “arara” com o sufixo “eira”, e significa árvore da arara (Queiroz et al., 2002; Silva et al., 2018). Pertencente à família Anacardiaceae, *Myracrodruon urundeuva*, é uma espécie secundária de porte arbóreo, copa grande, caducifólia com tronco retilíneo, podendo chegar à altura de 20 a 30 m. Nativa da América do Sul, distribui-se no Brasil desde o Ceará até o Paraná e Mato Grosso do Sul, sendo mais frequente na Região Nordeste. É encontrada em diferentes formações vegetacionais: Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; Cerrado e Cerradão; Caatinga; Chaco e Pantanal (Carvalho, 1994). Como consequência da expansão de áreas agropecuárias e demais ações antrópicas, *M. urundeuva* encontra-se na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, na categoria vulnerável (Rodrigues et al. 2017).

Mesmo tendo sido classificada com uma espécie secundária (Kageyama et al., 1990), *M. urundeuva* é também considerada como secundária/pioneira antrópica, termo este que se refere a espécies secundárias que são normalmente raras na floresta primária, mas em áreas antrópicas comportam-se como pioneiras

(Queiroz et al. 2002). Como a espécie é heliófita, não é comum o aparecimento de plântulas em mata fechada, mas ao entorno das florestas (Nogueira, 2010). Por essa característica, a espécie apresenta potencial para recuperação de áreas degradadas ou perturbadas, mesmo sendo altamente exigente no ponto de vista nutricional (Kratka e Correia, 2015).

Myracrodruon urundeuva é considerada madeira de lei, pois possui madeira muito densa e resistente a cupins, recebe excelente polimento, de coloração avermelhada e quando seca é de difícil trabalhabilidade (Queiroz et al. 2002; Silva et al. 2018). Testes realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) classificaram-na como muito durável, sendo incluída no grupo de madeiras imputrescíveis, contendo, além disso, a formação de extrativos como o tanino, o qual é produzido pela própria árvore no processo de transformação de cerne e alburno. Os taninos possuem efeitos fungicida e inseticida, atuando como barreiras de proteção química e mecânica (Queiroz et al. 2002).

Atualmente, há relatos da eficácia de extratos da casca, cerne e folhas de *M. urundeuva* contra infecções fúngicas e bacterianas, bem como a sua atividade repelente de cupins e de inseticida contra o *Aedes aegypti* (Sarria et al. 2018). Além disto, foi relatado em lectinas isoladas do cerne de *M. urundeuva*, um efeito antifúngico sobre *Fusarium* spp., a qual pode ser encontrada danificando madeira. Atividade termicida sobre *Nasutitermes corniger* de lectinas isoladas da casca, cerne e folhas também já foi relatada (Souza et al. 2011).

Segundo Oliveira (2015), estas informações quanto a eficácia de extrativos de casca, cerne e folhas contra infecções fúngicas e bacterianas dão indícios de uma possível resistência de *M. urundeuva* a organismos patogênicos, entretanto, estudos realizados nesta linha com a espécie basearam-se somente na análise bioquímica de seus extrativos, sendo necessários mais estudos e avaliações em campo de plantios de forma que sejam conclusivos quanto à resistência ou não de *M. urundeuva* a organismos patogênicos, o grau e a velocidade de progressão das possíveis doenças, caso presentes.

2.2. Caracterização da área e do plantio

O teste de progênie foi instalado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), no município de Selvíria, MS (Figura 1). O solo na FEPE é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, A moderado hipidistrófico, álico, caulínítico, férrico, compactado, muito profundo e moderadamente ácido (SANTOS, 2018a). O clima da região é classificado como Aw, segundo o sistema Koeppen, a temperatura e a precipitação média anual estão em torno de 24,5°C e 1.300 mm, respectivamente (Santos e Hernandez, 2012).

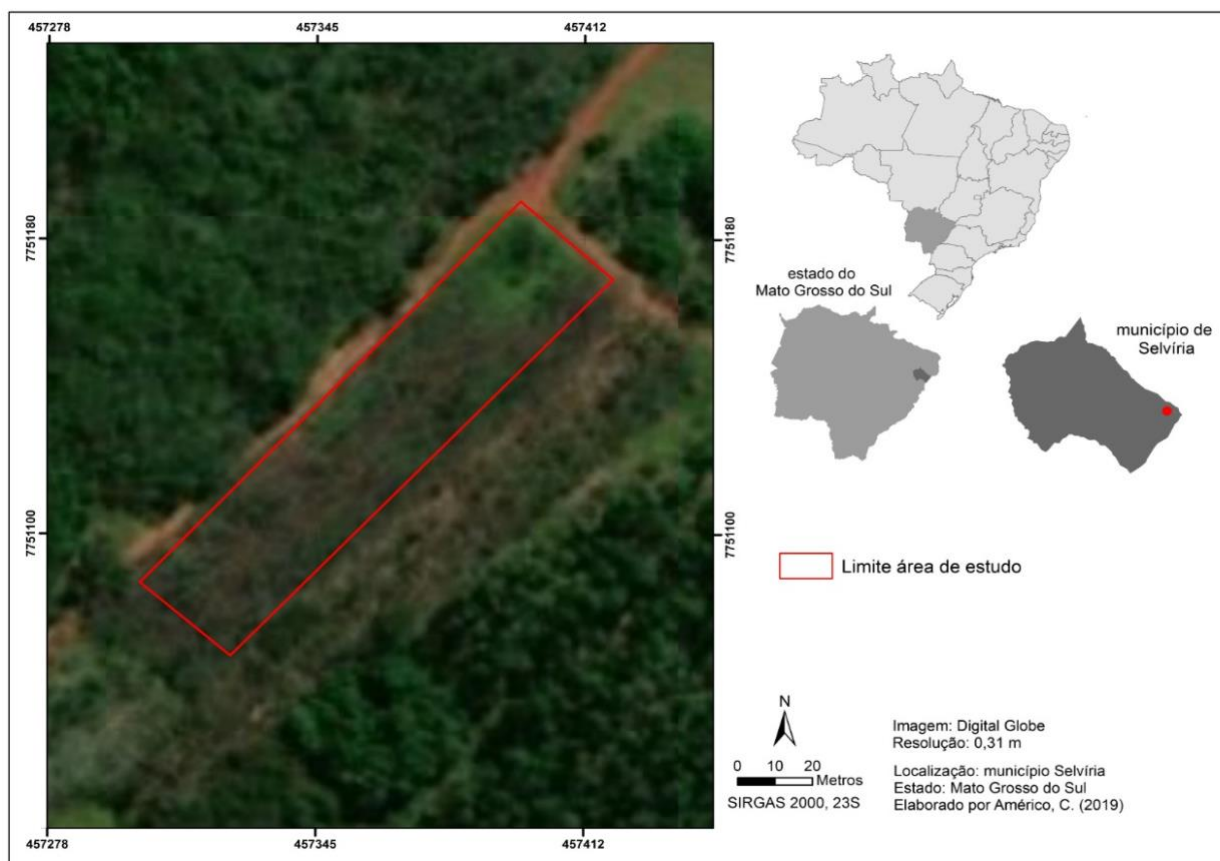


Figura 1. Localização do experimento na Fazenda Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, em Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

O teste de progênies foi estabelecido em 1997, a partir de sementes de polinização livre procedentes de 30 árvores maternas em Paulo de Faria – SP. Encontra-se plantado em um espaçamento de 3 x 1,5 m, é constituído de 30 progênies, três repetições, 10 plantas por parcela linear, em delineamento de Blocos Completos Casualizados (DBC). Há uma bordadura de uma linha da mesma espécie ao redor de todo o experimento (Oliveira et al., 2000).

2.3. Medições de diâmetro e avaliação da mortalidade

Aos 22 anos de implantação do experimento, foram realizadas medições de CAP (circunferência à altura do peito) com uso de fita métrica, posteriormente convertido em diâmetro (DAP).

A mortalidade foi quantificada por meio do registro do número de falhas e árvores mortas presentes no plantio. É considerada falha a situação em que não há árvore, devido à morte da planta, seja por morte ocasionada por doença em reboleira ou demais condições ambientais. Foram também classificadas como mortas as árvores que ainda estão presentes no plantio, mas com 100% de desfolha, degradação do fuste e demais sintomas de ataque por patógeno, tais como a murcha das folhas, envassouramento e o manchamento do fuste. Para fins de comparação da taxa de mortalidade, foram ainda obtidos dados de

medições anteriores do mesmo teste, realizadas aos 11 (Moraes et al. 2012) e aos 16 anos (Bertonha et al., 2016), disponibilizados pelos autores.

2.4. Coleta de amostra para identificação da espécie de patógeno

A coleta das amostras de discos foi realizada de forma destrutiva, com uso de motosserra. As amostras foram retiradas de duas árvores que apresentavam sintomas de ataque do patógeno como murcha das folhas, manchamento do cerne e apodrecimento das raízes (Figura 2). Todas as amostras foram acondicionadas em freezer a -20°C para realização de análises para identificação do patógeno.

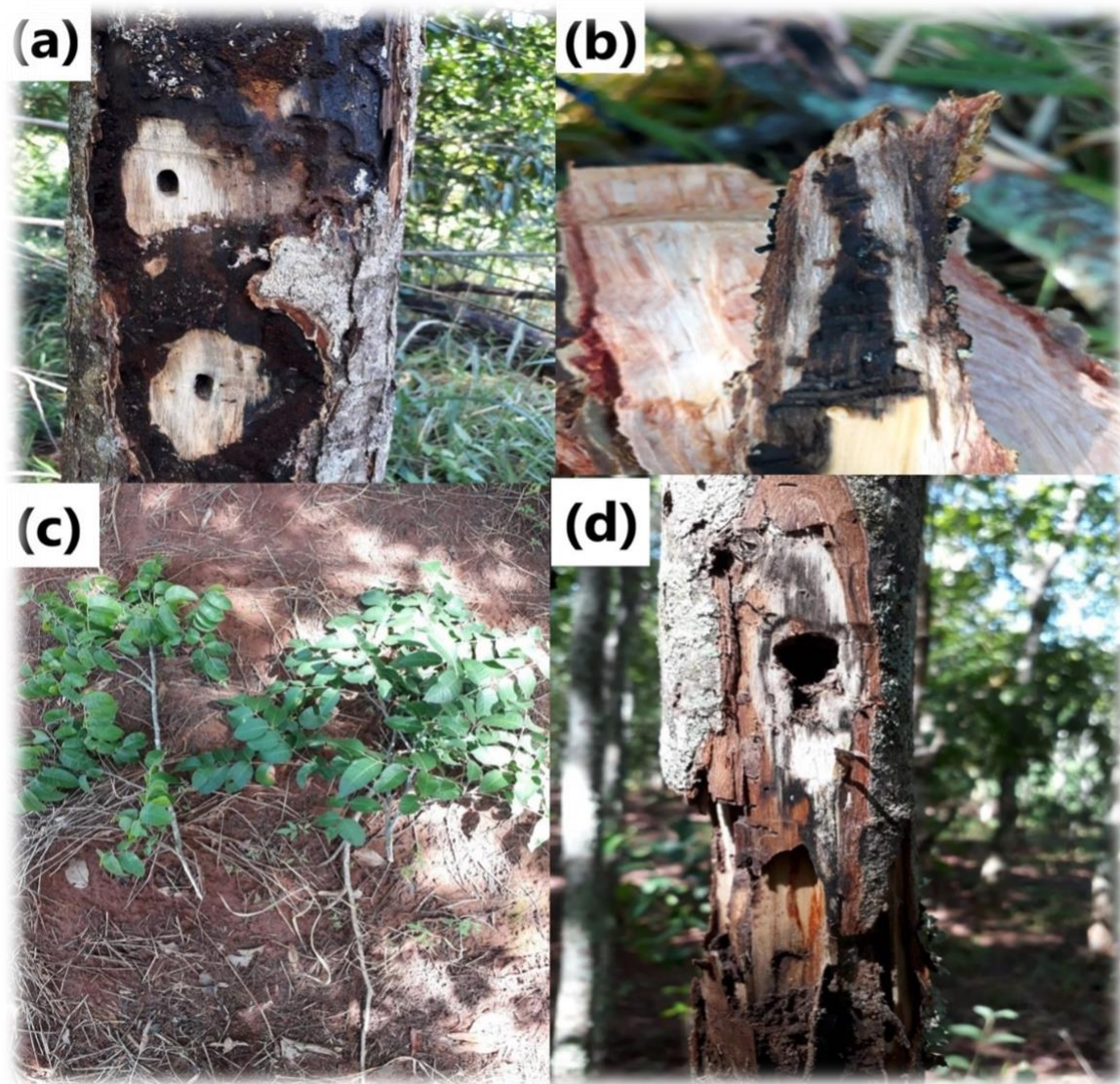


Figura 2. Sintomas das árvores do plantio. (a) Manchamento do fuste e broqueamento por insetos xilófagos. (b) Amostra de casca manchada pelo patógeno. (c) Murcha das folhas. (d) Fuste com broqueamento por insetos xilófagos.

2.5. Avaliação da associação da doença à infestação de cupins

Para avaliar se há uma associação da ocorrência da doença com a presença de cupins, avaliou-se a presença ou ausência de cupinzeiros em toda a área do plantio, e a presença e ausência destes insetos nas árvores. A análise desses resultados foi qualitativa, usando com base o conhecimento de hábito de vida das diferentes espécies de cupins.

2.6. Análise de dados de diâmetro e sobrevivência

Os dados fenotípicos de DAP e sobrevivência foram analisados com uso do *software* Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016). Para realizar a avaliação de indivíduos em progênes de meios-irmãos (ou polinização aberta em espécies alógamas), foi utilizado o modelo 93, o qual trata-se de um modelo para análise de dados de experimentos em delineamento de blocos completos. Baseia no seguinte modelo matemático (Eq. 1):

$$y = \mathbf{X}r + \mathbf{Z}a + \mathbf{W}p + e \quad (1)$$

em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de parcela, e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos (Resende, 2016). Assim, a partir deste modelo, foram estimados os seguintes parâmetros genéticos (Vencovsky e Barriga, 1992; Resende, 2002):

- a) Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$)

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}'A^{-1}\hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(A^{-1}C^{22})]/q \quad (2)$$

- b) Variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$)

$$\hat{\sigma}_c^2 = [c'c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}]/s_1 \quad (3)$$

- c) Variância residual (ambiental + não aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$)

$$\hat{\sigma}_e^2 = y'y - r'X'y - \hat{a}'Z'y - c'W'y]/[N - r(x)], \quad (4)$$

onde C^{22} e C^{33} vem da inversa de C .

C : matriz de coeficientes das equações do modelo misto.

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

tr : operador matricial.

$r(x)$: posto da X .

N, q, s_1 : número de indivíduos, indivíduos por progênie e parcelas, respectivamente.

d) Variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$)

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2 \quad (5)$$

e) Herdabilidade individual dos efeitos aditivos (\hat{h}_a^2)

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2} \quad (6)$$

f) Coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas (\hat{C}_p^2)

$$\hat{C}_p^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2} \quad (7)$$

g) Herdabilidade da média de progênies (\hat{h}_m^2)

$$\hat{h}_m^2 = \frac{1/4 \times \hat{\sigma}_a^2}{\frac{1}{4} \times \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \times \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \times r}} \quad (8)$$

h) Acurácia ($r_{\hat{a}a}$)

i) Herdabilidade aditiva dentro de parcela (\hat{h}_{ad}^2)

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \times \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \times \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2} \quad (9)$$

j) Coeficiente de variação genética aditiva individual ($CV_{gi} \%$)

$$CV_{gi} \% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \times 100 \quad (10)$$

k) Coeficiente de variação genotípica entre progênies ($CV_{gp} \%$)

$$CV_{gp} \% = \frac{\sqrt{0,25 \times \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \times 100 \quad (11)$$

l) Coeficiente de variação experimental (CV_e)

$$CV_e \% = \frac{\sqrt{\left[\frac{0,75 \times \hat{\sigma}_a^2 \times \hat{\sigma}_e^2}{n} \right] + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} \times 100 \quad (12)$$

onde r é o número de repetições, n é o número de plantas por parcela e \hat{m} é a média geral.

m) Coeficiente de variação relativa (CV_r)

$$CV_r = \frac{CV_{gp} \%}{CV_e \%} \quad (13)$$

n) Média geral (\hat{m})

Obteve-se os valores de *deviance* e qui-quadrado para análise da significância da diferença entre progênies e entre parcelas, por meio do teste de razão e verossimilhança (LRT). O LRT é obtido pela diferença entre as *deviances* para modelos sem e com o efeito a ser testado (progênie e parcela), utilizando os valores do teste de qui-quadrado para avaliar a significância dos modelos.

Posteriormente, o modelo 8 foi utilizado para obtenção dos valores de repetibilidade individual, o qual trata-se do modelo para análise de dados de experimentos em Delineamento em Blocos Completos com Resultado por Indivíduo para avaliação em um local e em várias colheitas ou safras. Esse baseia-se no seguinte modelo matemático (Eq. 14):

$$y = \mathbf{X}m + \mathbf{Z}a + \mathbf{W}p + \mathbf{T}s + e \quad (14)$$

em que y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), p é vetor dos efeitos de parcela (aleatórios), s é vetor dos efeitos permanentes (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor m contempla todas as medições em todas as repetições e ajusta simultaneamente para os efeitos de repetições, de medição e da interação entre repetição e medição (Resende, 2016). Avaliou-se também se a seleção precoce para diâmetro seria efetiva.

2.7. Mapeamento da taxa de sobrevivência

Em comparativo com os dados de sobrevivência medidas em campo e descritas no item anterior, utilizou-se imagens de satélite para contabilizar a taxa percentual de sobrevivência do teste ao longo dos anos. Foram analisadas imagens orbitais do satélite Landsat (30 metros) nos anos de 2008 (11 anos), 2013 (16 anos) e 2019 (22 anos), os quais coincidem com os anos de avaliação fenotípica. A escolha do satélite se deu pela disponibilidade de imagens orbitais para os anos em questão, sendo utilizadas imagens do último mês de cada ano, sendo elas pré-processadas com as devidas correções.

Para isso utilizou-se as bandas de infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V) para compor o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1973). Embora existam muitos índices de vegetação, o mais frequentemente utilizado para a caracterização da vegetação é o NDVI, por oferecer bons contrastes em relação a outros elementos da paisagem.

De acordo com Qiu et al. (2021), os produtos NDVI tradicionais têm sido usados com sucesso em muitas aplicações, como estimativa de produtividade da vegetação (Ruimy et al., 1994; Prince e Goward, 1995; Myneni et al., 2002), monitoramento de fenologia (Zhang et al., 2004; Delbart et al., 2006; Cao et al., 2018), e mapeamento da cobertura da terra e detecção de mudanças (Lunetta et al., 2006; Gao et al., 2017).

O índice NDVI estima a atividade fotossintética por uma combinação de bandas de vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) que são geralmente condicionadas pela presença de clorofila (Eq.3). O índice NDVI varia em uma escala entre -1 e +1 e valores maiores representam maior atividade fotossintética, o que indiretamente indica uma vegetação mais densa (Spadoni et al. 2020).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (15)$$

O pré-processamento das imagens e o cálculo do NDVI foram realizados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), sendo os dados padronizados para o datum SIRGAS 2000, 23S.

Utilizou-se de uma reclassificação, para extrair informações das imagens de NDVI e reconhecer padrões e objetos homogêneos e para mapear as áreas da superfície terrestre, as quais correspondessem aos plantios de *M. urundeuva*.

2.8. Identificação do patógeno

Primeiramente ao levar as amostras de disco para o laboratório foi realizada a limpeza dos discos afim de evitar contaminantes. Seguindo a metodologia descrita pelo Manual para Laboratório de Fitopatologia (Fernandez, 1993) e a metodologia para isolamento e caracterização de patógenos

endofíticos associados a plantas do cerrado, utilizado por Torres (2018), os discos foram lavados repetidas vezes na seguinte ordem:

- Lavagem em água;
- Lavagem em etanol 70% por 1 minuto;
- Lavagem em hipoclorito de sódio a 2 % por 4 minutos;
- Lavagem em etanol 70% por 1 minuto;
- Três lavagens com água destilada estéril;
- Banho ultra-som 40 kHz por 10 minutos;
- Três lavagens com água destilada estéril;
- Lavagem em etanol 70% por 30 segundos;
- Duas lavagens com água destilada estéril.

Conforme a mesma metodologia, prosseguiu-se para o isolamento do patógeno das amostras com uso de uma alça descartável estéril, transferindo-se fragmentos de discos para placas de Petri contendo o meio de cultura Batata Dextrose Ágar (BDA) sintético deixando crescer por 7 dias em estufa bacteriológica à 30°C. Em seguida, o isolamento foi repetido até que se obtivesse culturas puras do patógeno de coloração preta. Das culturas puras já isoladas para análise microscópica, foram preparadas lâminas para análise microscópica do patógeno.

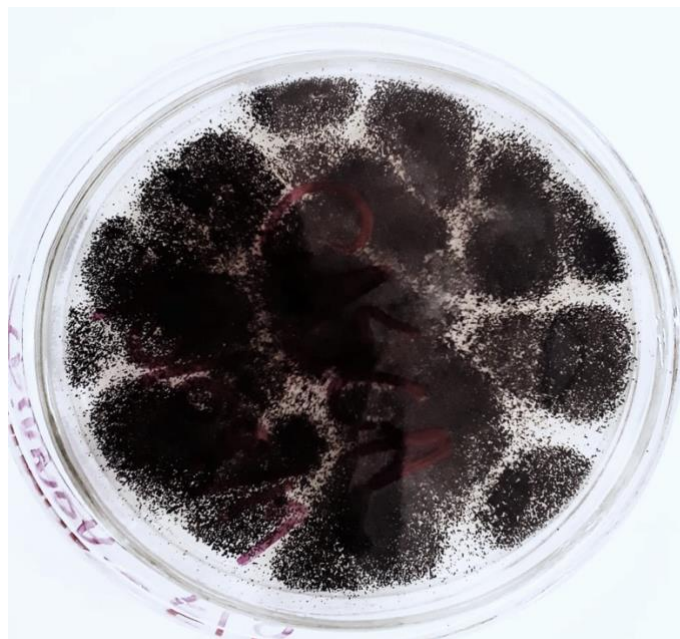


Figura 3. Isolado do patógeno em meio de cultura BDA, inoculado a partir de amostras de disco de árvores contaminadas.

Feito o isolamento do patógeno, as amostras de isolados em placas de petri foram enviadas para o Laboratório de Genética do Departamento de Fitopatologia e Nematologia da USP/ESALQ –

Piracicaba/SP, onde foi feita a análise molecular. A metodologia de extração de DNA, amplificação dos locos e sequenciamento está descrita em Santos et al. (2018b).

3. Resultados e Discussão

3.1. Avaliação da associação da doença à infestação de cupins

Não foram observados cupinzeiros no plantio e em suas proximidades, podendo-se concluir que os cupins presentes em algumas árvores tratam-se de uma espécie degradadora que se alimenta de madeira morta. Supõe-se, para este caso, que essa interação é benéfica para o solo, pois os cupins devolvem os nutrientes da madeira morta. Presumimos, então, que a degradação da madeira por cupins só está ocorrendo após a morte das árvores.

Segundo Chagas (2016), o hábito alimentar dos cupins os classifica em quatro grupos funcionais: 1) xilófagos: se alimentam de madeira sólida ou moderadamente deteriorada, fazendo galerias nos troncos; 2) húmívoros: se alimentam de húmus e matéria orgânica do solo; 3) ceifadores ou comedores de serrapilheira: folhas, grama, fragmentos de madeira morta e serrapilheira; e 4) intermediários: se alimentam de matéria orgânica em elevado estado de decomposição ou não se encaixam em nenhum dos grupos anteriores. Sendo a espécie encontrada na área pertencente ao grupo de ceifadores.

3.2. Análise da variável DAP

Para a variável DAP, os valores de *deviance* mostraram que não há diferença significativa entre as parcelas e entre progênies nas idades avaliadas, considerando o nível de significância de 5% de probabilidade (Tabela 1). Segundo Bertonha (2016), este resultado pode ser devido à qualidade do delineamento experimental, com número alto de indivíduos aparentados por parcelas. Os valores não significativos desse parâmetro não comprometem a seleção das melhores progênies, haja vista os consideráveis valores de herdabilidade média entre progênies encontrados no presente estudo para o caráter DAP (Tabela 2).

Já para efeito de bloco os valores de F obtidos de 7,1579 (11 anos), 6,7951 (16 anos) e 11,0392 (22 anos) foram significativos ao nível de 1% ($F_{tab} = 5,420$), mostrando a diferença entre blocos no desenvolvimento das progênies, devido a fatores ambientais.

Tabela 1 – Valores de *deviance* do teste de razão de verossimilhança (LRT) para variável diâmetro. Onde: ns indica diferença não significativa para o teste de qui-quadrado a 5% com um grau de liberdade.

	Valores de qui-quadrado		
Idade	11	16	22
(anos)			

Progênie	1,42 ^{ns}	3,19 ^{ns}	2,65 ^{ns}
Parcela	1,92 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,48 ^{ns}

A partir dos componentes de variância e dos parâmetros genéticos (REML Individual) estimados para a variável DAP (cm) foi feita a caracterização da população estudada (Tabela 2). A variância ambiental entre parcelas manteve-se baixa ao longo dos anos, variando de 0,21 a 0,19, o que demonstra que o delineamento experimental foi eficiente no controle local. Os ataques de patógeno e outros fatores edafoclimáticos de perturbação também podem afetar altamente a variância residual e fenotípica. Assim, a variância residual (ambiental + não aditiva) aumentou de 6,2850 aos 11 anos para 10,9070 aos 22 anos, demonstrando o efeito de fatores não genéticos no desenvolvimento das progênies (Tabela 2).

Tabela 2 – Componentes de variância e estimativas de parâmetros genéticos para a variável DAP (cm) em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* em três idades, em Selvíria-MS.

Parâmetros	11 anos	16 anos	22 anos
Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$)	0,5522	1,2190	1,3572
Variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$)	0,2108	0,1955	0,1884
Variância residual (ambiental + não aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$)	6,2850	8,9128	10,9070
Variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$)	7,0480	10,3273	12,4526
Herdabilidade individual dos efeitos aditivos (\hat{h}_a^2)	0,08 ± 0,05	0,12 ± 0,07	0,11 ± 0,07
Herdabili. indiv. ajustada para os efeitos de parcela (\hat{h}_{aj}^2)	0,08	0,12	0,11
Coefficiente de determinação dos efeitos de parcelas (\hat{C}_p^2)	0,0299	0,0189	0,0151
Herdabilidade da média de progênies (\hat{h}_m^2)	0,32	0,44	0,42
Acurácia (r_{aa})	0,5495	0,6354	0,6087
Herdabilidade aditiva dentro de parcela (\hat{h}_{ad}^2)	0,06	0,09	0,09
Coefficiente de variação genética aditiva indiv. (CV_{gi} %)	8,75	11,84	11,88
Coefic. de variação genotípica entre progênies (CV_{gp} %)	4,37	5,92	5,94
Coefficiente de variação experimental (CV_e)	11,05	11,64	11,99
Coefficiente de variação relativa (CV_r)	0,39	0,51	0,50
Média geral (\hat{m})	8,49	9,33	9,80

Os valores para herdabilidade individual no sentido restrito (aditiva) (h_a^2) para DAP foram baixos (de 0,08 a 0,11) e não variaram significativamente ao longo dos anos, considerando os valores de desvio

padrão, o que significa que os efeitos aditivos não foram afetados pelas perturbações sofridas no teste. Esses valores indicam um baixo controle genético do caráter analisado e a pequena possibilidade de obter progressos genéticos por meio de seleção individual. Geralmente, para *Myracrodruon urundeuva* aproximadamente aos 20 anos de idade, os valores de herdabilidade variam entre baixa e moderada magnitudes (variando entre 0,02 e 0,15) (Freitas et al. 2007).

Por outro lado, o coeficiente de herdabilidade entre médias de progênies variou de mediano (0,32) a relativamente alto (0,44) entre as idades avaliadas, sugerindo a possibilidade de se obter ganhos genéticos com a seleção das melhores progênies. A acurácia da seleção de progênies variou de 0,54 a 0,64 entre idades, sendo considerada moderada (considera-se alta $> 0,70$) (Tabela 2). Já os valores do coeficiente de variação genética em nível de indivíduo aumentaram com a idade (de 8,75% a 11,88%), bem como os valores de coeficiente de variação genética entre progênies de 4,37% a 5,94% (Tabela 2).

A variância aditiva não teve mudança significativa ao longo das três idades, o que indica uma forte correlação entre anos. Esses resultados sugerem que uma seleção precoce, aos 16 anos, teria resultado em ganho genético similar que uma seleção aos 22 anos.

Outro indicador da possibilidade de se obter ganhos com uma seleção precoce é o valor do coeficiente de repetibilidade obtido para o DAP ($0,3425 \pm 0,0334$), classificado como repetibilidade média ($0,30 < r < 0,60$) (Resende, 2002). A repetibilidade individual permite avaliar o dispêndio de tempo e de mão-de-obra necessários para que a seleção de indivíduos geneticamente superiores seja feita com acurácia desejada pelo pesquisador. Valores altos da estimativa do coeficiente de repetibilidade indicam que é possível prever o valor real dos indivíduos com um número relativamente pequeno de medições (Bruna et al. 2012). O valor médio obtido para DAP nesse trabalho pode indicar a possibilidade de, em um menor tempo, se fazer a seleção de indivíduos geneticamente superiores, ou seja, uma seleção precoce.

3.3. Análise da variável sobrevivência

Os percentuais de sobrevivência obtidos foram de 95,7% (11 anos), 92,1% (16 anos) e 86,1% (22 anos), sendo considerados altos mostrando a boa adaptação da população às condições ambientais da região de Selvíria. Além da mortalidade por fatores ambientais, que ocorrem aleatoriamente com a idade, o aumento da mortalidade nos anos mais recentes decorre do avanço do ataque pelo patógeno. A evolução da mortalidade com o avanço na idade dentro das progênies no croqui experimental (Figura 4) indica que, aos 11 anos, a mortalidade apresenta-se distribuída aleatoriamente na área, com uma ou duas árvores mortas por parcela no experimento. Já aos 22 anos, pode-se notar uma maior mortalidade na extremidade do plantio mostrando o avanço do patógeno no experimento, com uma dependência espacial, que já começou a aparecer aos 16 anos.

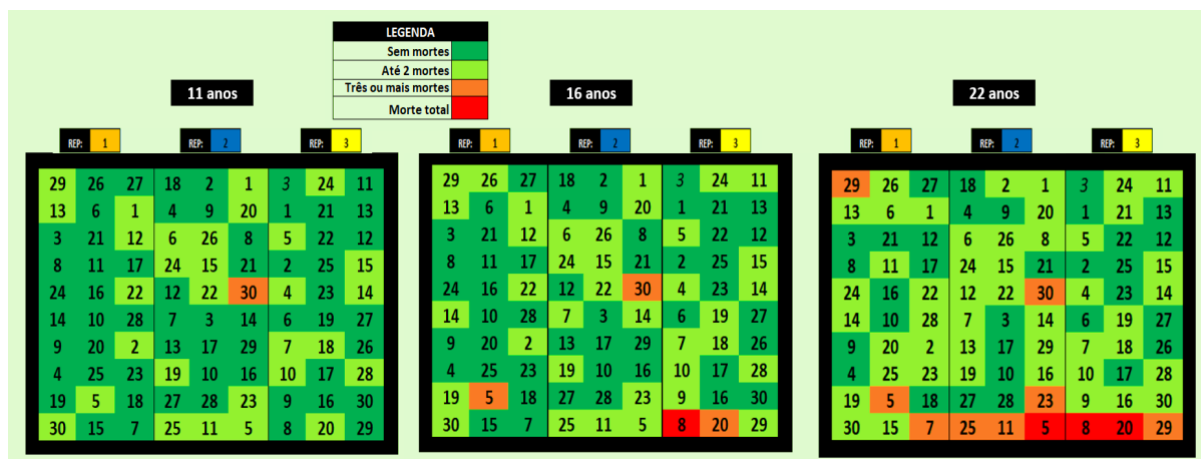


Figura 4. Croqui do experimento demonstrando a quantidade de árvores mortas nas três medições. Os números indicados nas células representam o código da progênie.

O teste de razão de verossimilhança (LRT) mostrou diferenças significativas ao nível de significância de 1% entre as parcelas nas avaliações aos 16 e aos 22 anos (Tabela 3). Os resultados indicam que tem ocorrido com dependência espacial (Figura 4).

Já para efeito de bloco, os valores de F_{calc} obtidos de 1,1783 (11 anos), 0,7339 (16 anos) e 0,4791 (22 anos) não foram significativos a nível de 1% ($F_{tab} = 5,420$), mostrando que os três blocos vêm sendo atacados em reboleira pelo patógeno igualmente pela bordadura.

Tabela 3 – Valores de *deviance* do teste de razão de verossimilhança (LRT) para variável sobrevivência. Onde: (**) $P \leq 0,01$ e ns (não significativo) a 5% para o teste de qui-quadrado com um grau de liberdade.

	Idade (anos)		
	11	16	22
Progênie	0,01 ns	0 ns	1,09 ns
Parcela	0,39 ns	98,91**	181,88**

3.4. Identificação do patógeno

As sequências de ITS e GAPDH obtidas, quando comparadas às sequências do banco de dados NCBI/Genbank usando a ferramenta BLAST, exibiram mais de 98% de identidade a sequências de *Aspergillus niger*. As sequências de beta-tubulina não apresentaram qualidade suficiente para as análises comparativas. Embora tenha-se visualizado uma banda única no gel de agarose, podem ter sido amplificadas múltiplas regiões de tamanho próximo, indistinguíveis no gel. As sequências diferentes apareceram sobrepostas no sequenciamento, impossibilitando uma leitura clara dos resultados.

Nas imagens da lâmina em microscópio, foram visualizados conídios pequenos, esféricos, com morfologia compatível com *A. niger* (Figura 5).

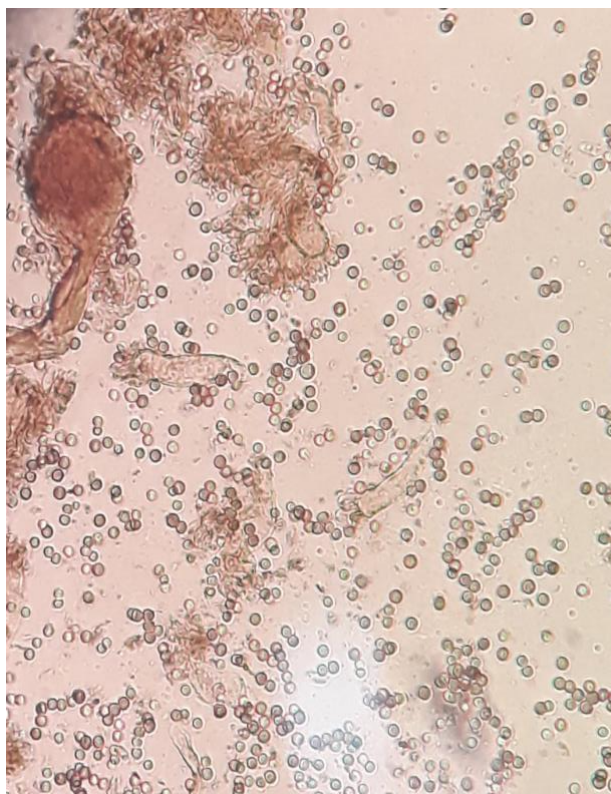


Figura 5. Imagem dos conídios de *Aspergillus niger* em lâmina.

Atualmente não se tem relatos de *Aspergillus niger* ocasionando mortalidade de plantas da família Anacardiaceae, como *M. urundeuva*. Há apenas um relato de infestação por *A. niger* em sisal (*Agave sisalana* Perrine ex. Engelm), causadora da podridão vermelha (Souza e Soares, 2013). Sá (2013) destaca a eficiência de biocontrole de *A. niger* em sisal por meio de inoculação de fungos do gênero *Trichoderma* spp., os quais têm sido destacados em trabalhos como agentes de controle de diversos fitopatógenos.

Para confirmação definitiva da ação de *Aspergillus niger* como patógeno causador dos sintomas observados no plantio, é necessário realizar o teste do postulado de Koch. Segundo Valerio et al. (2015), o teste se baseia no estudo realizado por Koch, que organizou quatro critérios necessários para provar que um microrganismo específico ocasiona uma doença em particular: a) um microrganismo específico pode sempre estar associado a uma doença; b) o microrganismo pode ser isolado e cultivado em cultura pura, em condições laboratoriais; c) a cultura pura do microrganismo produzirá a doença quando inoculada em um hospedeiro susceptível; d) é possível recuperar o microrganismo inoculado da planta infectada experimentalmente. Futuramente, procederemos ao cultivo do *Aspergillus niger* obtido a partir das

amostras para posterior inoculação em árvores de *Myracrodruon urundeuva* e observação dos sintomas decorrentes da contaminação.

3.5. Mapeamento da taxa de sobrevivência

As classificações de alto vigor, médio vigor e solo nu sem presença de biomassa (Figura 6) a partir do cálculo do NDVI, demonstraram taxas de sobrevivência para os anos 2008 (11 anos), 2013 (16 anos) e 2019 (22 anos) de 90,75%, 89,86% e 84,30%, respectivamente. Em comparação, a taxa de sobrevivência medida em campo nas mesmas idades foi de 95,7%, 92,1% e 86,1%, com uma correlação de 0,979 considerada forte positiva entre os valores de NDVI e as taxa de sobrevivência medidas a campo.

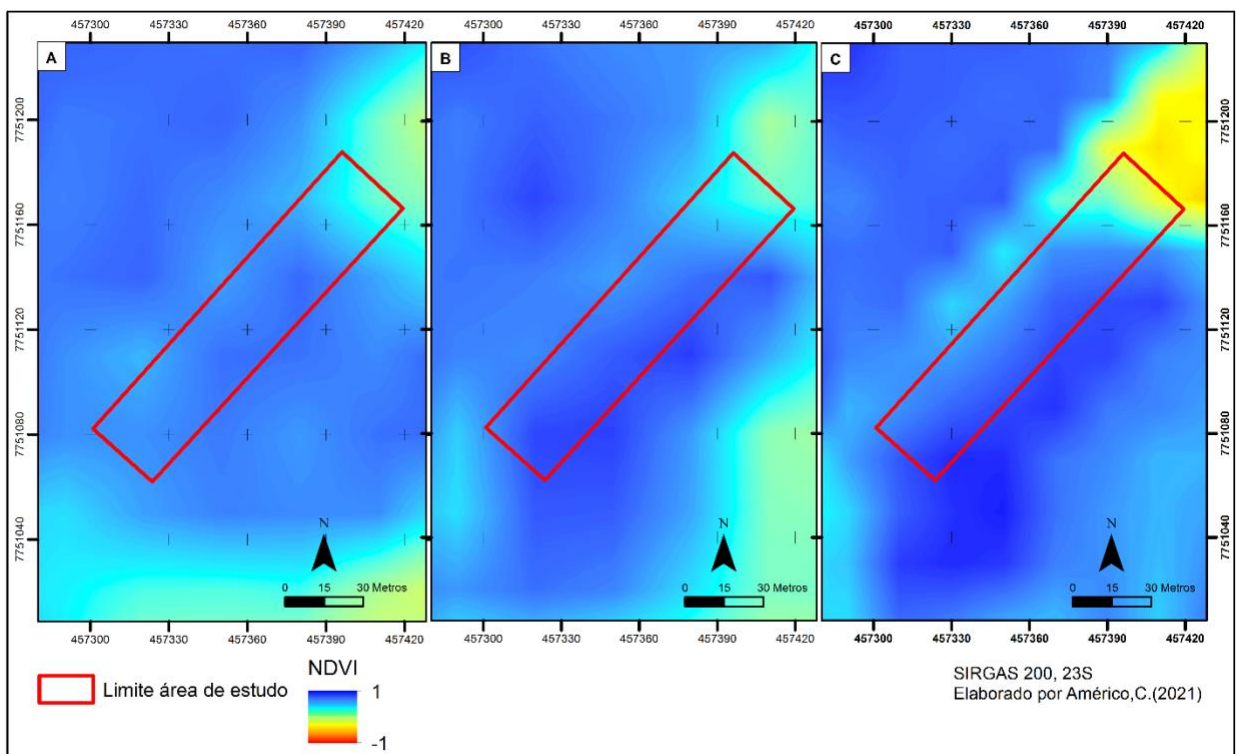


Figura 6. NDVI calculado para o experimento de *Myracrodruon urundeuva* aos 11 (A), 16 (B), e 22 anos (C), Fazenda Experimental da UNESP, em Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os índices de vegetação ressaltam a resposta espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre devido ao comportamento antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do infravermelho próximo e do visível (Ponzoni e Shimabukuro, 2007) e corroboram com os dados obtidos em campo para a espécie.

Diante dos resultados, verificou-se que as classes geradas em função do vigor vegetativo (NDVI) foram capazes de diferenciar as taxas de sobrevivência da espécie, e, mostrou-se um método promissor devido à acurácia e à fácil obtenção. Ressalta-se que, para melhores resultados, seria ideal a utilização de imagens com maior resolução espacial.

3.6. Estratégias de manejo

Além da possibilidade se realizar o biocontrole de *A. niger* por meio de inoculação de fungos do gênero *Trichoderma* spp., como feito para culturas de sisal, outras estratégias que podem vir a retardar a progressão do fungo no experimento, ou até contê-lo são a execução de desbaste ou replantio nas entrelinhas do experimento.

O desbaste de 50% aumentaria o espaçamento de forma a retardar a progressão do fungo de árvore a árvore. Já o desbaste seguido do plantio de outra espécie nas entrelinhas do experimento não só aumentaria o espaçamento entre os indivíduos de *M. urundeuva*, como também formaria barreiras com árvores resistentes nas entrelinhas, evitando que o fungo progrida para o resto do experimento. A espécie mamica-de-porca (*Zanthoxylum rhoifolium*) pode ser uma opção adequada, uma vez que ocorre em ambientes com a ocorrência desse fungo.

4. Conclusões

Os cupins presentes na área não possuem correlação com a crescente mortalidade do plantio, pois trata-se de uma espécie ceifadora, sendo benéficos de forma a devolver ao solo os nutrientes da madeira morta.

A seleção precoce para DAP, a partir dos 11 anos, é possível tendo em vista os valores de herdabilidade média entre progênies obtidos variando de moderado a alto.

Já para variável sobrevivência, como a mortalidade no experimento teve uma dependência espacial, conclui-se que seria vantajosa a realização de um desbaste nesse experimento, além de outras intervenções para controlar a expansão do fungo.

Quanto a espécie de fungo identificada como *Aspergillus niger*, conclui-se que este é o primeiro relato do fungo como organismo patogênico causando apodrecimento do fuste em *Myracrodruon urundeuva*.

As avaliações do NDVI demonstraram alta correlação em comparação a taxa de sobrevivência medida em campo, sendo um método considerado de baixo custo e de fácil execução.

5. Referências

BERTONHA, L.J.; FREITAS, M.L.M.; CAMBUIM, J.; MORAES, M.L.T.; SEBBENN, A.M. Seleção de progênies de *Myracrodruon urundeuva* baseada em caracteres fenológicos e de crescimento para reconstituição de áreas de Reserva Legal. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.44, n.109, p.95-104, 2016.

BRUNA, E. D.; MORETO, A. L.; DALBÓ, M. A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2012.

CANUTO, D. S. O.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D. V. Stability and adaptability in tests of progênies of *Myracrodruon urundeuva* under four systems of plantation. *Cerne*, Lavras – MG, vol. 22, ed. 2, p. 171-179, 2016.

CANUTO, D. S.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T. & RESENDE, M. D. V. Estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva* sob quatro sistemas de plantio. *Cerne*, v. 22, n. 2, p. 171-179, 2016.

CAO, Ruyin et al. Modeling vegetation green-up dates across the Tibetan Plateau by including both seasonal and daily temperature and precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 249, p. 176-186, 2018.

CARVALHO, P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –Centro Nacional de Pesquisas Florestais, 640p., 1994.

CHAGAS, T. X. Biodegradação de tocos de *Eucalyptus* sp. pela ação de cupins xilófagos. 2016.

COSTA, L.; NUNES, L.; AMPATZIDIS, Y. A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 172, p. 105334, 2020.

DELBART, N., LE TOAN, T., KERGOAT, L., & FEDOTOVA, V. (2006). Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). *Remote Sensing of Environment*, 101(1), 52–62. doi:10.1016/j.rse.2005.11.012

FERNANDEZ, M. R. Manual para laboratório de fitopatologia. Embrapa Trigo-Documentos (INFOTECA-E), 1993.

FREITAS, M. L. M., SEBBENN, A. M., ZANATTO, A. C. S., & MORAES, E. Pomar de sementes por mudas a partir da seleção dentro em teste de progênes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. Revista do Instituto Florestal, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.

GAO, F., ANDERSON, M. C., ZHANG, X., YANG, Z., ALFIERI, J. G., KUSTAS, W. P., ... PRUEGER, J. H. Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. Remote Sensing of Environment, 188, 9–25, 2017.

GUERRA, C. R. S. B.; MORAES, M. L. T.; SILVA, C. L. S. P.; CANUTO, D. S. O.; ANDRADE, J. A. C.; FREITAS, M. L. M.; & SEBBENN, E. Estratégias de seleção dentro de progênes em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. Scientia Forestalis, Piracicaba, v.37, n.81, p. 79-87, 2009.

KAGEYAMA, P.Y.; BIELLA, L.C.; PALERMO JÚNIOR, A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990, SBS/SBEF, São Paulo, p.109-18, 1990.

KRATKA, P. C. e CORREIA, C. R. M. A. Crescimento inicial de aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em diferentes substratos. Revista Árvore, Viçosa – MG, vol. 39, ed. 3, p. 551-559, 2015.

LUNETTA, R. S., KNIGHT, J. F., EDIRIWICKREMA, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. Remote Sensing of Environment, 105(2), 142–154, 2006.

MORAES, M. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, A. M.; MANUEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T. & SEBBENN, A. M. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênes de *Myracrodruon urundeuva* FF & MF Allemão-Anacardiaceae. Scientia Forestalis/Forest Sciences, p. 69-76, 2012.

MYNENI, R., HOFFMAN, S., KNYAZIKHIN, Y., PRIVETTE, J., GLASSY, J., TIAN, Y., et al. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. Remote sensing of environment, v. 83, n. 1-2, p. 214-231, 2002.

NOGUEIRA, J.C.B. Reflorestamento misto com essências nativas: a mata ciliar. São Paulo: Instituto Florestal, 2010. 148p.

OLIVEIRA, Felipe Pinho de. Ecologia da monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) em floresta tropical estacional no médio Rio Doce, MG. 2015. 146f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

OLIVEIRA, S.A.; MORAES, M.L.T.; KURAMOTO, C.M.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; KAGEYAMA, P.Y. Variação genética em progênes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) sob diferentes condições de cultivo I - Aspectos silviculturais. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.12, n.2, p.155-166, 2000.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p.

PRINCE, S. D.; GOWARD, S. N. Global primary production: a remote sensing approach J. Biogeogr. (1995), p. 815-835.

QUEIROZ, C. R. A. A.; MORAIS, S. A. L. e NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). Revista Árvore, Viçosa, v.26, n.4, p.485-492, 2002.

QIU, Y.; ZHOU, J.; CHEN, J.; CHEN, X. Spatiotemporal fusion method to simultaneously generate full-length normalized difference vegetation index time series (SSFIT). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 100, p. 102333, 2021.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML / BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. Crop Breeding and Applied Biotechnology. Viçosa, v. 16, n. 4, p. 330-339, dez. 2016.

RESENDE, M.D.V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 975, 2002.

RIVA, L. C.; MORAES, M. A. D.; CAMBUIM, J.; ZULIAN, D. F.; SATO, L. M.; CALDEIRA, F. A.; ... & MORAES, M. L. T. Genetic control of wood quality of *Myracrodruon urundeuva* populations under anthropogenic disturbance. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa, v. 20, n. 4, 2020.

RODRIGUES, S. C.; ALVARO, J. C.; ESPÍRITO SANTO, M. M.; NUNES, Y. R. F. *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira tree) population dynamics, diameter growth rate and its potential for sustainable management in seccional tropical dry forest of Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, vol. 41, ed. 3, 2017.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. *Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration*, 1973. 371p.

RUIMY, A.; SAUGIER, B.; DEDIEU, G. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 99, n. D3, p. 5263-5283, 1994.

SÁ, Jefferson Oliveira de. Patogênese de *Aspergillus niger* e biocontrole da podridão vermelha do sisal por *Trichoderma* spp. 2013.

SANTOS, G.O.; HERNANDEZ, F.B.T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.1, p.60-68, 2012.

SANTOS, H.G.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 2018a, 357p.

SANTOS, R. F.; CIAMPI-GUILLARDI, M.; AMORIM, L.; MASSOLA, N. S. & SPÓSITO, M. B. Aetiology of anthracnose on grapevine shoots in Brazil. *Plant Pathology*, v. 67, n. 3, p. 692-706, 2018b.

SARRIA, A. L. F.; SILVA, T. L.; OLIVEIRA, J. M.; OLIVEIRA, M. A. R.; FERNANDAS, J. B.; SILVA, M; F. G. F. et al. Dimeric chalcones derivatives from *Myracrodruon urundeuva* act as cathepsin V inhibitors. *Phytochemistry*, Inglaterra, vol. 154, p. 31-38, 2018.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. A. C.; PIMENTA, A. S.; DANTAS, M. K. L. Energy characteristics of Charcoal Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) and Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 412-419, 2018.

SOUZA, J. D.; SILVA, M. B. R.; ARGOLO, A. C. C.; NAPOLEÃO, T. H.; SÁ, R. A.; CORREIA, M. T. S. et al. A new *Bauhinia monandra* galactose-specific lectin purified in milligram quantities from secondary roots with antifungal and termiticidal activities. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Inglaterra, v. 65, n. 5, p. 696-702, 2011.

SOUZA, L. S. S.; SOARES, A. C. F. EXTRATO AQUOSO DE ALHO (*Allium sativum* L.) NO CONTROLE DE *Aspergillus niger* CAUSADOR DA PODRIDÃO VERMELHA EM SISAL. *Tecnológica*, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 2, p. 124-128, abr. 2013. ISSN 1982-6753. Disponível em: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/4229>>. Acesso em: 24 jan. 2021. doi:<https://doi.org/10.17058/tecnolog.v17i2.4229>.

SPADONI, Gian Luca et al. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 20, p. 100419, 2020.

TORRES, F. L. Isolamento, caracterização e potencial biotecnológico de fungos endofíticos associados a plantas do cerrado. 2018.

VALERIO, D. S.; COLELLA, J. C.; ECKER, A. E. A.; VIEIRA, S. A. e TONELLO, A. P. Presença de doenças em plantas ornamentais no Parque do Japão. *Revista Uningá*, v. 23, n. 3, 2015.

VENCOVSKY, R. e BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

ZHANG, X., FRIEDL, M. A., SCHAAF, C. B., & STRAHLER, A. H. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid-and high latitudes inferred from MODIS data. *Global change biology*, v. 10, n. 7, p. 1133-1145, 2004.