



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

**GILDEVAN VIANA CARDOSO**

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE  
BANANEIRA DOS SUBGRUPOS GROS-MICHEL, CAVENDISH E  
TERRA**

VITÓRIA - ES

2022

GILDEVAN VIANA CARDOSO

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE  
BANANEIRA DOS SUBGRUPOS GROS-MICHEL, CAVENDISH E  
TERRA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biologia Vegetal.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Aires Ventura

Coorientador: Dr. Luiz Carlos Santos Caetano

VITÓRIA - ES

2022

[PÁGINA DA FICHA CATALOGRÁFICA]

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE  
BANANEIRA DOS SUBGRUPOS GROS-MICHEL, CAVENDISH E  
TERRA**

**GILDEVAN VIANA CARDOSO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Aprovada em XX de XXXXX de 2022.

**Comissão Examinadora:**

---

**Dr. José Aires Ventura**

Orientador

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural-Incaper  
Universidade Federal do Espírito Santo-Ufes

---

**Dr. Luiz Carlos Santos Caetano**

Coorientador

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural-Incaper

---

**Dr. Antelmo Ralph Falqueto - UFES**

Examinador Interno

---

**Dr. Paulo Cezar Cavatte - UFES**

Examinador Interno

---

**Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato - IFBaiano**

Examinador Externo

---

**Dr. Hélcio Costa - Incaper**

Examinador Externo

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Zenilda Viana Cardoso e Geminiano Cardoso Silva, a minha esposa Tatiana e aos meus filhos Antônio, Mariana e Vicente.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo na minha vida e por ter me dado o discernimento e a sabedoria para não desistir e seguir em frente em meio às dificuldades e desafios encontrados pelo caminho;

Ao PPGBV, pela oportunidade de realizar o curso, ao professor José Aires por ter aceitado me orientar, pelos conselhos e por sempre ter acolhido as minhas ideias, porém, sem nunca ter deixado de questioná-las;

Ao INCRA, pela minha liberação para cursar o doutorado;

Aos funcionários da fazenda experimental do Incaper em Alfredo Chaves – ES, Ronaldo, Sandro, Paulo, José Silva, entre outros, que muito colaboraram e auxiliaram na implantação, condução e avaliação do experimento de campo e na produção das mudas para os experimentos em casa de vegetação;

À professora Diolina, por ter cedido os equipamentos para a realização das avaliações de fotossíntese, e aos colegas do laboratório de fisiologia vegetal, Leonardo, Thais e Romário, pela orientação no uso e operação dos equipamentos e pelo auxílio na realização das avaliações.

À doutoranda em Biotecnologia pela Ufes, hoje doutora, Raissa Debacker pela amizade e irrestrito apoio e colaboração no isolamento, multiplicação e identificação dos isolados, bem como na montagem, condução e análise dos resultados dos ensaios para avaliação da resistência dos genótipos à murcha de *Fusarium*, assim como à pesquisadora Mirian Piassi do Incaper Centro Serrano pela colaboração na produção das mudas de cultura de tecidos dos genótipos utilizados no ensaio.

Aos colegas e professores do PPGBV, pelo convívio e aprendizado proporcionados ao longo do curso.

E um agradecimento muito especial à minha esposa Tatiana e aos meus sogros Wanda e José, pelo apoio e cuidado com os nossos 3 filhos, os quais nasceram ao longo deste curso de doutorado.

## RESUMO

A banana tem uma grande importância socioeconômica para o Brasil e o Espírito santo, porém é muito suscetível a estresses bióticos e abióticos. Neste estudo, avaliou-se o desempenho agrônomico e a resposta ao déficit hídrico de dois acessos, 'Ambrosia' (AAAA, subgrupo Gros Michel) e 'Red Yade' (AAB, subgrupo Terra). Estes foram comparados às variedades tradicionais 'Grand Naine' (AAA, subgrupo Cavendish) e 'Terrinha' (AAB, subgrupo Terra) sob condições de déficit hídrico seguido de reidratação, bem como quanto à resistência à Sigatoka amarela, murcha de *Fusarium* e broca-do-rizoma. A altura e diâmetro do pseudocaule, o número de folhas ativas, a massa de cachos, a massa e número de frutos, o comprimento e diâmetro dos frutos da terceira penca, a largura e o comprimento da terceira folha e o número de dias da floração à colheita foram utilizados para avaliar o desempenho agrônomico. O desempenho fotossintético foi avaliado por meio da determinação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila a. 'Ambrosia' e Red Yade foram comparadas, respectivamente, à Grand Naine com temperatura máxima ajustada em 28°C e Terrinha com temperatura máxima a 28 °C e 35 °C. A incidência e severidade da Sigatoka amarela foram determinadas na primeira folha necrosada e a resistência à murcha de *Fusarium* foi determinada com base nos sintomas externos e internos, com posterior cálculo dos índices das doenças. Na avaliação da resistência à broca-do-rizoma, determinou-se o coeficiente de infestação das plantas floridas ou com cacho. Ambrosia teve maior massa de cacho sob irrigação, superou à Grande Naine no manejo sem irrigação, e foi resistente à Sigatoka amarela, a um isolado de *F. oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc) e à broca. 'Red Yade' não teve aumento da massa de cachos e foi suscetível à Sigatoka amarela, a dois isolados de Foc e à broca-do-rizoma. O déficit hídrico inicialmente limitou o fluxo transpiratório e a difusão de CO<sub>2</sub>, promovendo o aumento da temperatura foliar e diminuição da taxa de fotossíntese líquida, sem diminuir o rendimento quântico do PSII. Posteriormente, com o aumento da sua duração associada ao controle da temperatura máxima em 35°C, este levou à dissipação não fotoquímica com perda de desempenho do PSII. 'Ambrosia' apresentou menor diminuição do desempenho do PSII que 'Grand Naine' e recuperou-se mais rapidamente após a reidratação. 'Terrinha' apresentou maior temperatura foliar e menor fluxo de transpiração do que 'Red Yade' quando não exposta a déficit hídrico, indicando uma maior tolerância ao déficit hídrico. Além da paralisação da emissão e expansão foliares no início da exposição, o prolongamento do déficit hídrico promoveu a redução da área foliar total, bem como clorose seguida de necrose das folhas, da base para o ápice das plantas. Conclui-se que 'Red Yade' pode ser recomendada com a adoção do manejo da broca-do-rizoma. 'Ambrósia' mostrou um potencial para o plantio comercial e para atender à demanda do mercado para fruta do tipo Cavendish, possibilitando a redução dos custos de produção.

**Palavras-chave:** Banana • *Cosmopolites sordidus* • déficit hídrico • doenças • fotossíntese • *Musa* •

## ABSTRACT

Banana has great socioeconomic importance for Brazil and Espírito Santo, but it is susceptible to biotic and abiotic stresses. This study evaluated the agronomic performance and response to water deficit of two accessions, 'Ambrosia' (AAAA, Gros Michel subgroup) and 'Red Yade' (AAB, Plantain subgroup). These were compared to the traditional varieties 'Grand Naine' (AAA, Cavendish subgroup) and 'Terrinha' (AAB, Plantain subgroup) under conditions of water deficit followed by rehydration, as well as for resistance to yellow Sigatoka, Fusarium wilt, and root borer. The height and diameter of the pseudostem, the number of active leaves, the mass of bunches, the mass and number of fruits, the length and diameter of the fruits of the third bunch, the width and length of the third leaf, and the number of days of flowering at harvest were used to evaluate agronomic performance. Photosynthetic performance was evaluated by determining gas exchange and chlorophyll a's fluorescence. 'Ambrosia' and Red Yade were compared, respectively, to Grand Naine with a maximum temperature set at 28°C and Terrinha with maximum temperatures set at 28°C and 35°C. The incidence and severity of yellow Sigatoka were determined on the first necrotic leaf, and resistance to Fusarium wilt was determined based on external and internal symptoms, with subsequent calculation of disease indices. The infestation coefficient of flowering or bunched plants was determined to evaluate resistance to the root borer. Ambrosia had a higher bunch weight under irrigation, outperformed Grande Naine in non-irrigated management, and was resistant to yellow Sigatoka, an isolate of *F. oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc) and the root borer. 'Red Yade' had no increase in bunch weight and was susceptible to yellow Sigatoka, two isolates of Foc and root borer. The water deficit initially limited the transpiration flux and CO<sub>2</sub> diffusion, promoting an increase in leaf temperature and a decrease in the net photosynthesis rate without decreasing the quantum yield of PSII. Subsequently, the increase in its duration was associated with the control of the maximum temperature at 35°C, leading to non-photochemical dissipation with loss of PSII performance. 'Ambrosia' showed a smaller decrease in PSII performance than 'Grand Naine' and recovered faster after rehydration. 'Terrinha' presented higher leaf temperature and lower transpiration flow than 'Red Yade' when not exposed to water deficit, indicating a greater tolerance to water deficit. In addition to the stoppage of leaf emission and expansion at the beginning of the exposure, the prolongation of the water deficit promoted the reduction of the total leaf area and chlorosis followed by necrosis of the leaves from the base to the apex of the plants. It is concluded that 'Red Yade' can be recommended by adopting root borer management. 'Ambrósia' shows the potential to meet the market demand for Cavendish-type fruit, enabling the reduction of production costs.

**Keywords:** Banana • *Cosmopolites sordidus* • water deficit • diseases • photosynthesis • Musa •

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA BANANA.....	15
2.2 FATORES LIMITANTES À PRODUÇÃO .....	16
2.2.1 Doenças e pragas .....	16
2.2.2 Déficit hídrico .....	17
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO.....	20
<b>3 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>23</b>
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
<b>CAPITULO 1 – AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BANANEIRAS DOS SUBGRUPOS GRÓS-MICHEL, CAVENDISH E TERRA SOB MANEJO COM E SEM IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>25</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>26</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPITULO 2 – COMPORTAMENTO FOTOSSINTÉTICO DE GENÓTIPOS DE BANANA CAVENDISH, GROS-MICHEL E TERRA SOB DÉFICIT HÍDRICO SEGUIDO DE REIDRATAÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>44</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>45</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>51</b>
2.1 SUBGRUPO CAVENDISH E GROS-MICHEL .....	51
2.2 SUBGRUPO TERRA .....	52
2.3 IRRIGAÇÃO.....	53
2.4 FOTOSSINTESE .....	53
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	57
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
3.1 SUBGRUPO CAVENDISH E GROS-MICHEL .....	58

3.2 SUBGRUPO TERRA .....	75
3.2.1 Com controle de temperatura máxima em 28°C .....	75
3.2.2 Com controle de temperatura máxima em 35°C .....	83
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>
<b>CAPITULO 3 – AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE BANANEIRAS DOS SUBGRUPOS GROS-MICHEL, E TERRA À SIGATOKA AMARELA, MURCHA DE FUSARIUM E BROCA-DO-RIZOMA .....</b>	<b>105</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>106</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>107</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>108</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>111</b>
2.1 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À SIGATOKA AMARELA .....	111
2.2 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM .....	112
2.3 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À BROCA-DO-RIZOMA .....	116
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>118</b>
3.1 RESISTÊNCIA À SIGATOKA-AMARELA .....	118
3.2 RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM .....	120
3.3 RESISTÊNCIA À BROCA-DO-RIZOMA .....	125
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>137</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A banana brasileira com aproximadamente 99% da produção nacional abastece o mercado interno, é a fruta mais consumida no país e a segunda mais produzida, ocupando o segundo lugar em valor de produção (ANUÁRIO, 2017; IBGE-POF, 2020). O Brasil é o 4º maior produtor mundial de banana (FAOSTAT, 2019), sendo o Espírito Santo o 6º maior produtor do país (IBGE-PAM, 2019).

A bananeira é suscetível a diversos estresses bióticos causados por fungos, bactérias, vírus, nematoides e pragas. Doenças como as Sigatokas (amarela e negra) e o mal-do-Panamá ou murcha da bananeira que a depender da cultivar e/ou das condições edafoclimáticas, podem causar perdas de até 100% na produção (AMORIM et al., 2016).

Devido à sua importância socioeconômica, desde 1976 o Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural - Incaper - vem desenvolvendo trabalhos de introdução, avaliação e seleção de cultivares de bananeira adaptadas às condições edafoclimáticas do Espírito Santo e resistentes às principais doenças, tendo alcançado resultados positivos, com destaque para o subgrupo Prata, com o lançamento e recomendação de várias cultivares (GOMES, et al., 1989; NÓBREGA et al., 1988; NÓBREGA et al., 1990; VENTURA et al., 2011; VENTURA et al., 2013).

De uma maneira geral, até então, a maioria das cultivares de bananeira obtidas pelos programas de melhoramento, e recomendadas tanto para o Brasil como para o Estado do Espírito Santo, tem sido como alternativa às cultivares tradicionalmente cultivadas do subgrupo Prata. Não havendo ainda a recomendação de cultivares dos subgrupos Terra, Cavendish e Gros Michel para as condições edafoclimáticas do Estado, sendo os frutos do subgrupo Terra muito importantes para a cultura, culinária e economia Capixaba, com vários usos como no preparo de moquecas, feijão tropeiro, etc, assim como os do subgrupo Cavendish, utilizados tanto para o consumo *in natura* como para o produção de bolos, doces e banana passa. A caracterização e avaliação de genótipos promissores de bananeira, confrontando-os com aqueles em uso pelos produtores, tem sido uma das atividades constantes das instituições de pesquisas das principais regiões produtoras de banana, visando identificar cultivares produtivas, resistentes a pragas e doenças, e com frutos de qualidade, que possam substituir

com vantagens as cultivares usadas pelos produtores, garantindo, assim, a sustentabilidade do agronegócio da banana (LEITE et al., 2003).

Alguns acessos de banana dos subgrupos Terra e Gros-Michel, mantidos na coleção de germoplasma do Incaper, poderão ser superiores às cultivares tradicionalmente plantadas no ES, em relação à resistência a doenças e pragas, bem como a aspectos agronômicos e fisiológicos, e serão objeto de estudo e avaliação deste trabalho de pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA BANANA

A produção nacional de banana foi de 6.812.708 toneladas numa área de 461.751 hectares em 2019 (IBGE-PAM, 2019), e engloba cerca de 202,5 mil unidades produtoras (IBGE-PAM, 2017). O Brasil é o 4º maior produtor mundial de banana (FAOSTAT, 2019), sendo o Espírito Santo foi 6º maior produtor do país em 2019, tendo produzido 410 mil toneladas de cachos em uma área de 28,2 mil hectares, respondendo por 7,85% do valor da produção das lavouras permanentes do estado com 413,2 milhões de reais, ocupando o segundo lugar, depois do café, em termos de valor total da produção (IBGE – PAM, 2019), com cerca de 14,2 mil estabelecimentos produtores em 2017( IBGE-PAM, 2017).

A bananicultura é uma exploração tradicional do Estado do Espírito Santo, principalmente nas regiões Centro-Serrana e Litorânea Sul, onde as condições climáticas, principalmente no tocante à precipitação, são mais favoráveis, tendo se expandido nas décadas de 70 e 80, com um revés na década de 90, devido à concorrência com a banana produzida nos perímetros irrigados de Janaúba e Jaíba, no norte de Minas Gerais, e às oportunidades geradas com os altos preços alcançados pelo café (VENTURA; GOMES, 2005).

Atualmente a cadeia produtiva da banana está presente em mais de 90% dos municípios capixabas (IBGE- PAM, 2019) e, desde 2010, vem melhorando os seus indicadores produtivos ano após ano, em níveis superiores aos dos demais estados da região Sudeste, e da maioria dos estados brasileiros, se consolidando como uma importante atividade para a diversificação da produção e geração de emprego e renda no meio rural do Estado.

O município de Alfredo Chaves com uma produção de 45 mil toneladas anuais, seguido por Itaguaçu, Iconha e Linhares, com produções superiores a 35 mil toneladas/ano, destacam-se como os principais produtores do estado e respondem por 39,1% da produção capixaba. A mesorregião Central Espírito-santense é a principal produtora e responde por 70,4% da produção estadual de banana. O rendimento médio da produção no estado, com 14,5 mil quilogramas de cachos/hectare, ainda é baixo se comparado aos de Santa Catarina, com 24,6 mil

kg/ha, e São Paulo, com 20 mil kg/ha (IBGE- PAM, 2019), mas está acima da maioria dos estados do país, podendo ser melhorado.

## 2.2 FATORES LIMITANTES À PRODUÇÃO

Dentre os vários fatores que podem contribuir para a baixa produtividade média da banana no ES estão: a não adoção das recomendações técnicas preconizadas para a cultura; a incidência de pragas e doenças; a indisponibilidade de água para irrigação; e a ocorrência de déficits hídricos associados a períodos de estiagens prolongadas, nos casos das lavouras de sequeiro.

### 2.2.1 Doenças e pragas

A bananeira é infectada por diversos fitopatógenos, entre os quais fungos, bactérias, vírus, nematoides e insetos. Os fungos de maior importância são os agentes causais da Sigatoka-amarela (*Pseudocercospora musae* (Zimm.) Deighton; tel.: *Mycosphaerella musicola*, Leach ex J. L. Mulder), Sigatoka-negra (*Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton; tel.: *Mycosphaerella fijiensis*, Morelet) e murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E.F. Smith.) W.C. Snyder & H.N. Hansen). O moko-da-bananeira, causado pela bactéria *Ralstonia solanacearum* (raça 2), tem limitado a produção em alguns estados brasileiros, embora não ocorra no Espírito Santo. As principais viroses presentes no Brasil são o *Banana Streak Virus* (BSV) e o *Cucumber mosaic virus* (CMV). O *Banana bunchy top virus* (BBTV) e *Banana bract mosaic virus* (BBRMV) são consideradas Pragas Quarentenárias A1 para o Brasil. O nematoide que tem causado maiores danos à bananicultura é o *Radopholus similis*, e entre as pragas a mais importante nos bananais brasileiros é a broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) (SILVA et al., 2013; AMORIM et al., 2016).

A exploração da banana no Espírito Santo passou a ter importância econômica com o cultivo das primeiras lavouras comerciais de banana 'Maçã', a qual foi praticamente dizimada pelo murcha de *Fusarium* devido a sua elevada suscetibilidade à doença, que provocava o colapso e morte das plantas, deixando

de ser produzida comercialmente, e vindo a ser substituída pela banana 'Prata', a qual era mais tolerante, porém suscetível à doença (VENTURA et al., 2013).

As cultivares mais plantadas pelos agricultores no Brasil ('Prata', 'Pacovan', 'Maçã' e 'Grande Naine') são suscetíveis à Sigatoka-negra e também à Sigatoka-amarela. Com relação ao murcho de *Fusarium*, a 'Grande Naine' e a 'Terra' são resistentes à raça 1, predominante nas regiões produtoras do Brasil, enquanto que na 'Maçã' a doença é bastante severa (SILVA et al., 2013; AMORIM et al., 2016). No ES, aproximadamente 75% da área é plantada com cultivares do subgrupo Prata (AAB), 15% do subgrupo Terra (AAB) e 5 % do subgrupo Cavendish (AAA) (VENTURA; GOMES, 2005)

As medidas de controle químico utilizadas por grandes agricultores e grandes empresas não são aplicadas, ou são pouco aplicáveis, para os agricultores familiares, os quais representam a maioria dos produtores brasileiros de banana. No entanto, uma variedade melhorada pode promover um aumento de produtividade e um menor custo de produção, em função do reduzido emprego de defensivos agrícolas e redução de gastos com o manejo da cultura, além de proporcionar a melhoria da qualidade dos frutos, aumentando, conseqüentemente, a renda líquida do produtor (SILVA et al., 2013; AMORIM et al., 2016).

### **2.2.2 Déficit hídrico**

Estresses ambientais causados pelas mudanças climáticas, como alterações na temperatura, salinidade e seca, isoladas ou em combinação, aos quais as plantas estarão expostas nas próximas décadas, representam os fatores mais limitantes para a produtividade agrícola em todo o mundo. Desses, a seca é o estresse ambiental mais importante na agricultura, ocasionando perdas significativas na produtividade das culturas (FRACASSO et al, 2016).

Os primeiros sinais visíveis de estresse por seca na banana são murchas prolongadas das folhas, seguidos de amarelecimento, necrose marginal e sintomas de queimaduras das folhas. Em longo prazo, a resposta a déficits de umidade levará à redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, aumento do amarelecimento das folhas, redução do tamanho das plantas, decréscimo da emissão foliar, diminuição no crescimento dos órgãos florais, cachos engasgados,

obstruídos, dedos curtos e, em alguns casos extremos, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (STOVER et al., 1987; SOTO BALLESTERO, 1992; ROBINSON et al., 2010).

A bananeira é considerada uma planta muito sensível ao déficit hídrico no solo e responsiva à irrigação, por isso a água é o fator abiótico mais limitante a sua produção (TURNER et al., 2007; VANHOVE et al., 2012; MUTHUSAMY et al., 2014; KISSEL et al., 2015). É uma cultura tropical que exige um alto suprimento de água devido à sua significativa área foliar. A diminuição do crescimento, taxa de transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética foram relatadas em plantas de banana submetidas a déficit hídrico (ROBINSON et al., 1987; KALLARACKAL et al., 1990; ECKSTEIN et al., 1996; THOMAS et al., 1998; THOMAS et al., 2001; MAHOUACHI, 2007; MAHOUACHI, 2009). No entanto, tem sido indicado que as bananeiras são capazes de manter seu conteúdo relativo de água, sob condições de déficit hídrico, pela redução da carga de radiação e fechamento estomático (THOMAS et al., 1998), bem como por meio do mecanismo de ajustamento osmótico, através do aumento da concentração de minerais em suas folhas (MAHOUACHI, 2009). O dobramento natural das lâminas foliares de banana, mesmo em plantas bem irrigadas, reduz o dano fotoquímico pela redução da densidade de fluxo de radiação interceptada pela superfície da lâmina foliar (THOMAS et al., 2001), no entanto, o dobramento é muito acentuado sob o declínio da disponibilidade de água.

Em condições de déficit hídrico do solo ou de seca da atmosfera, a bananeira aumenta a síntese do hormônio ácido abscísico (ABA) nas raízes (MAHOUACHI et al., 2014), transporta até a parte aérea via xilema, e provoca o fechamento estomático. Esse mecanismo de adaptação ao estresse conserva a água na planta, mas interfere na assimilação de CO<sub>2</sub> (MAHOUACHI, 2009) e, conseqüentemente, na produtividade. Pois, a diminuição de CO<sub>2</sub> no sítio ativo da enzima rubisco, por fechamento estomático causado pelo estresse hídrico ou por problemas no sistema enzimático, como desnaturação de proteínas, rompimento de membranas em razão de aumento excessivo de temperatura, etc, causa modificações nas constantes cinéticas da rubisco e aumenta a taxa de oxigenação, em detrimento da taxa de carboxilação, aumentando assim a fotorrespiração e conseqüentemente diminuindo a fotossíntese líquida (DONATO et al., 2015).

Segundo Ravi et al. (2013), a condutância estomática, a estabilidade da membrana celular, a taxa de emissão de folhas, o conteúdo relativo de água na folha, a taxa de senescência foliar e a produção de cachos, sob condições de déficit hídrico do solo, são características associadas com tolerância à seca. Para eles, o impacto do estresse hídrico deve ser estudado até a colheita do cacho, e qualquer mensuração feita na planta deve ser corroborada com medidas do estado de umidade do solo.

Donato et al. (2016) relatam que há consenso na literatura quanto à dificuldade de se demonstrar associações claras entre o status hídrico da folha e as suas trocas gasosas, entretanto, há uma forte associação entre o status de umidade do solo e as trocas gasosas da folha.

Ravi et al. (2013), também relatam que muitas publicações sobre o status da água no solo estão ligadas aos parâmetros de trocas gasosas foliar e à taxa de emergência da folha mais jovem. Para eles, apesar de a medida da fração de água transpirável do solo ser laboriosa, informações valiosas podem ser geradas a partir dela, pois, esta variável pode ser usada da mesma maneira que o teor de nitrogênio (N) foliar é usado, em substituição ao teor de N aplicado via fertilizante, como uma variável independente em estudos sobre o impacto do teor do nutriente N nas taxas fotossintéticas das folhas.

Apesar das bananeiras serem bastante sensíveis ao déficit hídrico, genótipos de genoma "B" são mais tolerantes a estresses abióticos que aquelas baseadas unicamente em genoma "A". Em particular, bananas com genomas "ABB" são mais tolerantes à seca e outros estresses abióticos do que outros genótipos (VANHOVE et al., 2012). A menor tolerância das cultivares dos subgrupos Cavendish e Gros Michel à redução da disponibilidade de água no solo pode estar associada ao seu genoma (AAA) e ao seu elevado potencial produtivo, o que corrobora com a informação clássica na literatura que a presença do genoma B, de *Musa balbisiana*, confere maior tolerância ao estresse da seca do que o genoma A, de *Musa acuminata* (DONATO et al., 2015).

A identificação de seis isoformas de aquaporinas, proteínas que formam canais seletivos à passagem da água através da membrana, em 'Cachaco' (ABB), contribui para explicar a maior tolerância à seca desse genótipo em comparação com outras cultivares (VANHOVE et al., 2012). Em adição, os genótipos AAA são mais lentos para sinalizarem a falta de água, pois parecem menos sensíveis à

síntese do hormônio ácido abscísico sob estresse hídrico. Por outro lado, cultivares tetraploides 'BRS Tropical', 'BRS Princesa' e 'BRS Platina' (AAAB) parecem possuir maior tolerância à seca, quando comparado a triploides AAB, como 'Prata-Anã' (DONATO et al., 2015).

### 2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO

Desde 1920, os programas de melhoramento de bananeira desenvolvidos nos diversos países têm focado no desenvolvimento de cultivares com resistência a pragas e doenças. Além disso, vêm sendo realizados trabalhos envolvendo aspectos socioeconômicos ligados aos sistemas de produção e à suscetibilidade natural das cultivares atualmente em uso pelos agricultores. De maneira geral, buscam-se genótipos com resistência a doença, precocidade de produção, elevada produtividade, porte baixo, bom sistema radicular, eficiência no uso de água e nutrientes, e qualidade dos frutos (tamanho, forma, sabor e aroma) (PUA et al., 2003; PESTANA et al., 2011).

A busca de cultivares por meio da seleção dentro dos recursos genéticos existentes nas coleções de germoplasma representou a primeira abordagem, para a identificação de variedades resistentes a pragas e doenças. Mas nem sempre é possível encontrar os indivíduos desejados, e nesse caso há necessidade de geração de novas cultivares por hibridação. Ambos os métodos são considerados eficientes para controle de pragas e doenças (SILVA et al., 1998; SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2003; DAMODARAN et al., 2009).

O programa de melhoramento genético da bananeira da Embrapa obteve vários híbridos tetraplóides (AAAB) por meio do cruzamento de parentais femininos de triploides (AAB) com um parental masculino diploide (AA), com o objetivo de obter cultivares resistentes às principais doenças, além de maior produtividade e com melhor qualidade de frutos, os quais foram avaliados em várias regiões do Brasil. Alguns desses híbridos foram introduzidos pela EMCAPA (atual Incaper) no início da década de 80, na Fazenda Experimental de Cafundó, no município de Alfredo Chaves, para estudo e avaliação, o que levou, após mais de 10 anos de avaliação, à seleção e lançamento das cultivares Japira e Vitória no ano de 2005, ambas tetraploides (AAAB) do tipo Prata, resistentes à Sigatoka-amarela, à

Sigatoka-negra e à murcha de *Fusarium*, com características semelhantes, porém mais produtivas que as cultivares Prata e Pacovan, e adaptadas às condições climáticas da região produtora do estado do Espírito Santo, as quais vieram a suprir à ausência de uma cultivar do subgrupo Prata que fosse resistente à Sigatoka-negra, doença que é uma ameaça para todo o território nacional (VENTURA et al., 2011).

Em 2013, com a retomada do interesse comercial pela banana 'Maçã', principalmente por parte do segmento de produtos orgânicos, o Incaper selecionou e recomendou a cultivar Tropical, híbrido tetraploide (AAAB) do tipo 'Maçã', desenvolvido pela Embrapa, o qual foi avaliado por mais de 15 anos em diferentes ecossistemas do ES, e em outras regiões do país, e teve a maioria das suas características de desenvolvimento e rendimento semelhantes às da cultivar Maçã, sendo até mais produtiva em condições de sequeiro, porém apresenta tolerância à murcha de *Fusarium* e Sigatoka-amarela, suprimindo a falta de uma cultivar do tipo 'Maçã' para o cultivo no Estado (VENTURA et al., 2013).

Para Ravi et al. (2013) o aumento da produção de bananas com recursos limitados, especialmente a água, é uma prioridade. Isso pode ser conseguido através de tecnologias de produção melhoradas e do melhoramento genético para ambientes com limitação de água.

Na obtenção de cultivares adaptadas ao déficit hídrico, dois princípios podem ser empregados: o melhoramento visando à tolerância à seca, e, alternativamente, o melhoramento para a eficiência no uso da água (EUA). Geralmente, esses termos são confundidos. No entanto, do ponto de vista fisiológico, o melhoramento simultâneo para as duas características é contraditório (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011; BASSETT, 2013).

O controle genético tanto da tolerância à seca quanto da eficiência do uso da água são quantitativos e envolvem vários loci distribuídos em diferentes regiões do genoma. Em condições de déficit hídrico, vários genes são induzidos nas plantas, desencadeando respostas complexas desde a percepção e reconhecimento do sinal de estresse até a ativação de genes de resposta adaptativa (FERRÃO et al., 2016 e 2017).

Genótipos tolerantes à seca têm, normalmente, maior estabilidade de produção, mas, geralmente, menor potencial produtivo, sendo indicados, portanto, para sistemas de produção de menor nível tecnológico. Por outro lado, a EUA é

definida como a razão entre a absorção e utilização da água, ou seja, é a capacidade que um genótipo tem de absorver a água do solo e transformá-la em biomassa, frutos ou grãos (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). Assim, o melhoramento para a EUA avalia a produção por unidade de água fornecida, de modo que quanto maior a água disponível, maior a produção.

A seleção pode ser feita de forma direta (plantas sob estresse hídrico), indireta (sem a imposição do estresse) e combinada. No entanto, para ser útil à seleção, as variáveis precisam ter alta herdabilidade, facilidade de mensuração e alta correlação com a resposta da planta ao estresse hídrico. Para seleção, podem ser utilizadas características fisiológicas (condutância estomática, capacidade fotossintética, fechamento estomático); morfológicos (área foliar, espessura da cutícula, densidade estomática); ou morfoagronômicas (desenvolvimento de raiz, razão entre raiz e parte aérea), desde que atendam as premissas citadas acima, o que deve ser avaliado, previamente, para cada espécie e condição de estresse (FERRÃO et al., 2016 e 2017).

### 3 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho agronômico com e sem irrigação, resistência a doenças e à broca, de dois genótipos de bananeira do subgrupo Gros-Michel ('Ambrosia' - AAAA) e subgrupo Terra ('Red Yade' - AAB), visando uma possível recomendação como novas cultivares para o Espírito Santo.

#### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho agronômico dos acessos;
- Avaliar as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila a sob condições de déficit hídrico seguido de reidratação;
- Avaliar a resistência à Sigatoka-amarela;
- Avaliar a resistência à murcha do *Fusarium*;
- Avaliar a resistência à broca-do-rizoma;

**CAPITULO 1 – AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BANANEIRAS DOS  
SUBGRUPOS GRÓS-MICHEL, CAVENDISH E TERRA SOB MANEJO COM E  
SEM IRRIGAÇÃO**

## RESUMO

Ante a ausência de cultivares dos subgrupos Cavendish e Terra resistentes às principais doenças e adaptadas às condições do estado do Espírito Santo, objetivou-se comparar os acessos 'Ambrosia' (AAAA; subgrupo Gros Michel), 'Red Yade' (AAB; subgrupo Terra) às cultivares Grand Naine (AAA; subgrupo Cavendish) e 'Terrinha' (AAB; subgrupo Terra) quanto ao seu desempenho agrônômico e caracteres morfológicos, sob condições de manejo com e sem irrigação. As avaliações foram feitas durante dois ciclos de produção. A altura e diâmetro do pseudocaule e número de folhas ativas foram avaliadas durante o florescimento. A massa de cacho (MC) e da terceira penca, o número de frutos da terceira penca, o comprimento e diâmetro do fruto médio da terceira penca, o número de frutos por cacho, a largura e comprimento da terceira folha do ápice para a base, bem como o número de dias da floração à colheita foram avaliados na colheita do cacho. A irrigação proporcionou um incremento significativo da massa do cacho de 'Ambrosia' e da cv. 'Grande Naine', sendo maior em 'Ambrosia' na condição sem irrigação e evidenciando uma maior tolerância ao déficit hídrico nos períodos de seca. A irrigação promoveu um incremento do diâmetro do pseudocaule de 'Ambrosia' e, apesar da maior altura do pseudocaule, a sua relação altura/diâmetro se manteve de acordo com a de 'Grande Naine' e 'Red Yade'. Os resultados demonstraram que 'Ambrosia' apresenta um grande potencial produtivo, tanto no manejo irrigado como sem irrigação para o plantio comercial nas condições edafoclimáticas de Alfredo Chaves – ES, demonstrando-se como uma alternativa às cultivares do subgrupo Cavendish por apresentar características de fruto como forma, aroma e sabor similares. A cv. Red Yade, com um porte baixo que facilita a colheita e diminui a vulnerabilidade a ventos fortes, pode vir a ser recomendada mediante a adoções de medidas de manejo e controle da broca-do-rizoma, uma vez que, assim como 'Terrinha', teve a produção de cachos comprometida pela debilitação e tombamento das plantas em decorrência das lesões da broca.

**Palavras-chave:** • Banana • Déficit hídrico • *Musa spp* •

## ABSTRACT

Given the absence of cultivars from the Cavendish and Plantain subgroups resistant to primary banana diseases and adapted to the conditions of the state of Espírito Santo, this work's objective was to compare the accessions 'Ambrosia' (AAAA; Gros Michel subgroup) and 'Red Yade' (AAB; Plantain subgroup) with the cultivars Grand Naine (AAA; Cavendish subgroup) and 'Terrinha' (AAB; Plantain subgroup) in terms of their agronomic performance and morphological characters, under management conditions with and without irrigation. The evaluations were carried out during two production cycles. The height and diameter of the pseudostem and number of active leaves were evaluated during flowering. The following variables were evaluated at cluster harvest: cluster and third bunch weights; the number of fruits of the third bunch; the length and diameter of the average fruit of the third bunch; the number of fruits per cluster; the width and length of the third leaf from the apex to the base; and the number of days from flowering to harvest. Irrigation provided a significant increase in the mass of 'Ambrosia' clusters and cv. 'Grande Naine,' being higher in 'Ambrosia' in the condition without irrigation and showing greater tolerance to water deficit in periods of drought. Irrigation promoted an increase in the diameter of the pseudostem of 'Ambrosia' and, despite the greater height of the pseudostem, its height/diameter ratio remained in line with that of 'Grande Naine' and 'Red Yade.' The results showed that 'Ambrosia' has a great productive potential, both in irrigated and non-irrigated management for commercial planting in the edaphoclimatic conditions of Alfredo Chaves - ES, demonstrating itself as an alternative to the cultivars of the Cavendish subgroup for presenting fruit characteristics such as similar shape, aroma, and taste. The cv. Red Yade has a small size that facilitates harvesting and reduces vulnerability to strong winds, and it may be recommended by adopting management and control measures for the root borer. Its cluster production, like Terrinha's, was compromised by plant weakening and tipping as a result of the borer lesions.

**Keywords:** • Banana • Water deficit • Musa spp •

## 1 INTRODUÇÃO

Desde 1920, os programas de melhoramento de bananeira desenvolvidos nos diversos países têm focado no desenvolvimento de cultivares com resistência a pragas e doenças. Além disso, vêm sendo realizados trabalhos envolvendo aspectos socioeconômicos ligados aos sistemas de produção e à suscetibilidade natural das cultivares atualmente em uso pelos agricultores. De maneira geral, buscam-se genótipos com resistência a doença, precocidade de produção, elevada produtividade, porte baixo, bom sistema radicular, eficiência no uso de água e nutrientes, e qualidade dos frutos (tamanho, forma, sabor e aroma) (PUA et al., 2003; PESTANA et al., 2011).

A busca de cultivares por meio da seleção dentro dos recursos genéticos existentes nas coleções de germoplasma representa a primeira abordagem, para a identificação de variedades resistentes a pragas e doenças. Mas nem sempre é possível encontrar os indivíduos desejados, e nesse caso há necessidade de geração de novas cultivares por hibridação. Ambos os métodos são considerados eficientes para controle de pragas e doenças (SILVA et al., 1998; SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2003; DAMODARAN et al., 2009).

Para Ravi et al. (2013) o aumento da produção de bananas com recursos limitados, especialmente a água, é uma prioridade. Isso pode ser conseguido através de tecnologias de produção melhoradas e do melhoramento genético para ambientes com limitação de água.

A caracterização morfológica, agronômica, dentre outras necessárias, é fundamental para diferenciar os acessos e fornecer informações que permitam a sua utilização nos programas de melhoramento (SANTOS-SEREJO et al., 2016), sendo que caracterização agronômica do gemoplasma apresenta-se como uma ferramenta de grande importância no que se refere à obtenção de informações da variabilidade existente. Para isso, uma série de características é mensurada em diferentes condições edafoclimáticas, tais como: altura da planta; diâmetro do pseudocaule; número de filhos na floração; data da floração; data da colheita; peso do cacho; peso de pencas; peso médio de frutos; número de pencas; número de frutos por cacho; comprimento do fruto; diâmetro do fruto e presença das Sigatokas amarela e negra (SILVA et al., 1999).

A bananeira é considerada uma planta muito sensível ao déficit hídrico no solo e responsiva à irrigação, por isso a água é o fator abiótico mais limitante a sua produção (TURNER; FORTESCUE; THOMAS, 2007; VANHOVE et al., 2012; MUTHUSAMY et al., 2014; KISSEL et al., 2015). Sendo uma cultura tropical que exige um alto suprimento de água devido à sua significativa área foliar.

Alguns acessos de banana dos subgrupos Terra e Gros-Michel, mantidos na coleção de germoplasma do Incaper, aparentam ser superiores às cultivares tradicionalmente plantadas no ES, no que diz respeito à resistência a doenças e pragas, bem como a aspectos agronômicos e fisiológicos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agronômico de genótipos de bananeira do banco de germoplasma do Incaper, sendo um do subgrupo Gros-Michel, denominado 'Ambrosia' (AAAA), e outro do subgrupo Terra, denominado 'Red Yade' (AAB), comparando-os com as variedades comerciais 'Grande Naine' (AAA), do subgrupo Cavendish, e 'Terrinha' (AAB), do subgrupo Terra, em condições de manejo com e sem irrigação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no banco de germoplasma da Fazenda Experimental do Incaper no município de Alfredo Chaves-ES (Figura 1), onde os genótipos estão dispostos em linhas paralelas com pelo menos 18 plantas cada, no espaçamento de 2.5 x 2.5 metros, e recebem os tratos culturais recomendados para a cultura, como adubação, condução no esquema de mãe/filha/neta (VENTURA & GOMES, 2005).



Figura 1: Banco de germoplasma de banana da fazenda experimental do Incaper, localizada no município de Alfredo Chaves - ES.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições, oito tratamentos e quatro plantas por parcela, num esquema fatorial 4x2, com quatro genótipos ('Ambrosia', 'Grande Naine', 'Red Yade' e 'Terrinha') e duas condições de manejo (com e sem irrigação).

As plantas do manejo com irrigação foram irrigadas por meio de um sistema por gotejamento, com 4 gotejadores por planta, dispostos na forma de um quadrado de aproximada 70 cm de lado, com a planta no centro. Os gotejadores eram autocompensantes e proporcionavam vazão individual de 2 litros por hora. O acionamento do sistema se dava de forma automática, conforme metodologia desenvolvida por Medici et al (2010), quando a tensão da água no solo, a 20 cm de profundidade e a 50 cm de distância da planta de referência de cada uma das linhas dos genótipos, ultrapassava 3 kPa, e desligava sempre que a tensão voltasse a ficar abaixo desse valor.



Figura 2: Detalhes do sistema de irrigação por gotejamento com acionamento automático.

O início da irrigação se deu em 18 de dezembro de 2018 e durante o período de fevereiro/2019 a março/2020, e os genótipos foram avaliados a partir do segundo ciclo, tendo sido avaliadas altura do pseudocaule (do solo até a curvatura do engaço), diâmetro do pseudocaule a 30 cm do solo, número de folhas ativas (com área fotossinteticamente ativa maior e/ou igual a 50% do limbo) e largura e comprimento da terceira folha totalmente expandida, do ápice para a base da planta, no florescimento das plantas, bem como do peso do cacho, número de penca, peso da terceira penca, número de frutos da terceira penca, diâmetro e comprimento do fruto médio da parte interna da terceira penca, no momento da colheita do cacho.

Foram utilizados os dados mensais de temperatura média, precipitação total e número de dias com ocorrência de precipitação, durante o período de condução do experimento, coletados pela estação automática (Código: A615), localizada a aproximadamente 300 metros do área do experimento, e baixados do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>), para auxiliar na análise e interpretação dos resultados obtidos no experimento.

A ANOVA e teste de médias foram realizadas por meio do programa R (R Core Team, 2020), através da sua interface com o programa Rbio (BHERING, 2017).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura do pseudocaule, considerando todos genótipos individualmente, não diferiu entre os manejos com e sem irrigação. A altura variou de 213 cm a 360 cm, para 'Red Yade' e 'Ambrosia', respectivamente (Tabela 1). 'Grande Naine' e 'Terrinha' não diferiram entre si e apresentaram uma altura intermediária média de 301 cm.

Tabela 1: Altura do pseudocaule (cm) dos genótipos de bananeira com e sem irrigação no banco de germoplasma da Fazenda experimental do Incaper em Alfredo Chaves.

	'Ambrosia'	'Grande Naine'	'Terrinha'	'Red Yade'
Irigada	376 Aa <sup>1</sup>	314 Bb	307 Bb	219 Cc
Não irrigada	344 Aa	283 Bb	298 Bb	207 Cc
CV	6,7 %			

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05)

O diâmetro do pseudocaule, a 30 cm do solo, variou de 30,7 cm para 'Ambrosia', no manejo irrigado, a 16,3 cm para 'Terrinha' e 'Red Yade' (Tabela 2). Houve um incremento significativo no diâmetro do manejo sem irrigação para o manejo irrigado, de 14,8% para 'Grande Naine' e de 18,1% para 'Ambrosia'. O diâmetro de Ambrósia foi 31,7 e 28,1% maior que o de 'Grande Naine' nos manejo com e sem irrigação, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2: Diâmetro do pseudocaule (cm) no florescimento dos genótipos nos manejos com e sem irrigação.

Manejo	Genótipo/cultivar			
	'Ambrosia'	'Grande Naine'	'Terrinha'	'Red Yade'
Irigada	30,7 Aa <sup>1</sup>	23,3 Bb	16,7 Dd	16,7 Dd
Não irrigada	26,0 Bb	20,3 Cc	16,0 Dd	15,7 Dd
CV	9,18 %			

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05)

O número de folhas ativas no florescimento (NFA) não diferiu entre os sistemas de manejo com e sem irrigação, apenas entre genótipos. 'Ambrosia' e Rede Yale não diferiram entre si e apresentaram média de 11,1 folhas ativas por planta, superior ao de 'Grande Naine' e 'Terrinha', que também não diferiram entre si, e apresentaram médias de 9,7 folhas ativas por planta (Tabela 3).

Tabela 3: Número de folhas ativas na floração (NFAF) dos genótipos nos manejos com e sem irrigação.

'Ambrosia'	'Grande Naine'	'Terrinha'	'Red Yade'
11,3 a	9,7 b	9,7 b	11,0 a
CV (5.69 %)			

<sup>1</sup> Média Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05)

Quanto aos parâmetros massa do cacho, número de pencas, massa da terceira penca, número de frutos da terceira penca e largura da folha não houve diferença significativa entre os dois genótipos do subgrupo Terra, independentemente do tipo de manejo (Tabela 4), com massa média de 11,8 kg/cacho, 6,1 pencas/cacho, massa da terceira penca de 2,1 kg/penca e 11,2 frutos/penca e largura média da folha de 72,7 cm. Já o comprimento da folha de 'Terrinha', com 175 cm, foi significativamente maior que o de 'Red Yade', com 137 cm.

Tabela 4: Médias da massa do cacho (kg), nº de pencas, massa da terceira penca, nº de frutos da 3ª penca, comprimento da folha (cm) e largura da folha (cm), nº de frutos por cacho, comprimento (cm) e diâmetro(cm) do fruto, dos genótipos nas condições com e sem irrigação.

Característica	'Ambrosia'		'Grande Naine'		'Red Yade'		'Terrinha'	CV (%)
	Irrigada	Sequeiro	Irrigada	Sequeiro	Irrigada	Sequeiro	Irrigada	
Massa do cacho (kg)	32,7 a	23,2 b	28,5 a	17,8 c	14,1 c	10,2 c	11,2 c	16,8
Nº de pencas	10,7 a	9,3 a	9,7 <sup>a</sup>	8,0 b	6,3 c	5,7 c	6,3 c	10,2
Massa da 3ª penca (kg)	3,6 a	2,7 b	3,2 a	2,4 b	2,3 b	2,1 b	1,8 b	12,4
Nº de frutos da 3ª penca	19,3 a	17,0 a	17,3 a	15,3 a	11,7 b	11,0 b	11,0 b	10,4
Comprimento da folha (cm)	249 a	217 a	231 a	222 a	145 c	130 c	175 b	9,5
Largura da folha (cm)	89 a	79 b	88 a	78 b	77 b	72 b	69 b	6,9
Nº de fruto por cacho	183 a	143 b	160 a	119 b	71 c	62 c	65 c	18,5
Comprimento do fruto (cm)	17,7	16,0	19,0	17,3	21,3	16,7	19,0	13,4
Diâmetro do fruto (cm)	3,7	3,6	3,5	3,4	3,7	3,4	3,7	6,94

<sup>1</sup> Médias com mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P<0,05).

'Ambrosia' e 'Grande Naine' não diferiram quanto à massa do cacho, no manejo com irrigação, com média de 30,6 kg/cacho, porém diferiram na condição sem irrigação, com massa 23,2kg/cacho e 17,8 kg/cacho, respectivamente. O número de pencas por cacho de 'Ambrosia', não variou com o manejo, nem diferiu de 'Grande Naine' no manejo irrigado, e foi em média de 9,9 pencas/cacho, significativamente maior que a média de 8,0 pencas/cacho apresentada por 'Grande Naine' no manejo sem irrigação.

'Ambrosia' e 'Grande Naine' também não diferiram quanto à massa da terceira penca, havendo diferença apenas entre o tipo de manejo, com 3,4 kg/penca no manejo irrigado e 2,5kg/penca no sem irrigação, assim como não diferiram quanto ao número de frutos da terceira penca, independentemente do manejo, com 17,2 frutos/penca, nem diferiram quanto ao comprimento da folha, com 230 cm, independente do manejo. Quanto à largura da folha, também não houve diferença entre estes dois genótipos, apenas quanto tipo de manejo, com 88.5 cm e 78.5 cm no manejo com e sem irrigação, respectivamente

Os quatro genótipos não diferiram quanto ao comprimento e diâmetro do fruto, com 17,9 cm e 3,6 cm, respectivamente, independentemente do tipo de manejo. Enquanto a duração do ciclo de produção, considerando como sendo o período da floração até a colheita do cacho, foi em média de 124 dias para 'Ambrosia', 108 dias para 'Grande Naine', 103 dias para 'Red Yade' e 89 dias para 'Terrinha'.

O período do experimento foi marcado por ausência e/ou baixas precipitações associadas a altas temperaturas nos primeiros meses do experimento, e por precipitações atípicas, muito elevadas, nos últimos meses do experimento (Figura 3). O ano de 2019 teve uma precipitação de 1.383 mm e, apesar de ser um valor alto, ficou abaixo da média histórica de 1600 mm anuais de Alfredo Chaves, bem como não ocorreram precipitações durante os 31 dias do mês janeiro, o qual registrou uma temperatura média de aproximadamente 29°C e foi marcado por temperaturas diárias máximas e mínimas elevadas, baixa umidade relativa do ar e, conseqüentemente, elevado déficit de pressão de vapor durante o dia, tendo sido muito severo para os tratamentos sob manejo sem irrigação e, repercutiu de forma significativa nas diferenças da massa de cacho e do diâmetro do pseudocaulo, entre os manejos com e sem irrigação, dos genótipos 'Ambrosia' e 'Grande Naine'.

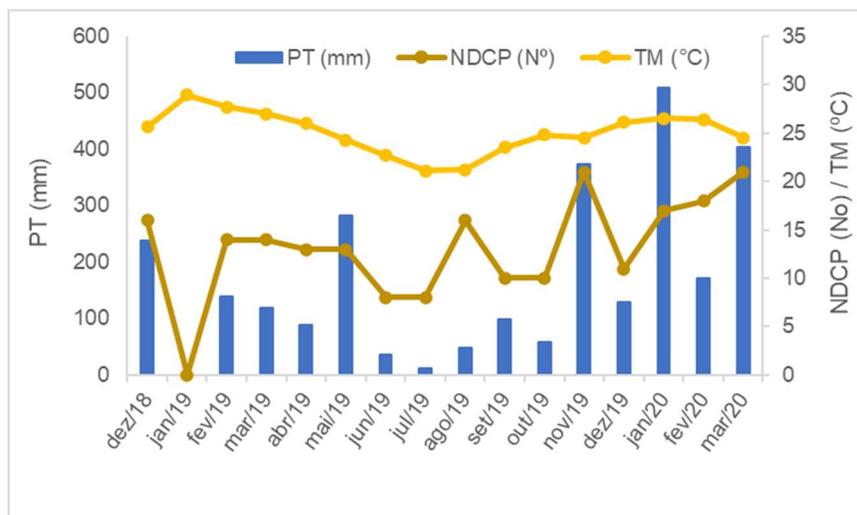


Figura 3: Precipitação total mensal (PT) em mm, o número de dias com ocorrência de precipitação em cada mês (NDCP) e a temperatura média mensal  $T^m$  em °C, durante o período de condução do experimento com os genótipos sob o manejo com e sem irrigação.

A maior altura do pseudocaule (H) de ‘Ambrosia’, entre os genótipos avaliados, a torna mais exposta aos ventos e teoricamente mais suscetível ao risco de tombamento e/ou quebra do pseudocaule, ante a ocorrência de ventos fortes. Entretanto, o seu maior diâmetro do pseudocaule (D), em relação aos demais genótipos, muito provavelmente possa atenuar este risco, uma vez que a relação H/D de ‘Ambrosia’, ‘Grande Naine’ e ‘Red Yade’ são bem próximas, apresentando respectivamente, razões de 12,7; 13,7 e 13,1.

Já ‘Terrinha’, com diâmetro semelhante ao de ‘Red Yade’, porém com uma altura média 90 cm superior, apresenta uma relação H/D de 18,5, bem maior que a dos demais genótipos, sendo, teoricamente, o genótipo mais suscetível ao tombamento e/ou quebra do pseudocaule quando exposto a condições de ventos fortes, principalmente sob condições de déficit hídrico prolongado, que leva à redução da pressão de turgor das células da bainha das folhas, diminuindo a resistência física do pseudocaule, facilitando a sua quebra, e/ou sob condições de alta infestação de broca-do-rizoma, em razão da colonização das galerias por microrganismos, que podem levar à morte de tecidos e raízes e, conseqüente, à perda da capacidade de sustentação da planta, facilitando o tombamento.

Gonçalves et. al (2018), recomendaram ‘Red Yade’, dentre outros genótipos do subgrupo Terra, como potenciais alternativas às cultivares tradicionais, como ‘Terrinha’, ‘Terra Maranhão’ e ‘D’Angola’, especialmente devido ao seu baixo porte,

bem como a maior massa de cachos e número de pencas, o que, à exceção do baixo porte, não se confirmou nas condições do presente estudo.

Santos et al. (2006) avaliando bananeiras resistentes à sigatoka-negra, no sudoeste do estado de Goiás, ao longo de três ciclos de produção, com precipitação média de aproximadamente 1.550 mm anuais, obtiveram resultados de massa de cacho, número de pencas, comprimento e diâmetro do fruto, altura e diâmetro do pseudocaule, nos dois primeiros ciclos, que, de uma maneira geral, estão próximos aos obtidos no presente trabalho para 'Red Yade'. No entanto, esses autores observaram que, ao invés de um incremento, houve uma redução gradual da massa de cacho desse genótipo, do primeiro para o terceiro ciclo de produção, com 16,15, 10,50 e 7,64 kg de massa de cacho para 'Red Yade', respectivamente, o que também foi observado para FHIA-21, do subgrupo Terra, e foi associado com a suscetibilidade à broca-do-rizoma, tendo sido recomendado o plantio destes dois genótipos mediante o monitoramento e controle da praga.

Aquino et al. (2017) caracterizaram cultivares de bananeira sob manejo sem irrigação, em Viçosa-MG, e obtiveram para a cultivar 'Terrinha', dados de altura e diâmetro do pseudocaule, largura e comprimento da folha, massa de cacho, bem como diâmetro e comprimento do fruto, superiores aos obtidos no presente estudo para o manejo com irrigação e, provavelmente seja devido à diferenças de ambientes e fertilidade do solo, bem como também possa estar associado à baixa incidência de broca-do-rizoma no local do estudo.

Os resultados de altura e diâmetro do pseudocaule, número de folhas na floração, massa de cacho, número de pencas e número de frutos por cacho, obtidos por Faria et al. (2010) para 'Terrinha', sob manejo irrigado em Guanambi, no sudoeste da Bahia, foram superiores aos obtidos no presente estudo, na condição irrigada e, provavelmente isto se deve em parte pelos dados deles serem referentes ao primeiro ciclo de produção, onde teoricamente a infestação pela broca-do-rizoma no bananal ainda seria baixa.

Os resultados de H e D de 'Ambrosia' e 'Grande Naine' estão de acordo e são bem próximos dos obtidos por Donato et. al (2006) no segundo ciclo de produção, sob manejo irrigado, em uma região semi-árida no sudoeste do estado da Bahia. No entanto, diferente do presente estudo, o NFA e a massa de cachos de 'Grande Naine', obtido por esses autores, foi superior ao de 'Ambrosia', provavelmente em face da não ocorrência da sigatoka-amarela de forma epidêmica na região do

estudo, em Guanambi, uma vez que 'Grande Naine' é suscetível à doença e 'Ambrosia' é resistente. Tendo os autores qualificado 'Ambrosia' como um genótipo promissor para a introdução naquela região.

Os dados de altura e diâmetro do pseudocaule, massa do cacho, comprimento do fruto e número de frutos, do genótipo 'Grande Naine', na condição sem irrigação, no geral, estão de acordo com os obtidos por Leite et al. (2003) ao longo de 4 ciclos de produção, em condições de sequeiro, no município de Belmonte no extremo sul do estado da Bahia, com precipitação média anual de 1190.4 mm ao longo do período de condução do experimento, contra 1.383 mm no presente estudo.

Mattos et al. (2010), caracterizando genótipos do banco de germoplasma da Embrapa de Mancioca e Friticultura Tropical, com precipitação por volta dos 1.500 mm anuais, obtiveram resultados de H, D, massa de cacho e número de frutos, para o genótipo 'Ambrósia', de acordo com os obtidos no presente estudo na condição de manejo sem irrigação.

Lédo et al. (2008), avaliando genótipos de banana no segundo ciclo de produção sob manejo irrigado nas condições do Baixo São Francisco-SE, obtiveram valores médios de altura e diâmetro do pseudocaule, NFAF, número de pencas e número de frutos por penca e por cacho 'Ambrósia', de acordo com os obtidos neste trabalho para o mesmo manejo, porém, a massa média do cacho e da penca foram inferiores, e estavam compatíveis com a médias obtidas para a condição de manejo sem irrigação do presente estudo. Esta divergência na massa do cacho e da penca pode ser em função avaliação envolver apenas dados do segundo ciclo, da diferença climáticas entre os ambientes, bem como de uma irrigação insuficiente.

Oliveira et al. (2008), avaliando genótipos de bananeira em três ciclos de produção, em Rio Branco-AC, e obtiveram valores de H, D, NFAF e massa de cacho, para 'Grande Naine' e 'Ambrosia', bem inferiores aos obtidos no presente estudo, e segundo os autores, os baixos valores obtidos são em razão da diferença de ambientes e da presença de sigatoka-negra naquela região. Tendo eles concluído que estes materiais, dentre outros avaliados, apresentam baixo desempenho agrônômico para as condições daquela região.

Comparando-se a diferença do peso médio do cacho entre os manejos com e sem irrigação, os genótipos 'Ambrosia' e 'Grande Naine' apresentaram um incremento de aproximadamente 41 e 60 %, da condição irrigada para a não

irrigada, respectivamente, evidenciando que ambos os genótipos tem potencial genético para aumento de produtividade e respondem de forma significativa ao manejo com irrigação, mesmo sob condições climáticas favoráveis como as de Alfredo Chaves, demonstrando ser viável o investimento na irrigação das lavouras destes genótipos, pois o ganho de produtividade provavelmente compensará os custos com a implantação dos sistemas.

O fato da massa de cachos do genótipo 'Ambrosia' ter sido significativamente maior do que a de 'Grande Naine' na condição de manejo sem irrigação, não parece ser função de um maior potencial produtivo por parte de 'Ambrosia', tendo em vista os resultados obtidos por Donato et. al (2006), mas provavelmente seja resultante de uma maior suscetibilidade a déficit hídrico, mesmo que de moderada intensidade e/ou duração, por parte de 'Grande Naine', uma vez que este genótipos não diferiram entre si, quanto à massa de cacho, na condição de manejo com irrigação.

Lédo et al. (2008) recomendaram o híbrido 'Ambrósia' como uma alternativa às bananas do subgrupo Cavendish, por apresentarem cachos grandes e sabor marcante.

Apesar de não ter sido objeto de avaliação do presente estudo, mas tendo em vista o potencial promissor demonstrado por 'Ambrósia' para a região de Alfredo Chaves, é importante relatar, de acordo com resultados obtidos por Pereira et al. (2004), que 'Grande Naine' e 'Ambrosia' não diferiram quanto à resistência ao despencamento dos frutos, tendo sido classificados como medianamente resistentes, porém, 'Grande Naine' apresentou maior firmeza do fruto, com 68,6 N/cm<sup>2</sup>, do que 'Ambrosia', com 48,4 6 N/cm<sup>2</sup>, o que poderia vir a comprometer o tempo de prateleira de 'Ambrosia', bem como sua aceitação pelo mercado consumidor.

Donato et al. (2015) relatam que nas três últimas décadas vários genótipos resistentes às principais doenças da bananeira e com alto potencial produtivo foram disponibilizados aos agricultores do mundo inteiro por diferentes programas de melhoramento, porém, a maioria apresentou baixa adoção pelos agricultores, sob a alegação de problemas de mercado. Em vista disso, antes de se fazer a recomendação da sua introdução pelos produtores, seria prudente realizar um estudo sobre qualidade pós colheita e avaliação sensorial dos frutos de 'Ambrosia'.

Os danos aos rizomas dos genótipos do subgrupo Terra, decorrentes da incidência da broca-do-rizoma, resultaram na produção de cachos de baixa qualidade e/ou no tombamento das plantas ou quebra do pseudocaule, levando a uma acentuada redução do número de cachos colhidos nas parcelas ou até mesmo na perda de parcelas devido à não obtenção de dados relacionados à produção ao longo do período de condução do experimento.

## 4 CONCLUSÕES

O manejo com irrigação aumentou de forma expressiva a massa dos cachos, dos genótipos 'Ambrosia' e 'Grande Naine', demonstrando que o incremento de produtividade resultante da irrigação compensa o investimento em sistemas de irrigação para o plantio destes genótipos, mesmo em condições de precipitação favoráveis como as de Alfredo Chaves. Entretanto, a maior massa de cachos obtida por 'Ambrósia' na condição sem irrigação evidencia uma maior tolerância a ocorrência de déficit hídrico.

A irrigação promoveu um incremento do diâmetro do pseudocaule de 'Ambrosia' e 'Grande Naine' e, apesar da maior altura apresentada por 'Ambrosia' em relação aos demais genótipos, a sua relação altura/diâmetro do pseudocaule está de acordo com a relação apresentada por 'Grande Naine' e 'Red Yade', evidenciando uma menor suscetibilidade à quebra do pseudocaule por vendavais, bem como uma melhor sustentação do peso do cacho do que a cultivar 'Terrinha', a qual possui uma relação altura/diâmetro bem maior que Ambrósia.

A cultivar 'Red Yade', com um porte baixo que facilita a colheita e diminui a vulnerabilidade a ventos fortes, pode vir a ser recomendada mediante a adoção de medidas de controle da broca-do-rizoma, uma vez que, assim como 'Terrinha', teve a produção de cachos comprometida, tanto qualitativa como quantitativamente, pela debilitação ou tombamento das plantas em decorrência das lesões da broca.

O genótipo 'Ambrosia' possui um alto potencial produtivo em termos de massa de cacho, podendo ser recomendada tanto para o plantio irrigado, tendo em vista o incremento de produção resultante da implementação da irrigação, como de sequeiro, tendo em vista apresentar maior massa de cachos que 'Grande Naine' nesta condição, podendo ser cultivado comercialmente como alternativa para atender às demandas do mercado por frutos do tipo Cavendish.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, C. F., SALOMÃO, L. C. C., CECON, P. R., SIQUEIRA, D. L. DE, SÔNIA RIBEIRO, S. M. R. Physical, chemical and morphological characteristics of banana cultivars depending on maturation stages. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 1, p. 87-96, 2017.

BHERING, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17: 187-190p, 2017.

DAMODARAN, T.; KUMAR, N.; KAVINO, M. Breeding and evaluation of Musa hybrids resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 1. **Fruits**, Les Ulis, v. 64, n. 1, p. 3-12, 2009.

DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; MARQUES, P. R. R.; RODRIGUES, M. G. V. Considerações ecofisiológicas e estratégias de manejo da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.36, n.288, p. 13-26, 2015.

DONATO, S.L.R.; SILVA, S. de O. e; LUCCA FILHO, O.A.; LIMA, M.B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J.S. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa* spp.), em dois ciclos de produção no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.139-144, 2006.

FARIA, H. C DE, DONATO, S. L. R., PEREIRA, M. C. T., SILVA, S. DE O. Avaliação fitotecnia de bananeiras tipo Terra sob irrigação em condições semiáridas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 830-836, 2010.

GONÇALVES, Z. S., INVENÇÃO, D. R. S. DA, LEDO, C. A. DA S., FERREIRA, C. F., AMORIM, E. P. Agronomic performance of plantain genotypes and genetic variability using Ward-MLM algorithm. **Genetics and Molecular Research**, v.17, n. 1, gmr16039882, 2018.

DOI <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039882>

KISSEL, E.; VAN ASTEN, P.; SWENNEN, R.; LORENZEN, J.; CARPENTIER, S.C. Transpiration efficiency versus growth: Exploring the banana biodiversity for drought tolerance. **Scientia Horticulturae**, v.185, p.175-182, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.035>

LÉDO, A. DA S., JUNIOR, J. F. DA S., LÉDO, C. A. DA S., SILVA, S. DE O. Avaliação de genótipos de bananeira na Região do Baixo São Francisco, Sergipe. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 691-695, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300022>

LEITE, J. B. V; SILVA, S. DE O. E; ALVES, É. J; LINS, R D; JESUS, O. N. DE. Caracteres da planta e do cacho de genótipos de bananeira, em quatro ciclos de produção, em Belmonte, Bahia. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 443-447, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300021>.

MATTOS, L. A., AMORIM, E. P., AMORIM, V. B. DE O., COHEN, K. DE O., LEDO, C. A. DA S., SILVA, S. DE O. Agronomical and molecular characterization of banana germplasm. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.45, n.2, p.146-154, 2010.

MEDICI, L. O., ROCHA, H. DA S, CARVALHO, D. F. DE, PIMENTEL, C., AZEVEDO, A. A. Controlador automático para regar plantas. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 67, n. 6, pág. 727-730, 2010.

MUTHUSAMY, M.; UMA, S.; BACKIYARANI, S.; SARASWATHI, M.S. Computational prediction, identification, and expression profiling of microRNAs in banana (*Musa spp.*) during soil moisture deficit stress. **The Journal of Horticultural Sciences & Biotechnology**, v.89, n.2, p.208-214, 2014.

OLIVEIRA, T. K. DE, LESSA, L.S., SILVA, S. DE O., OLIVEIRA, J. P. DE. Características agrônômicas de genótipos de bananeira em três ciclos de produção em Rio Branco, AC. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.43, n.8, p.1003-1010, 2008.

PEREIRA, M. C. T., SALOMÃO, L. C. C., SILVA, S. DE O. E, CECON, P. R., PUSCHMANN, R., JESUS, O. N. DE, CERQUEIRA, R. C. Suscetibilidade à queda natural e caracterização dos frutos de diversos genótipos de bananeiras. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 3, p. 499-502, 2004.

PESTANA, R.K.N.; AMORIM, E.P.; FERREIRA, C.F.; AMORIM, V.B.O.; OLIVEIRA, L.S.; LEDO, C.A.S.; SILVA, S.O. Genetic dissimilarity of putative gamma-ray-induced 'Preciosa' - AAAB-Pome type banana (*Musa sp.*) mutants based on multivariate statistical analysis. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 10, p. 3.976-3.986, 2011.

PUA, E.C.; LEE, Y.C. Expression of a ripening-related cytochrome P450 cDNA in Cavendish banana (*Musa acuminata* cv. Williams). **Gene**, Amsterdam, v. 305, p. 133-140, 2003.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. <https://www.R-project.org/>.

RAVI, I., UMA, S., VAGANAN, M. M., & MUSTAFFA, M. M. Phenotyping bananas for drought resistance. **Frontiers in Physiology**, v.4, 2013. <http://doi.org/10.3389/fphys.2013.00009>

SANTOS, S. C., CARNEIRO, L. C., NETO, A. N. DA S., JÚNIOR, E. P., FREITAS, H. G. DE, PEIXOTO, C. N. Caracterização Morfológica e avaliação de cultivares de bananeira resistentes a Sigatoka negra (*Mycosphaella fijiensis* Morelet) no sudoeste Goiano. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 28, n. 3, p. 449-453, 2006.

SANTOS-SEREJO, J. A. dos; AMORIM, E. P.; JESUS, O. N. de; SILVA, S. de O. Germoplasma de Musa: Conservação, caracterização e uso. *In*: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (Ed.). **O agronegócio da BANANA**. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 111-136, 2016.

SILVA, S.O.; MATOS, A.P.; ALVES, E.J. Melhoramento genético da bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p.693-703, 1998.

SILVA, S.O.; CARVALHO, P.C.L.; SHEPHERD, K.; ALVES, E.J.; OLIVEIRA, C.A.P.; CARVALHO, J.A.B.S. **Catálogo de Germoplasma de Bananeira (*Musa spp.*)**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas: CNPMF, 140p. 1999.

SILVA, S.O.; GASPAROTTO, L.; MATOS, A.P.; CORDEIRO, Z.J.M.; FERREIRA, C.F.; RAMOS, M.M.; JESUS, O.N. **Banana Breeding Program in Brazil - Recent Results**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 39p.

STOVER, R. H. A proposed international scale for estimating intensity of banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola*, Leach). **Trop. Agric.**, Trinidad, 48, 185-196, 1971.

TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A.; THOMAS, D.S. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goitacazes, v.19, n.4, p. 463-484, 2007.

VANHOVE, A.C.; VERMAELEN, W.; PANIS, B.; SWENNEN, R.; CARPENTIER, S.C. Screening the banana biodiversity for drought tolerance: can an in vitro growth model and proteomics be used as a tool to discover tolerant varieties and understand homeostasis. **Frontiers in Plant Science**, Paris, v.3, n.176, p.1-10, 2012.

VENTURA, J. A.; GOMES, J. A. **Recomendações técnicas para o cultivo da bananeira no Estado do Espírito Santo**. 1 ed. Vitória, ES: Incaper, 2005. 41 (Incaper. Documentos, 141).

**CAPITULO 2 – COMPORTAMENTO FOTOSSINTÉTICO DE GENÓTIPOS DE  
BANANA CAVENDISH, GROS-MICHEL E TERRA SOB DÉFICIT HÍDRICO  
SEGUIDO DE REIDRATAÇÃO**

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho fotossintético de genótipos de banana dos subgrupos Cavendish ('Grande Nine'), Gros-Michel ('Ambrosia') e Terra ('Red Yade' e 'Terrinha'), ao longo de um período de exposição ao déficit hídrico seguido de reidratação. 'Ambrosia' e a cv. 'Grand Naine' foram comparadas em casa de vegetação com controle da temperatura máxima ajustado em 28°C e 'Red Yade' e 'Terrinha' sob as temperaturas máximas de a 28 °C e 35 °C. As trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* foram avaliadas em ambos os experimentos. Inicialmente, o déficit hídrico limitou o fluxo transpiratório e a difusão de CO<sub>2</sub>, promovendo o aumento da dissipação via calor sensível da energia absorvida da radiação solar de ondas curtas por meio do aumento da temperatura foliar e diminuição da taxa de fotossíntese líquida, concomitante com o incremento da fotorrespiração. Isso possibilitou a fotoproteção dos fotossistemas e manteve o rendimento quântico do PSII em níveis elevados. Posteriormente, com o prolongamento do tempo de exposição das plantas ao déficit, houve a ocorrência de dissipação não fotoquímica e consequente perda de desempenho do PSII de forma bem mais acentuada no controle de temperatura máxima em 35°C. 'Ambrosia' apresentou menor diminuição do desempenho do PSII que 'Grand Naine', bem como se recuperou mais rapidamente no pós-reidratação. A cv. Terrinha apresentou maior dissipação de energia via calor sensível, bem como menor fluxo de transpiração que a 'Red Yade' quando não exposta a déficit hídrico, indicando uma maior tolerância à ocorrência de déficit hídrico leve no solo. Além da paralisação da emissão e expansão foliar logo nos primeiros dias após a exposição ao déficit, o prolongamento do déficit hídrico promoveu a redução da área foliar total, bem como clorose seguida de necrose das folhas, da base para o ápice das plantas.

**Palavras-chave:** • Clorofila *a* • fluorescência • *Musa* • trocas gasosas

## ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the photosynthetic performance of banana genotypes from the Cavendish ('Grande Nine'), Gros-Michel ('Ambrosia'), and Plantain ('Red Yade' and 'Terrinha') subgroups throughout exposure to water deficit followed by rehydration. 'Ambrosia' and cv. 'Grand Naine' were compared in greenhouse conditions with maximum temperature control set at 28°C and 'Red Yade' and 'Terrinha' under maximum temperatures of 28°C and 35°C. Gas exchange and chlorophyll a's fluorescence were evaluated in both experiments. Initially, the water deficit limited the transpiration flux and the diffusion of CO<sub>2</sub>, promoting an increase in the dissipation via sensible heat of the energy absorbed from the shortwave solar radiation through an increase in leaf temperature and a decrease in the net photosynthesis rate, concomitant with the increase in photorespiration. These physiological changes made the photoprotection of photosystems possible and maintained the quantum yield of PSII at high levels. Subsequently, a non-photochemical dissipation and consequent loss of performance of PSII occurred in a much more accentuated way in the control of maximum temperature at 35°C. 'Ambrosia' showed a smaller decrease in PSII performance than 'Grand Naine' and recovered more quickly after rehydration. The cv. Terrinha showed greater energy dissipation via sensible heat and lower transpiration flow than 'Red Yade' when not exposed to water deficit, indicating a greater tolerance to mild water deficit in the soil. In addition to the stoppage of emission and leaf expansion in the first days after exposure to the deficit, extended water deficit promoted the total leaf area reduction and chlorosis followed by necrosis of the leaves, from the base to the apex of the plants.

**Keywords:** • Chlorophyll a • fluorescence • *Musa* • gas exchange •

## 1 INTRODUÇÃO

Os estresses ambientais causados pelas mudanças climáticas, como alterações na temperatura, salinidade e seca, isoladas ou em combinação, aos quais as plantas estarão expostas nas próximas décadas, representam os fatores mais limitantes para a produtividade agrícola em todo o mundo. Desses, a seca é o estresse ambiental mais importante na agricultura, ocasionando perdas significativas na produtividade das culturas (FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016).

A bananeira é considerada uma planta muito sensível ao déficit hídrico no solo e responsiva à irrigação, por isso a água é o fator abiótico mais limitante a sua produção (TURNER; FORTESCUE; THOMAS, 2007; VANHOVE et al., 2012; MUTHUSAMY et al., 2014; KISSEL et al., 2015). É uma cultura tropical que exige um alto suprimento de água devido à sua significativa área foliar. A diminuição do crescimento, taxa de transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética foram relatadas em plantas de banana submetidas a déficit hídrico (ROBINSON; BOWER, 1987; KALLARACKAL; MILBURN; BAKER, 1990; ECKSTEIN; ROBINSON, 1996; THOMAS; TURNER, 1998; THOMAS; TURNER, 2001; MAHOUACHI, 2007; MAHOUACHI, 2009).

Os primeiros sinais visíveis de estresse por seca na banana são murchas prolongadas das folhas, seguidos de amarelecimento, necrose marginal e sintomas de queimaduras das folhas. Em longo prazo, a resposta a déficits de umidade levará à redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, aumento do amarelecimento das folhas, redução do tamanho das plantas, decréscimo da emissão foliar, diminuição no crescimento dos órgãos florais, cachos engasgados, obstruídos, dedos curtos e, em alguns casos extremos, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010; SOTO BALLESTERO, 1992; STOVER; SIMMONDS, 1987).

No entanto, tem sido indicado que as bananeiras são capazes de manter seu conteúdo relativo de água, sob condições de déficit hídrico, pela redução da carga de radiação e fechamento estomático (Thomas; Turner, 1998), bem como por meio do mecanismo de ajustamento osmótico, através do aumento da concentração de minerais em suas folhas (MAHOUACHI, 2009). O dobramento natural das lâminas foliares de banana, mesmo em plantas bem irrigadas, reduz o dano fotoquímico

pela redução da densidade de fluxo de radiação interceptada pela superfície da lâmina foliar (THOMAS;TURNER, 2001), no entanto, o dobramento é muito acentuado sob o declínio da disponibilidade de água.

Em condições de déficit hídrico do solo ou de seca da atmosfera, a bananeira aumenta a síntese do hormônio ácido abscísico (ABA) nas raízes (MAHOUACHI; LÓPEZ-CLIMENT; GÓMEZ-CADENAS, 2014), transporta até a parte aérea via xilema, e provoca o fechamento estomático. Esse mecanismo de adaptação ao estresse conserva a água na planta, mas interfere na assimilação de CO<sub>2</sub> (MAHOUACHI, 2009) e, conseqüentemente, na produtividade.

Segundo Ravi et al. (2013), a condutância estomática, a estabilidade da membrana celular, a taxa de emissão de folhas, o conteúdo relativo de água na folha, a taxa de senescência foliar e a produção de cachos, sob condições de déficit hídrico do solo, são características associadas com tolerância à seca. Para eles, o impacto do estresse hídrico deve ser estudado até a colheita do cacho, e qualquer mensuração feita na planta deve ser corroborada com medidas do estado de umidade do solo.

Apesar das bananeiras serem bastante sensíveis à seca, genótipos de genoma "B" são mais tolerantes a estresses abióticos que aquelas baseadas unicamente em genoma "A" e, em particular, bananas com genomas "ABB" são mais tolerantes à seca e outros estresses abióticos do que outros genótipos (VANHOVE et al., 2012). A menor tolerância das cultivares tipo Cavendish e Gros Michel à redução da disponibilidade de água no solo pode estar associada ao seu genoma (AAA) e ao seu elevado potencial produtivo, o que corrobora com a informação clássica na literatura que a presença do genoma B, de *Musa balbisiana*, confere maior tolerância ao estresse de hídrico do que o genoma A, de *Musa acuminata* (DONATO et al.,2015).

O funcionamento normal da fotossíntese é inseparável da participação da energia luminosa, mas qualquer situação de luz em excesso impacta os fotossistemas II (PSII) e I (PSI), bem como as outras proteínas da membrana tilacóide, resultando em fotoinibição e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS). Situações como temperaturas elevadas, deficiência de fósforo e seca, podem exacerbar ainda mais o efeito da luz excessiva, tendo as plantas desenvolvido várias adaptações para lidar com a situação de luz desfavorável ao longo do processo evolutivo: como ajuste da orientação da folha, mecanismos de

eliminação de ROS, ciclo da xantofila, estratégia de transição de estado , transporte cíclico de elétrons e fotorrespiração (MA et al., 2021).

Uma das estratégias para proteger o aparato fotossintético do dano foto-oxidativo é dissipar na forma de calor o excesso de energia luminosa absorvida pelo complexo antena do PSII, conhecida como dissipação não fotoquímica (NPQ). A NPQ é composta de vários componentes que podem ser distinguidos por seu tempo de relaxamento no escuro: *quenching*, qE (segundos a minutos), transições de estado, qT (dezenas de minutos), fotoinibição, qI (horas), e uma extinção de longa duração relacionada à fotoinibição, chamada de qH (MESSANT et al., 2021).

A extinção via qE é o maior componente do NPQ em regulações de curto prazo, ocorre dentro da antena do PSII (LHCII) e está relacionada à alterações da macroestrutura das membranas tilacóides, afetando as associações entre as proteínas e as membranas tilacóides, sendo desencadeada pela acidificação do lúmen à luz, havendo diferentes modelos para explicar o seus mecanismos moleculares, como o mecanismo depende da formação de zeaxantina, a partir da violaxantina (ciclo das xantofilas), como um inibidor de estados excitados de clorofila, sendo proposto que a proteína PsbS, associada ao PSII, estaria relacionada à detecção do pH do lúmen por meio do seu estado de protonação, e controlaria a ativação e extensão de qE na extinção dependente de zeaxantina. Já outros modelos propõem que qE seria induzido pela agregação de LHCII causada pela protonação da antena no lado luminal e o LHCII poderia vir a se desprender do PSII e a zeaxantina não seria necessária para a extinção, mas poderia ser importante para acoplar a agregação de LHCII com uma mudança do gradiente de pH, dentre outros modelos existentes para qE, porém ainda não há consenso a respeito do seu mecanismo (MESSANT et al., 2021).

A fotoinibição (qI) é caracterizada por uma perda da fluorescência máxima da clorofila e uma perda da atividade de divisão da água no PSII, e ocorre quando o dano foto-oxidativo ao PSII é maior do que o seu reparo quando as plantas estão enfrentando condições estressantes, como intensidades de luz mais altas do que o necessário para a fotossíntese. Nos casos mais drásticos, é caracterizada por uma diminuição acentuada na capacidade fotossintética da planta devido à perda do transporte linear de elétrons. A fotoinibição pode ocorrer do lado aceitador do PSII por danos à proteína D1 por espécies reativas de oxigênio quando o PSII é

superreduzido, como também pode ocorrer no lado doador do PSII, por meio da inibição do complexo de evolução de oxigênio, limitando assim a doação de elétrons para o centro de reação do PSII. O qH, relatado recentemente, é ativo durante a fotoinibição e independe dos outros mecanismos citados, sendo descrito como uma extinção de relaxamento lento com ação fotoprotetora que atua em conjunto com outros mecanismos de extinção envolvidos na qI, sendo localizado na antena periférica do PSII (MESSANT et al., 2021).

A transição de estado é definida como a migração do complexo de captação de luz (LHC) do PSII (estado 1) para PSI (estado 2), aumentando o tamanho da antena do PSI e diminuindo a pressão de excitação sobre o PSII e, em condições fisiológicas, ocorre minutos após um estresse, como por exemplo durante a flutuação da luz ou estresse térmico moderado. Em plantas superiores, a transição de estado mobiliza aproximadamente 15-20% dos LHCs (MESSANT et al., 2021).

Uma vez que a transferência linear de elétrons (LEF) de H<sub>2</sub>O para NADP<sup>+</sup> depende da passagem sequencial de elétrons através ambos os fotossistemas, qualquer desequilíbrio em suas taxas de excitação pode potencialmente diminuir sua eficiência. O desequilíbrio nas taxas de excitação entre PSI e PSII é detectado por meio do nível do estado redox do portador de elétrons do PSII para o intersistema, a plastoquinona (PQ), sendo a oxidação da plastoquinona reduzida (PQH<sub>2</sub>) pelo citocromo b6f (cyt b6f) a etapa limitante do LEF. A excitação preferencial do PSII leva ao acúmulo de PQ reduzida, enquanto a excitação preferencial de PSI, em contraste, leva à oxidação do pool PQ. Desta forma, a transição de estado pode modular o tamanho relativo da antena do PSI e PSII na escala de tempo de alguns minutos, melhorando assim a eficiência fotossintética (JOHNSON; WIENTIES, 2020).

O fluxo cíclico de elétrons (CEF) transloca prótons extras do estroma para o lúmen do cloroplasto, aumentando a razão ATP/NADPH sem redução líquida da formação de NADPH, evitando a superredução de PSI por meio da regulação do complexo citocromo b6f (cyt b6f) e protegendo o PSII da superexcitação por meio da indução de extinção não fotoquímica. A fosforilação do complexo coletor de luz do PSII (LHCII) regula o balanço LEF/ CEF por meio de uma profunda alteração da arquitetura da membrana tilacóide e da organização macromolecular dos complexos fotossintéticos, sem afetar significativamente o tamanho da antena dos fotossistemas. O diâmetro de grana e o número de camadas de membrana por

grana são diminuídos na luz, enquanto o número de grana por cloroplasto é aumentado, criando uma maior área de contato entre o grana e as lamelas do estroma. Essas mudanças promovem um LEF mais eficiente, por meio da diminuição da distância de difusão para os portadores de elétrons móveis plastoquinona e plastocianina, enquanto um grana maior aumenta a partição dos pools de plastoquinona granal e estromal, aumentando a eficiência da CEF e, conseqüentemente a fotoproteção por meio da extinção não fotoquímica (WOOD et al., 2018).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da fotossíntese dos genótipos 'Ambrosia' (Gros-Michel), 'Grand Naine' (Cavendish), 'Terrinha' e 'Red Yade' (ambas do subgrupo Terra), submetidos a déficit hídrico seguido de reidratação, comparando as respostas e estratégias adotadas pelos mesmos à exposição ao déficit hídrico, com vista a identificar diferenças quanto à tolerância ao déficit bem como quanto à velocidade de recuperação pós reidratação, por meio da avaliação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila a.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em uma casa de vegetação no Campus da UFES de Goibeiras em Vitória-ES, com controle parcial da temperatura. O sistema era acionado automaticamente sempre que a temperatura no interior da casa de vegetação ultrapassava a temperatura definida no módulo de controle da temperatura máxima e permanecia em funcionamento até que a temperatura atingisse um valor menor ou igual à temperatura controle.

Foram utilizadas mudas produzidas a partir de rizomas inteiros e/ou fracionados, no caso de “Grand Naine” e ‘Gros-Michel’, e de chifres e/ou chifrinhos no caso de “Terrinha” e “Red Yade”, os quais foram acondicionados em sacolas plásticas medindo 30 x 25 cm, preenchidas com aproximadamente 12 litros de substrato, e colocados para brotar em viveiro com sombreamento parcial. Após terem atingido um tamanho e número de folhas adequados, as mudas foram colocadas na casa de vegetação para adaptação, dispostas em bancadas com altura de 90 cm espaçamento de 70 x 70 cm (Figura1), tendo sido realizados quatro experimentos em condições e períodos distintos, dois com mudas de ‘Grand Naine’ e Gros-Michel e dois com mudas de ‘Terrinha’ e ‘Red Yade’.

### 2.1 SUBGRUPO CAVENDISH E GROS-MICHEL

O experimento foi realizado no período de 9 a 23 de dezembro de 2019, tendo sido utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC) com cinco repetições e três plantas por parcela num esquema fatorial com dois genótipos (‘Ambrosia’ e ‘Grand Naine’), nas condições com e sem déficit hídrico (supressão total da irrigação), e diferentes dias de avaliação ao longo do período de exposição ao déficit (com 1, 3, 4, 7 e 9 dias) e pós rehidratação das plantas (com 1, 2 e 5 dias), tendo sido avaliadas as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila em todos os dias de avaliação.

A temperatura definida para o acionamento do sistema de controle da temperatura máxima da casa de vegetação foi de 28°C, e a reidratação das plantas se deu imediatamente após a realização da última avaliação sob déficit hídrico, por meio da saturação manual do substrato, seguida da reativação da irrigação.

## 2.2 SUBGRUPO TERRA

Foram realizados dois experimentos, um com controle da temperatura máxima da casa de vegetação ajustado para 28 °C, no período de 03 de maio a 11 de junho de 2020, com dezenove dias de exposição ao déficit hídrico, e outro com controle da temperatura máxima ajustado para 35 °C, no período de 24 de julho a 31 de agosto de 2020, com 20 dias de exposição ao déficit hídrico.

Em ambos os experimentos foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com cinco repetições e duas plantas por parcela, num esquema fatorial (2x2x10 ou 11) com duas cultivares ('Terrinha' e 'Red Yade'), nas condições com e sem déficit hídrico, com dez diferentes dias de avaliação, aos 0, 3, 9, 12, 16 e 19 dias de exposição ao déficit hídrico e aos 4, 7, 11 e 20 dias pós reidratação das plantas, no experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 28 °C, e onze diferentes dias de avaliação, aos 0, 3, 5, 10, 15 e 18 dias de exposição ao déficit hídrico, e aos 3, 6, 13, 15 e 20 dias pós reidratação das plantas, no experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 35 °C.

No experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 28 °C, foi avaliada a fluorescência da clorofila a nos dez dias em que as plantas foram avaliadas ao longo do experimento, e de trocas gasosas na avaliação realizada no terceiro dia de exposição ao déficit hídrico. Já no experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 35 °C foi a avaliação da fluorescência da clorofila a nos onze dias em que as plantas foram avaliadas ao longo do experimento, bem como também foram avaliadas as trocas gasosas aos três e cinco dias de exposição ao déficit hídrico, a fim de se monitorar o declínio da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, e também aos três dias pós reidratação das plantas a fim de averiguar a retomada da fixação de CO<sub>2</sub>.

Antes da exposição ao déficit hídrico, no experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 35 °C, as plantas foram previamente submetidas a este novo ajuste de controle da temperatura máxima por cinco 5 dias para adaptação. Sendo que tanto no experimento com controle de temperatura máxima ajustado em 28 °C como em 35 °C, a reidratação das plantas se deu imediatamente após a realização da última avaliação sob déficit hídrico, por meio da saturação manual do substrato, seguida da reativação do sistema de irrigação.

## 2.3 IRRIGAÇÃO

As plantas na condição sem déficit hídrico foram irrigadas ao longo de todo o período de duração dos experimentos por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com 1 gotejador por planta (Figura 1). Os gotejadores eram autocompensantes e proporcionavam vazão individual de 2 litros por hora, sendo que o acionamento do sistema se dava de forma automática, conforme metodologia desenvolvida por Medici et al (2010), sempre que a tensão da água no substrato da planta de referência de cada genótipo, a 15 cm de profundidade, ultrapassava 3 kPa, e desligava sempre que a tensão voltasse a ficar abaixo desse valor.

Após o fim do período de exposição ao déficit hídrico de cada experimento, as plantas que estavam submetidas à condição de déficit hídrico (com supressão total da irrigação) eram reidratadas por meio da saturação manual dos substratos e em seguida passavam a ser irrigadas da mesma forma que as plantas que não estavam submetidas à condição de déficit hídrico.

## 2.4 FOTOSÍNTESE

As avaliações da emissão de fluorescência da clorofila a e das trocas gasosas foram feitas no terço médio da segunda folha jovem completamente expandida (Figura 1), entre às 10:00 e 13:00 horas da manhã, em diferentes dias ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação das plantas.

A emissão da fluorescência da clorofila foi medida em todas as plantas das parcelas em ambos os lados (esquerdo e direito) do limbo foliar, utilizando-se um fluorímetro portátil modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments, King's Lynn, Norfolk, UK), após um período de pelo menos 30 minutos de adaptação ao escuro, mediante a aplicação de um pulso de luz saturante de  $3.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para a indução da fluorescência transiente OJIP. A intensidade de fluorescência emitida pelas clorofilas foi medida entre 10  $\mu\text{s}$  e 1 s, após a aplicação do pulso de luz saturante, com o ganho do fluor\u00f4metro tendo sido ajustado para 0,7 a fim de evitar que o limite de detec\u00e7\u00e3o do aparelho fosse excedido, evitando-se a perda de dados. Os par\u00e2metros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER e STRASSER, 1995, TSMILLI-MICHAEL e STRASSER, 2008) foram baixados do PEA e exportados no formato "csv" a partir do software PEA Plus (vers\u00e3o 1.13).

Dentre os diversos parâmetros advindos do Teste JIP, foram utilizados os relacionados aos fluxos de energia, rendimentos quânticos e ao número de reduções da quinona A, descritos na Tabela 1, pelo fato dos mesmos estarem diretamente relacionados aos fluxos de entrada e saída de energia entre os diversos compartimentos da cadeia de transporte de elétrons do fotossistema II (PSII) para o fotossistema I (PSI), e nas relações entre estes fluxos (Figura 2).

As trocas gasosas foram avaliadas utilizando-se um analisador portátil de CO<sub>2</sub> a infra-vermelho, modelo IRGA – Lcpro ADC, com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo de 1.300  $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e concentração de CO<sub>2</sub> ambiente, sendo o ar de referência coletado na ante sala da casa de vegetação para evitar as oscilações ocasionadas pela circulação e renovação forçada do ar, dentro da casa de vegetação, pelo sistema de controle da temperatura máxima. Tendo sido utilizadas nas análises estatísticas a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática (gs,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a taxa transpiratória (E,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a diferença entre a temperatura da superfície foliar (Tleaf, °C) e a temperatura do ar dentro da câmara do IRGA (Tch, °C), representada como ( $\Delta T$ , °C).



Figura 1: Detalhes da produção das mudas, da disposição do experimento na casa de vegetação, da avaliação da fluorescência da clorofila e das trocas gasosas, e do sistema de irrigação por gotejamento em plantas das cvs 'Grand Naine' e Ambrósia.

Tabela 1: Relação e descrição dos parâmetros de fluorescência da clorofila a, advindos do Teste JIP, utilizados na avaliação da fotossíntese dos genótipos. (baseado em TSIMILLI-MICHAEL 2019)

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
ABS/CSm	Fluxo de absorção excitando moléculas de clorofila a (Chl a) da antena do PSII por seção transversal excitada, aproximado por $F_m$
TRo/CSm	Fluxo de energia capturada levando à redução de quinona a oxidada ( $Q_A$ ), por seção transversal excitada, aproximado por $F_m$
ETo/CSm	Fluxo de transporte de elétrons para além da quinona a reduzida ( $Q_A^-$ ), por seção transversal excitada, aproximado por $F_m$
REo/CSm	fluxo de elétrons, por seção transversal excitada, aproximado por $F_m$ , reduzindo os receptores finais de elétrons no lado do receptor do PSI
$\phi P_o$	$(TR_o/RC)/(ABS/RC) = TR_o/ABS = (F_m - F_o)/F_m = F_v/F_m$ ; rendimento quântico máximo da fotoquímica primária
$\phi E_o$	$(ETo/RC)/(ABS/RC) = ETo/ABS$ ; rendimento quântico do transporte de elétrons
$\phi R_o$	$(REo/RC)/(ABS/RC) = REo/ABS$ ; rendimento quântico da redução dos receptores finais de elétrons no lado do receptor do PSI
$\Psi E_o$	$(ETo/RC)/(TRo/RC) = ETo/TRo$ ; eficiência com a qual um elétron se move para além da $Q_A^-$
$\delta R_o$	$(REo/RC)/(ETo/RC) = REo/ETo$ ; eficiência com a qual um elétron do intersistema é transferido para reduzir os receptores de elétrons finais no lado do receptor PSI
N	Número de rotatividade. Expressa quantas vezes a quinona A ( $Q_A$ ) é reduzida no intervalo de tempo de 0 a $t(F_m)$
$F_o$	Fluorescência mínima, emitida quando todos os RC do PSII estão abertos, em $t(20\mu s)$
$F_m$	Fluorescência máxima, emitida quando todos os RC do PSII estão fechados, em $t(300ms)$
$F_v$	Máxima fluorescência variável ( $F_m - F_o$ )

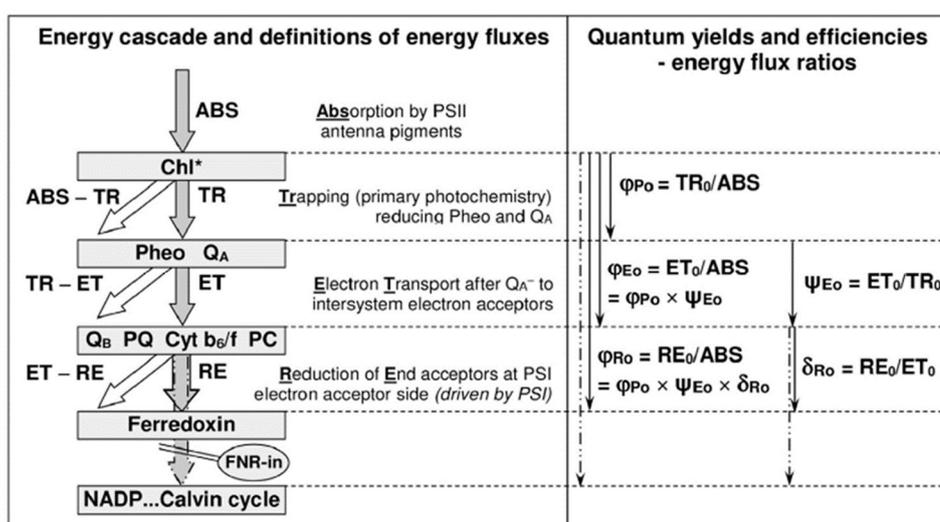


Figura 2: Esquema mostrando os fluxos de energia entre componentes da cadeia de transporte de elétrons e as relações entre os fluxos (TSIMILLI-MICHAEL, 2019).

## 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram processadas com o programa R (R Core Team, 2020), através da sua interface com o programa Rbio (Bhering, 2017).

Foi utilizada a técnica de análise multivariada das Variáveis Canônicas (VC), a qual utiliza como dados de entrada os valores das repetições dos tratamentos, ou seja, o valor correspondente a cada bloco no caso do delineamento em blocos casualizados, para conhecer a dispersão dos tratamentos e a associação entre os tratamentos e as variáveis utilizadas na análise, bem como permitir a identificação das variáveis que tiveram maior contribuição na dispersão dos tratamentos. Foi aplicada a técnica multivariada de agrupamento hierárquico com base na Média-UPGMA, utilizando-se a matriz de distâncias de Mahalanobis, a qual utiliza como dados de entrada os valores das repetições dos tratamentos, previamente padronizados, considerando desta forma a variabilidade tanto dentro como entre os tratamentos. Tendo sido utilizado o critério de Mojema (1997) para sugerir o ponto de corte para separação dos grupos no dendrograma gerado, utilizando-se um fator “k” de 1,25, sendo também calculado o coeficiente de correlação cofenética, cujo valor indica a qualidade do agrupamento, ou seja, quanto maior for o seu valor, menor a será a distorção provocada pelo agrupamento.

Também foi realizada a ANOVA e teste de média com os parâmetros com maior peso nas análises de variáveis canônicas e que apresentassem distribuição normal, bem como análises de correlação de Pearson para avaliar a relação entre os parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 SUBGRUPO CAVENDISH E GROS-MICHEL

Os parâmetros ambientais médios mais relevantes para o estudo, fora da casa de vegetação, ao longo dos quatorze dias de duração do experimento teve temperatura média de 27,3 °C, máxima de 33,0°C e mínima de 23,2 °C, com umidade relativa de 70,8% e radiação solar máxima de 3.584,3 KJ.m<sup>2</sup>, evidenciando condições de temperatura e radiação solar elevadas em função da época da realização do experimento.

O aspecto e condições gerais das plantas de 'Ambrosia' e 'Grande Naine' no 9º e último dia de exposição ao déficit são mostradas na Figura 3. Não houve dobramento das folhas mais velhas, nem senescência foliar e/ou queima das folhas das plantas submetidas ao déficit. Além disso, de uma maneira geral houve a interrupção total da emissão e/ou expansão da vela (nova folha não aberta) a partir do terceiro dia de exposição ao déficit hídrico, com retomada da sua emissão/expansão percebida a partir do segundo dia pós reidratação das plantas, enquanto as plantas não expostas ao déficit emitiram aproximadamente uma nova folha completamente expandida ao longo do período de nove dias de exposição ao déficit hídrico.



Figura 3: Aspecto das plantas de Grande Naine (A1, A2) e 'Ambrosia' (B1, B2), na condição sem (A1, B1) e com déficit hídrico (A2, B2), ao final do período de 9 dias de exposição ao déficit.

A dinâmica das trocas gasosas de ambos os genótipos ao longo do período de exposição ao déficit hídrico e pós reidratação das plantas, nas condições com e sem déficit é apresentada na Figura 4 por meio da taxa de transpiração (E), da diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta T$ ) e da taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A).

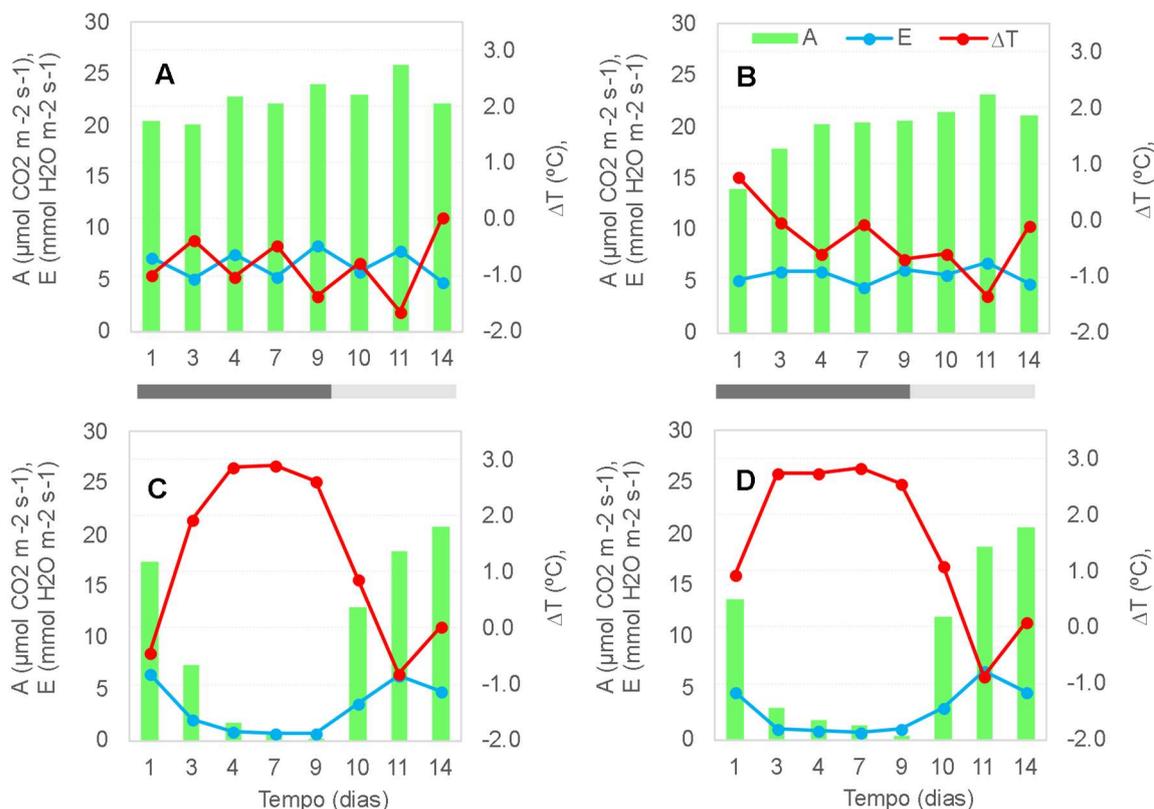


Figura 4: Taxa transpiratória (E, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), diferença entre a temperatura da folha e a temperatura do ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta T$ , °C) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Ambrosia' - controle), B ('Grand Naine' - controle), C ('Ambrosia' - déficit hídrico), D ('Grand Naine' - déficit hídrico).

Na avaliação realizada no primeiro dia de exposição ao déficit hídrico, 24 horas após a supressão da irrigação do substrato, não houve diferença significativa entre condutância estomática (gs), transpiração e temperatura foliar das plantas expostas ao déficit e as plantas não expostas ao déficit (controle), apenas uma leve diminuição da taxa de fixação de CO<sub>2</sub>. Já na avaliação realizada no terceiro de exposição ao déficit a condutância diminuiu de forma significativa para aproximadamente 15% da média apresentados pelas plantas controle, enquanto a transpiração e fixação de CO<sub>2</sub> diminuíram para aproximadamente 27%, tendo

tendido a zero do quarto ao nono dia de exposição ao déficit, ou negativos, no caso da assimilação de CO<sub>2</sub>, tendo se recuperado parcialmente já no primeiro dia pós reidratação e diferindo mais das plantas controle no quinto dia.

A diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta t$ ) aumentou com a exposição ao déficit hídrico e foi em média 2,53 °C maior que o valor apresentado pelas plantas controle no terceiro dia de déficit, mantendo-se acima desse valor até o nono dia de exposição ao déficit, quando foi 3,62 °C maior do que a  $\Delta t$  média verificada nas plantas controle, tendo diminuído parcialmente no 1,69 °C acima do  $\Delta t$  das plantas controle, sendo negativo no segundo dia pós reidratação, mas ainda 0,66 °C acima do  $\Delta t$  controle, não diferindo mais das plantas controle quinto dia pós reidratação.

Tabela 2: Condutância estomática (gs, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a taxa transpiratória (E, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta t$ , °C) e taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A,  $\mu$ mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), nas condições com e sem déficit hídrico ao longo das avaliações realizadas durante o período de exposição ao déficit hídrico e após a reidratação das plantas.

Dia da avaliação	gs(mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		E(mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		$\Delta t$ (°C)		A	
	S/déficit	C/déficit	S/déficit	C/déficit	S/déficit	C/déficit	S/déficit	C/déficit
1D d. hídrico	0,78B <sup>1</sup>	0,68A	6,1A	5,5A	-0,11A	0,24D	17,2Da	15,4Cb
3D d. hídrico	0,63Ca	0,10Bb	5,5Ba	1,5Db	-0,19Ab	2,34Ba	18,8Ca	5,2Eb
4D d. hídrico	1,00Ba	0,05Bb	6,7Aa	0,8Db	-0,81Bb	2,81Aa	21,5Ba	1,8Fb
7D d. hídrico	0,79Ba	0,04Bb	4,9Ba	0,7Db	-0,27Ab	2,85Aa	21,2Ba	1,0Fb
9D d. hídrico	1,42Aa	0,05Bb	7,2Aa	0,8Db	-1,04Bb	2,58Ba	22,2Ba	0,2Fb
1D reidratação	1,21Aa	0,28Bb	5,7Ba	3,3Cb	-0,70Bb	0,99Ca	22,1Ba	12,4Db
2D reidratação	1,42Aa	0,81Ab	7,2A	6,4A	-1,50Cb	-0,84Ea	24,5Aa	18,4Bb
5D reidratação	0,54C	0,50A	4,8B	4,7B	-0,03A	0,06D	21,5B	20,6A
CV	49,6%		32,2%		100,11%		11,8%	
Shapiro-Wilk	p-value:0,159		p-value: 0,001		p-value: 0,0,131		p-value: 0,007	

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si com base no teste de Scott-Knott a 5%.

A análise de variáveis canônicas com os dados de trocas gasosas reteve 96% da variância experimental, mostrando alta precisão, e o mostra a associação dos tratamentos da condição sob déficit hídrico, do terceiro ao nono dia de exposição ao déficit, com o aumento de  $\Delta t$ , bem como evidencia a maior contribuição A e  $\Delta t$  na dispersão dos tratamentos, conforme observado no gráfico biplot na Figura 5.

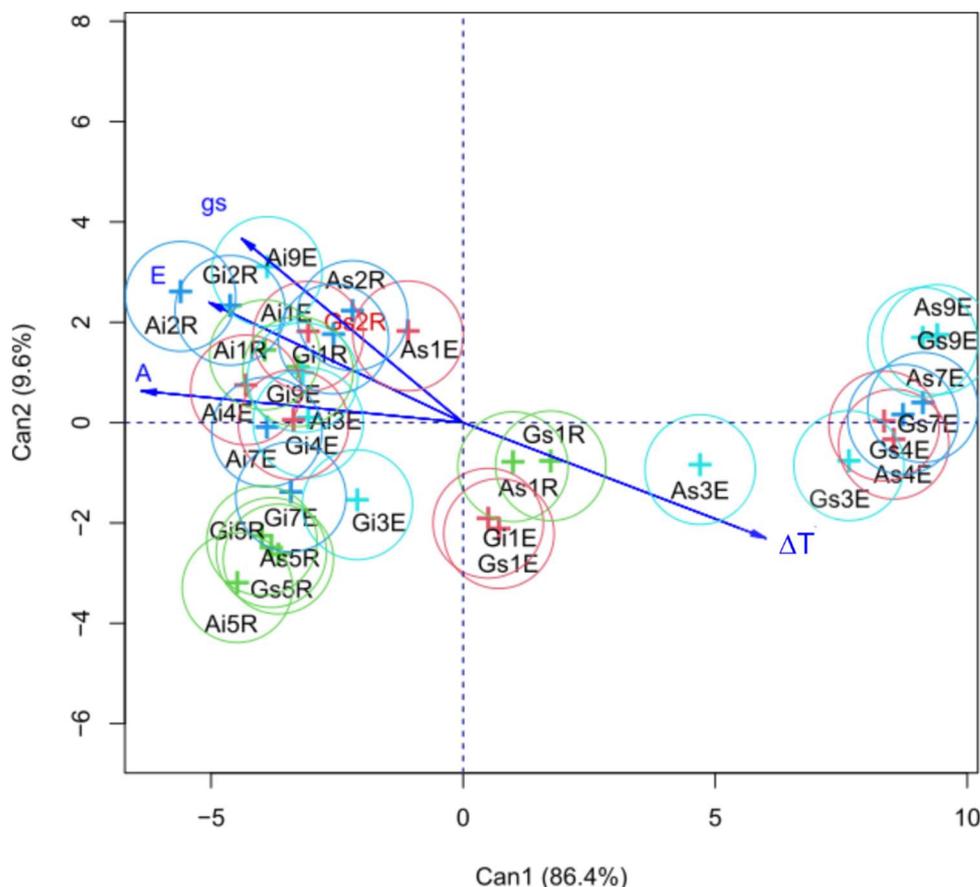


Figura 5: Variáveis canônicas com base nos dados de trocas gasosas (A - taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , E – transpiração, gs – condutância estomática e  $\Delta T$  – diferença entre a temperatura da folha e a temperatura do ar de referência) nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação das plantas. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (condição irrigada), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação).

A análise de agrupamento feita com os dados de trocas gasosas apresentou um coeficiente de correlação alto, de 0,88, demonstrando que o agrupamento resultante tem boa qualidade e não houve distorção das distâncias originais dos tratamentos, de acordo com Ferreira, (2018), e o agrupamento dos tratamentos reflete a dispersão observada nas variáveis canônicas e na ANOVA univariada (Figura 6), porém a divisão em apenas dois grupos distintos, de acordo com o ponto de corte "sugerido" no dendrograma em 40,35, não deve ser acatada, e ao invés de apenas dois grupos, os tratamentos devem ser separados em 3 grupos distintos, com o grupo mais dissimilar englobando tratamentos sob déficit hídrico do terceiro ao nono dia de exposição ao déficit (Gs3D, Gs4D, Gs7D, Gs9D, As4D, As7D e As9D), associados ao aumento e manutenção de valores elevados de  $\Delta t$ , o grupo de transição englobando os tratamentos na condição sob déficit no início da

exposição ao déficit e o no início da reidratação (Gs1D, As1D, As3D, Gs1R e As1R) e, o grupo maior e menos dissimilar, associado com a manutenção de elevados níveis de fixação de CO<sub>2</sub>, englobando os tratamentos não expostos ao déficit, bem como aqueles expostos ao déficit a partir do segundo dia pós reidratação, refletindo de maneira mais fiel o que foi observado tanto na dispersão da análise multivariada de variáveis canônicas como a ANOVA univariada e teste de médias.

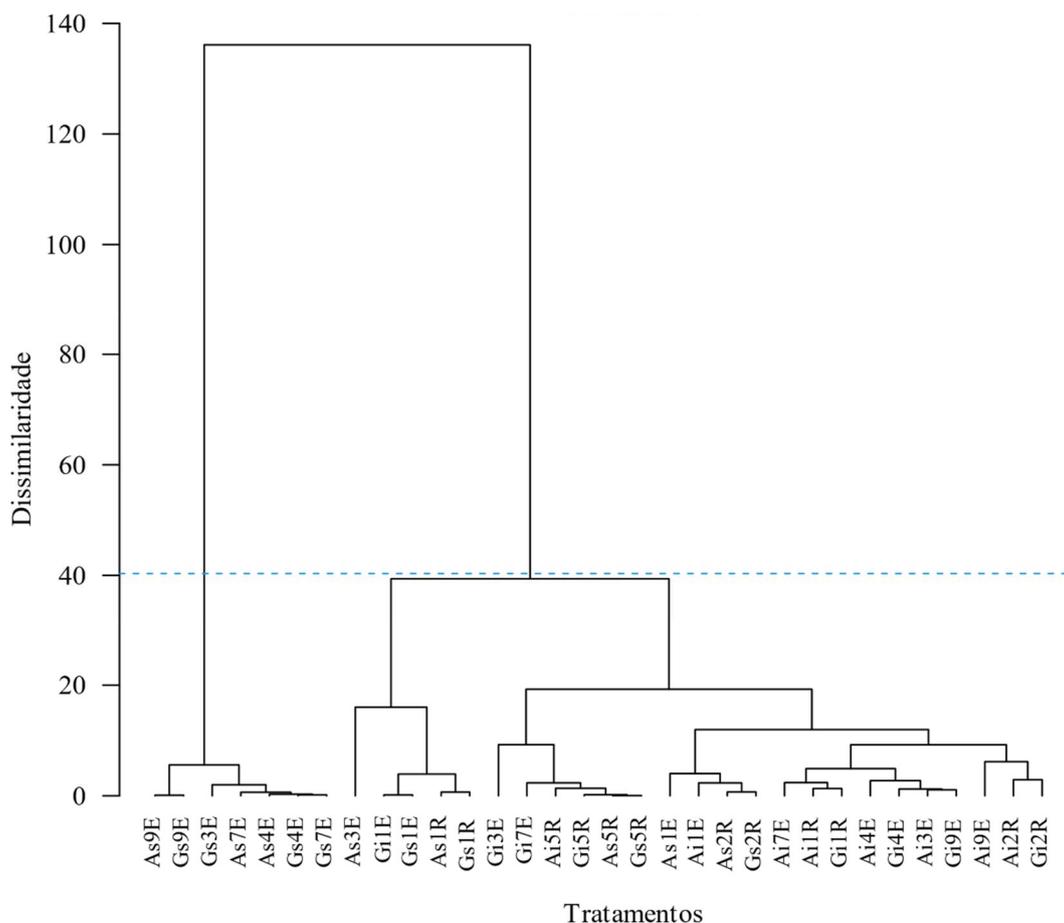


Figura 6: Dendrograma mostrando o agrupamento dos tratamentos com base nos parâmetros de trocas gasosas (A, E, gs e  $\Delta T$ ), utilizando o método da Média – UPGMA a partir da matriz de distâncias de Mahalanobis, com linha de corte sugerindo a separação dos grupos similares com  $k=1,25$  (Mojena, 1977), tendo sido feita a padronização dos dados das repetições para a realização da análise. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (controle com irrigação), s (submetido a déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação).

Na Figura 7 é apresentada a dinâmica dos parâmetros do teste JIP relacionados à dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII ((ABS-TRo)/CSm) fotossistema II, ao número de reduções de quinona A entre  $t(0)$  e  $t(F_M)$ , ao fluxo de energia da quinona A (QA) reduzida para o intersistema (ETo/CSm), e ao fluxo de energia para a redução dos aceptores

finais de elétrons do PSI (REo/CSm), versus a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, de ambos os genótipos nas condição com e sem exposição ao déficit hídrico, ao longo do período de nove dias de exposição ao déficit e os cinco dias pós reidratação das plantas.

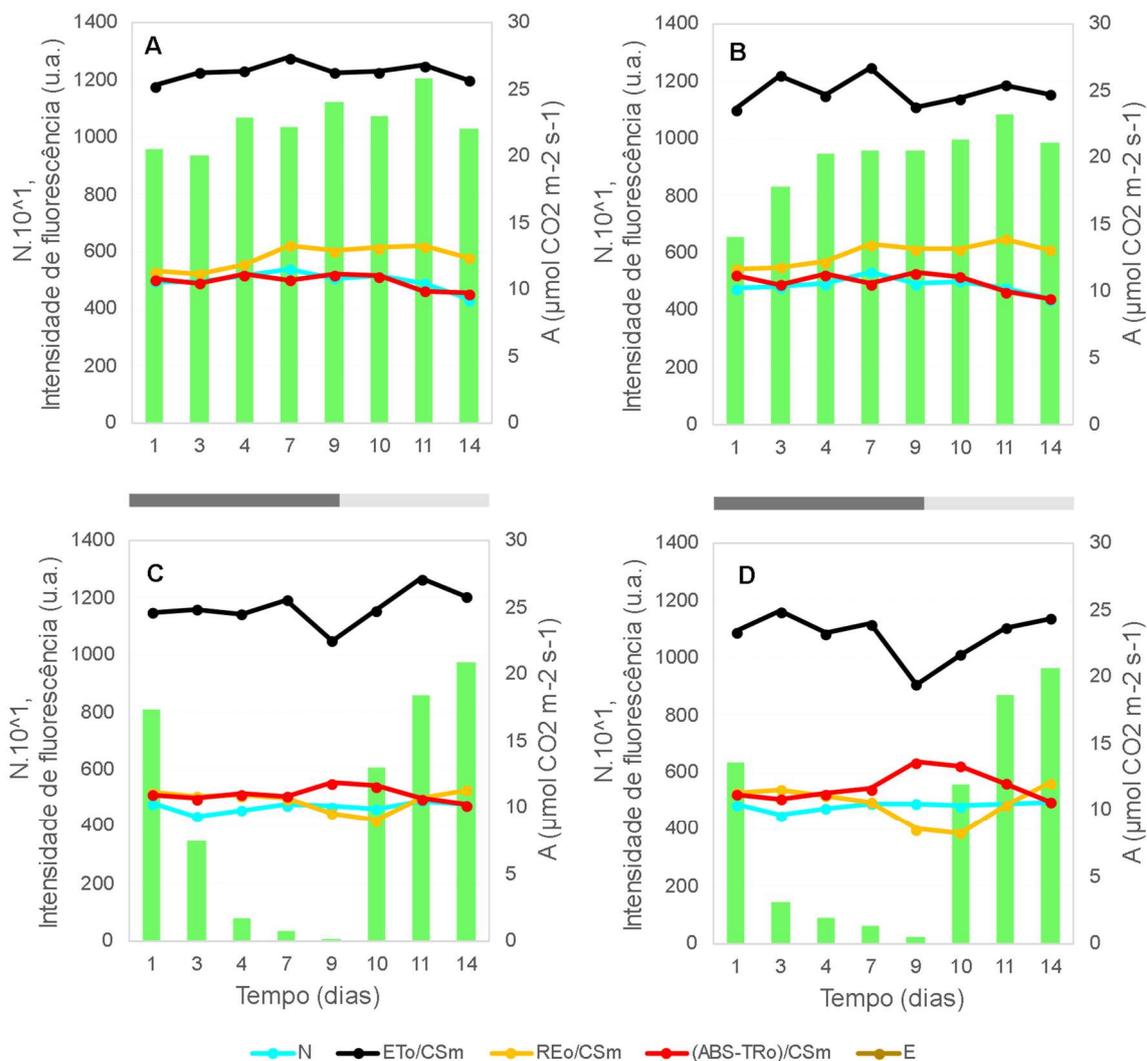


Figura 7: Médias da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), do fluxo de energia entre o intersistema e os aceptores finais de elétrons do fotossistema um (REo/CSm), do número relacionado à quantidade de reduções sofridas pela quinona A no intervalo de tempo entre t(F<sub>o</sub>) e t(F<sub>M</sub>) (N), da transferência de elétrons da quinona A reduzida para o intersistema (ETo/CSm) e da dissipação da energia na forma de fluorescência pelo fotossistema dois dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Ambrosia' - controle), B ('Grand Naine' - controle), C ('Ambrosia' - déficit hídrico), D ('Grand Naine' - déficit hídrico).

Na Figura 8 é apresentada a dinâmica do rendimento quântico do PSII ( $\phi P_o$ ), do rendimento quântico da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI, da eficiência de transferência de elétrons de QA reduzida

para o interstistema ( $\Psi Eo$ ), bem como da eficiência da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $\delta Ro$ ), versus o fluxo de da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $REo/CSm$ ), de ambos os genótipos nas condição com e sem exposição ao déficit hídrico, ao longo do período de nove dias de exposição ao déficit e os cinco dias pós reidratação das plantas.

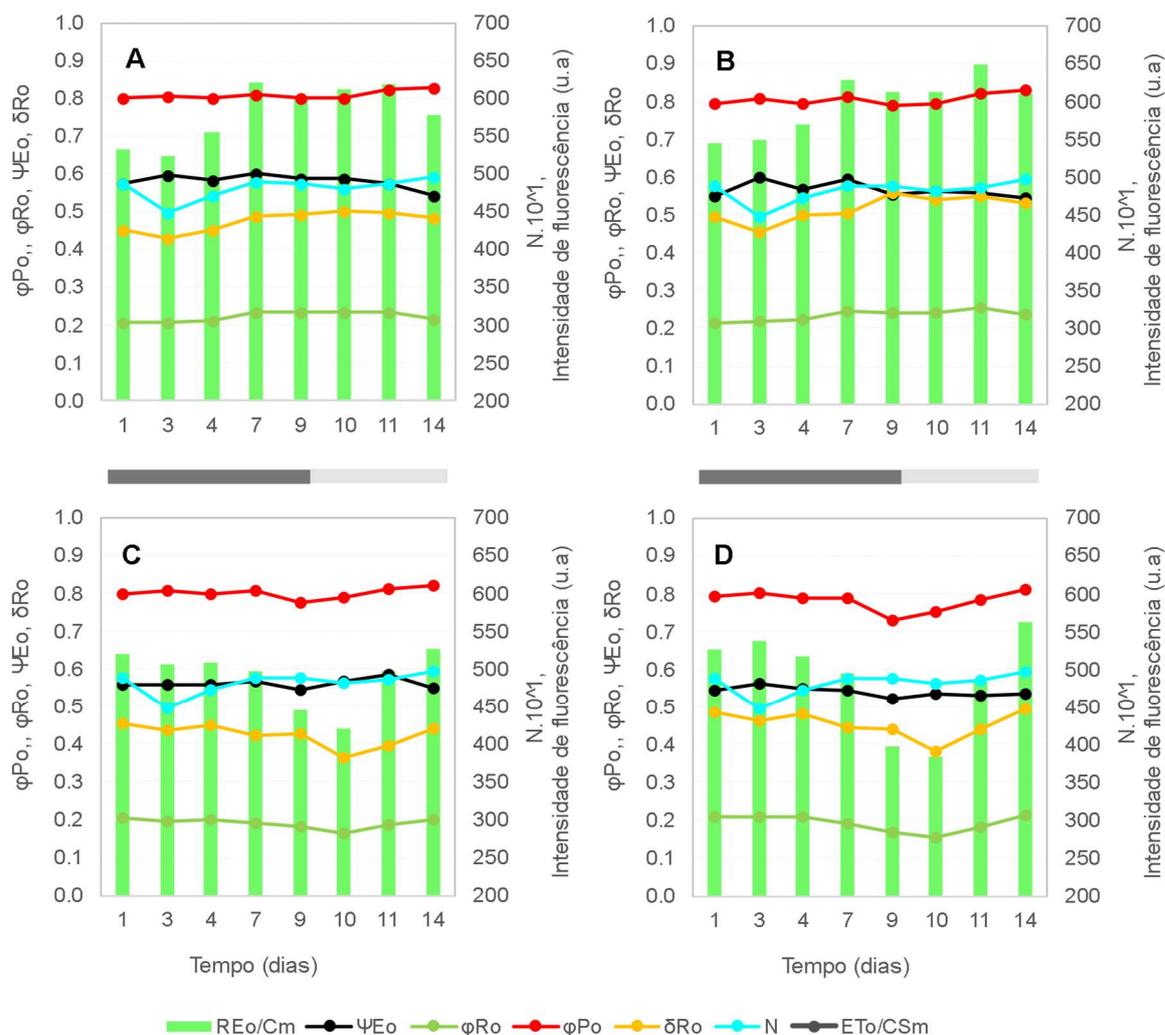


Figura 8: Médias do fluxo de energia entre o interstistema e os aceptores finais de eletrons do fotossistema um ( $REo/CSm$ ), da eficiência da transferência de elétrons para além da quinona A ( $\Psi Eo$ ), do rendimento quântico da transferência de eletrons do interstistema para os aceptores finais de elétrons do PSI ( $\phi Ro$ ), do rendimento quântico máximo da fotoquímica primaria ( $\phi Po$ ), da eficiência com a qual os elétrons são transferidos do interstistema para reduzir os aceptores finais de elétrons do PSI ( $\delta Ro$ ) e do número relacionado à quantidade de reduções sofridas pela quinona A no intervalo de tempo entre  $t(Fo)$  e  $t(FM)$  ( $N$ ) dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Ambrosia' - controle), B ('Grand Naine' - controle), C ('Ambrosia' - déficit hídrico), D ('Grand Naine' - déficit hídrico).

Conforme observado nas Figuras 7 e 8, diferentemente dos parâmetros de trocas gasosas cuja taxa de fotossíntese líquida (A) diminuiu de forma acentuadamente a partir do 3º dia de exposição ao déficit hídrico, os parâmetros de fluorescência da clorofila a relacionados aos fluxos de energia, rendimentos e eficiências mantiveram-se estáveis até o sétimo dia de exposição ao déficit hídrico. Já no nono dia de exposição ao déficit ocorre uma alteração nos padrões de dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII (NPQ), em decorrência da diminuição do fluxo de captura de energia pelo centro de reação do PSII (TRo/CSm), resultando em um aumento de significativo de ((ABS-TRo)/CSm) e numa diminuição do rendimento quântico do PSII ( $\phi Po$ ), em ambos os genótipos, porém de forma mais evidenciada em 'Grand Naine', com  $\phi Po$  diminuindo de 0,79, no dia sete, para 0,73 no nono dia de déficit, em 'Ambrosia', e de 0,80 para 0,77 em 'Ambrosia', a qual se recuperou já no segundo dia pós reidratação, enquanto 'Grande Naine' se recuperou completamente somente no quinto dia pós reidratação (Tabela 3).

Tabela 3: Fluxo de absorção de energia pelo complexo antena do PSII (ABS/CSm), fluxo de captura de energia pelo centro de reação do PSII (TRo/CSm) e fluxo de dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII ((ABS-TRo)/CSm). ETo/CSm, REo/CSm) ao longo das avaliações realizadas no período de exposição ao déficit hídrico e pós reidratação das plantas.

Dia da avaliação	ABS/CSm		TRo/CSm		(ABS-TRo)/CSm			
					'Ambrosia'		'Grand Naine'	
	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit
1D d. hídrico	2541B <sup>1</sup>	2539C	2028B	2022C	503A	510B	521A	523C
3D d. hídrico	2533B	2574B	2044B	2073B	489A	498B	488B	505C
4D d. hídrico	2589Aa	2533Cb	2067Ba	2014Cb	519A	513B	526A	525C
7D d. hídrico	2609A	2600B	2113A	2078B	501Ab	505Bb	491Bb	540Ba
9D d. hídrico	2565Ba	2418Db	2041Ba	1824Eb	519Ac	553Ab	529Ac	634Aa
1D reidratação	2568B	2539C	2053Ba	1958Db	513Ac	542Ab	517Ac	620Aa
2D reidratação	2607A	2651A	2144A	2122A	462Bc	498Bb	463Cc	560Ba
5D reidratação	2610A	2643A	2164A	2158A	453Bb	475Ba	439Cb	496Ca
CV	2,23%		2,89%		4,16%			
Shapiro-Wilk	p-value : 0,600		p-value: 0,337		p-value: 0,000			

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si com base no teste de Scott-Knott a 5%.

De forma concomitante com ou aumento da dissipação não fotoquímica do PSII, nas plantas expostas ao déficit, também se observou no nono dia de exposição ao déficit uma diminuição do fluxo de transferência de elétrons de QA reduzida para o intersistema (ETo/CSm) em relação ao sétimo dia de déficit,

levando a uma diminuição da eficiência de transferência de elétrons de QA reduzida para o intersistema ( $\Psi_{Eo}$ ), bem como observou-se uma diminuição do fluxo de transferência de elétrons para os aceptores finais do PSI (REo/CSm), porém sem alterar a eficiência da transferência de elétrons para os aceptores finais do PSI ( $\delta R_o$ ). ETo/CSm é reestabelecido primeiro dia pós reidratação, enquanto REo/CSm só se reestabelece no segundo dia pós reidratação (Tabela 4).

Tabela 4: Fluxo de transferência de elétrons da quinona A (QA) reduzida para o intersistema (ETo/CSm), eficiência de transferência de elétrons de QA reduzida para o intersistema ( $\Psi_{Eo}$ ), fluxo de transferência de elétrons para os aceptores finais do PSI (REo/CSm) e eficiência de transferência de elétrons para os aceptores finais do PSI ( $\delta R_o$ ) ao longo das avaliações realizadas no período de exposição ao déficit hídrico e pós reidratação das plantas.

Dia da avaliação	ETo/CSm		$\Psi_{Eo}$		REo/CSm		$\delta R_o$	
	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit
1D d. hídrico	1139C <sup>1</sup>	1118B	0,56B	0,55A	538D	523B	0,47C	0,47A
3D d. hídrico	1222Ba	1160Ab	0,60Aa	0,56Ab	536D	522B	0,43D	0,45B
4D d. hídrico	1190Ca	1112Bb	0,57Ba	0,55Ab	561Ca	512Bb	0,47C	0,46A
7D d. hídrico	1261Aa	1154Ab	0,60Aa	0,55Ab	624Aa	496Cb	0,49Ba	0,43Bb
9D d. hídrico	1166Ca	977Cb	0,57Ba	0,53Bb	607Ba	420Db	0,52Aa	0,43Bb
1D reidratação	1183Ca	1082Bb	0,57Ba	0,55Ab	613Ba	402Db	0,52Aa	0,37Db
2D reidratação	1217B	1183A	0,57B	0,56A	633Aa	490Cb	0,52Aa	0,42Cb
5D reidratação	1175C	1170A	0,54C	0,54B	593Ba	544Ab	0,50Ba	0,47Ab
CV	3,82%		2,84%		4,42%		4,27%	
Shapiro-Wilk	p-value : 0,939		p-value: 0,765		p-value: 0,021		p-value: 0,432	

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si com base no teste de Scott-Knott a 5%.

A dispersão dos tratamentos na análise de variáveis canônicas feita apenas com os parâmetros do teste JIP relacionados com os fluxos de energia evidencia dissimilaridade dos tratamentos com ambos os genótipos aos nove dias de exposição ao déficit (Gs9E, As9E) e no primeiro dia pós reidratação das plantas (Gs1R e As1R) em relação aos demais tratamentos, de forma mais evidenciada em 'Grand Naine', bem como mostra a associação dos mesmos com o aumento da dissipação não fotoquímica da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo complexo antena do PSII, e a diminuição do fluxo de transferência de elétrons para os aceptores finais de elétrons do PSI, os quais apresentaram maior peso na dispersão dos tratamentos (Figura 9).

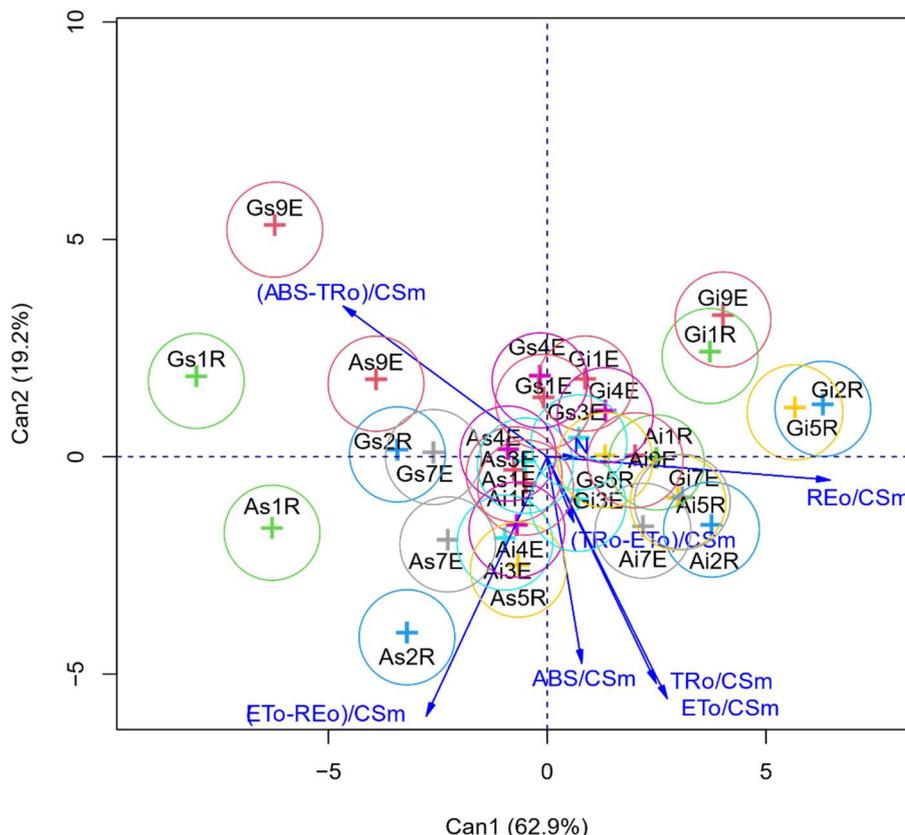


Figura 9: Variáveis canônicas com base nos dados do teste JIP relacionados aos fluxos de energia (ABS/CSm, TRo/CSm, ETo/CSm, REo/CSm) e ao número de reduções sofridas pela quinona A (N) no intervalo de tempo de entre 0 a  $t(F_M)$ , nas avaliações ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

Da forma semelhante, a análise de variáveis canônicas feita apenas com os parâmetros relacionados com os aos rendimentos quânticos ( $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$ ,  $\phi R_o$ ) e eficiências ( $\Psi E_o$ ,  $\delta R_o$ ) também evidencia a maior diminuição no rendimento quântico do PSII nas plantas do genótipo 'Grand Naine' aos nove dias de exposição ao déficit hídrico e no primeiro dia após a reidratação (Gs9E e Gs1R), do que a observada nas plantas do genótipo 'Ambrosia' na mesma condição (As9E e As1R), bem como evidencia que  $\phi R_o$ ,  $\delta R_o$  e  $\phi P_o$  foram as variáveis com maior peso na dispersão apresentada pelos tratamentos (Figura 10).

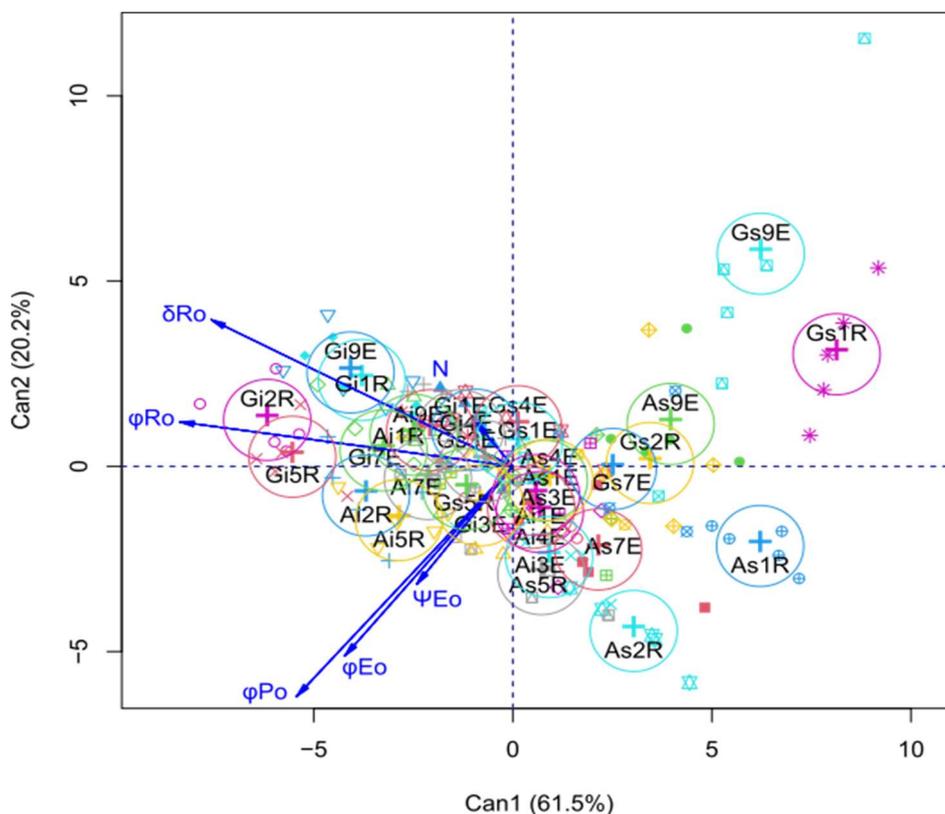


Figura 10: Variáveis canônicas com base nos dados do teste JIP relacionados aos rendimentos quânticos ( $\phi_{Po}$ ,  $\phi_{Eo}$ ,  $\phi_{Ro}$ ), eficiências ( $\Psi_{Eo}$ ,  $\delta Ro$ ) e número de reduções de  $Q_A$  (N), nas avaliações realizadas ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação das plantas. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

De forma mesma forma que análise de variáveis canônica feita apenas com os parâmetros de trocas gasosas não permite identificar nem distinguir os tratamentos em relação ao início da dissipação não fotoquímica (NPQ) decorrente da limitação/comprometimento do fluxo linear de elétrons entre os fotossistemas (LEF) pelo prolongamento do período de exposição ao déficit hídrico, a análise de variáveis canônicas feita apenas com os parâmetros de fluorescência da clorofila a também não permite identificar alterações nos padrões de trocas gasosas decorrentes da exposição ao déficit início, nem permite distinguir entre a atividade carboxilase e oxigenasse da enzima Rubisco antes do déficit hídrico promover o início da NPQ, quando fixação de  $CO_2$  atividade carboxilase certamente será nula. No entanto a análise de correlação de Pearson mostrou que o fluxo de transferência de energia do intersistema para a redução dos aceptores finais de elétrons no PSI (REo/CSm) apresentou uma correlação positiva de 0,63 com a taxa líquida de fixação de  $CO_2$  (A), considerando conjuntamente as avaliações do período de

exposição ao déficit hídrico e a recuperação das plantas pós reidratação, bem como ambos os parâmetros ( $REo/CSm$  e  $A$ ) apresentaram correlações próximas entre si com a absorção ( $ABS/CSm$ ) e captura ( $TRo/CSm$ ) de energia pelo fotossistema dois (PSII), bem como com a transferência de energia do PSII para o intersistema ( $ETo/CSm$ ), cujos valores foram de 0,26, 0,45 e 0,56, respectivamente, no caso de  $REo/CSm$ , e de 0,28, 0,39 e 0,49, respectivamente, no caso de  $A$ .

A análise de variáveis canônicas feita de forma conjunta com os parâmetros que tiveram maior peso na dispersão dos tratamentos das análises de variáveis canônicas feitas separadamente com os parâmetros de trocas gasosas, fluxos de energias e rendimentos/eficiências, ou seja ( $A$ ,  $\Delta T$ ,  $REo/CSn$ ,  $(ABS-TRo)/CSm$ ,  $(ETo-REo)/CSm$ ,  $\phi Po$ ,  $\phi Ro$  e  $\delta Ro$ ), excluindo-se  $\phi Ro$  e  $\delta Ro$  por serem altamente correlacionadas positivamente com  $REo/CSm$ , reteve 83,5% da variância experimental no acumulado das duas primeiras variáveis canônicas, tendo as variáveis  $A$ ,  $\Delta T$  e  $REo/CSm$  apresentado o maior peso na dispersão observada dos tratamentos, dentre as seis variáveis utilizadas na análise (Figura 11).

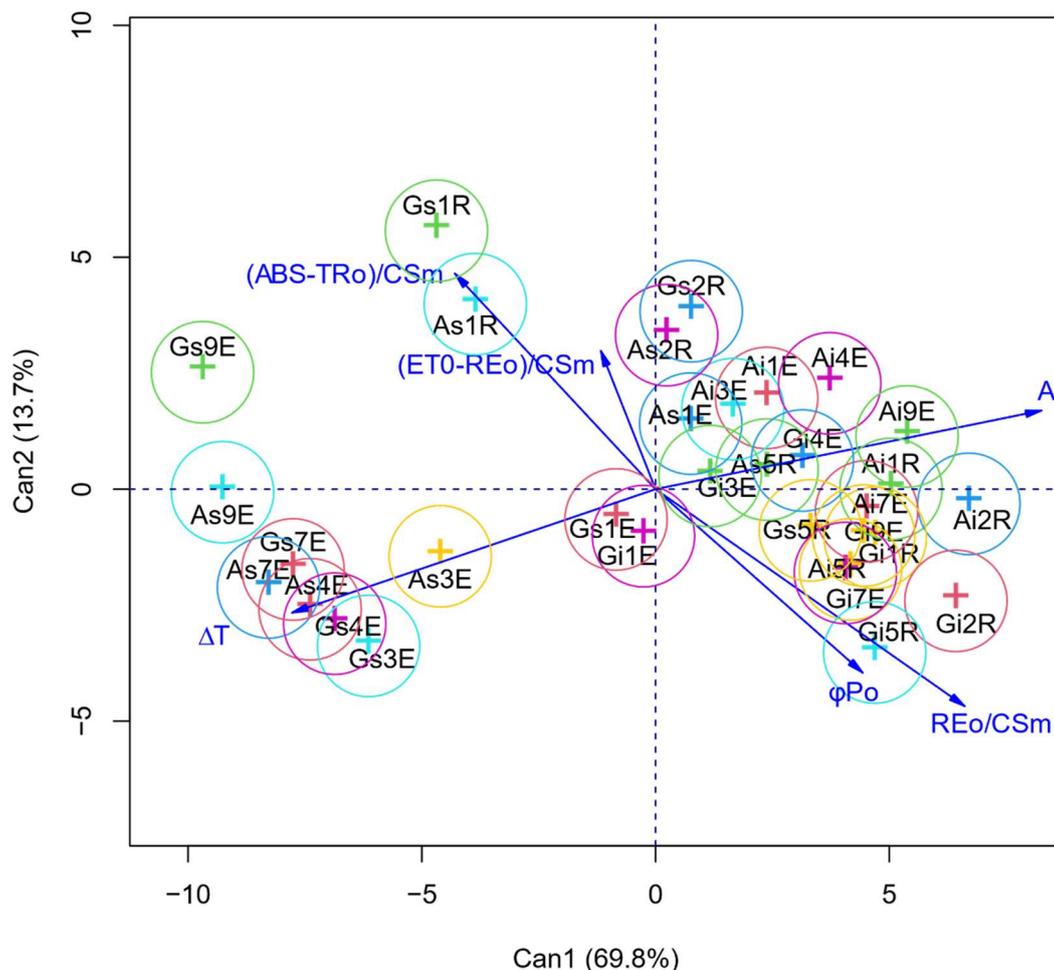


Figura 11: Variáveis canônicas com base nos parâmetros de trocas gasosa (A e  $\Delta T$ ) e de fluorescência da clorofila a [REo/CSn, (ABS-TRo)/CSm, (ETo-REo)/CSm e  $\phi Po$ ] ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

A análise conjunta dos parâmetros de trocas gasosas com os de fluorescência da clorofila a, por meio da técnica das variáveis canônicas, permitiu visualizar, analisar e discutir de forma concomitante a dinâmica das trocas e da fluorescência da clorofila a, sendo que, em termos didáticos a título de melhor compreensão, o deslocamento dos tratamentos a partir da origem do gráfico na direção estabelecida pelo eixo formado pelos vetores A e  $\Delta T$  representa a piora das trocas gasosas no sentido da origem para  $\Delta T$  e a melhora no sentido da origem para A, enquanto o deslocamento dos tratamentos na direção estabelecida pelo eixo dos vetores  $\phi Po$  e (ABS-TRo)/CSm representa a piora dos padrões de fluorescência nos deslocamentos no sentido da origem para (ABS-TRo)/CSm e a

melhora no sentido da origem para  $\phi Po$ . Portanto, a análise do gráfico evidencia que, de uma maneira geral, não ocorreram alterações relevantes no rendimento do PSII e no fluxo linear de elétrons (evidenciado por  $REo/CSm$ ) do primeiro ao sétimo dia de exposição ao déficit hídrico, nas plantas da condição sob déficit, ao passo que  $A$  tendeu a zero e  $\Delta t$  aumentou e até atingir e se manter próximo do seu nível máximo. Do sétimo ao nono dia de exposição ao déficit  $\Delta t$  se manteve próximo do seu nível máximo, porém houve um incremento da dissipação (NPQ) da energia absorvida pelo complexo antena do PSII (de forma mais acentuada em 'Grand Naine'), refletindo na diminuição do rendimento quântico do PSII, acompanhado de uma diminuição do fluxo de elétrons para os aceptores finais de PSI ( $REo/CSm$ ). No primeiro dia pós reidratação, os padrões de trocas gasosas das plantas sob déficit foram muito próximos aos do primeiro dia de exposição, porém os de fluorescência permaneciam não apresentaram melhora. No segundo dia pós reidratação os padrões de trocas gasosas apresentavam-se em níveis melhores que os do primeiro dia do experimento, porém os de fluorescência, apesar de terem se recuperado parcialmente, tendo se recuperado completamente e/ou melhorado em relação ao primeiro dia de déficit apenas no quinto dia pós reidratação.

A análise de agrupamento feita de forma conjunta com os mesmos parâmetros de trocas gasosa e fluorescência utilizados na análise anterior de variáveis canônicas, ou seja ( $A$ ,  $\Delta T$ ,  $REo/CSn$ ,  $(ABS-TRo)/CSm$ ,  $(ETo-REo)/CSm$  e  $\phi Po$ ), resultou em um agrupamento com coeficiente de correlação cofenética de 0,8 e ponto de corte sugerido no dendrograma em 52,23, separando os tratamentos em quatro grupos distintos que representam de forma fiel a dispersão dos tratamentos observada na análise de variáveis canônicas anterior (Figura 12). O grupo mais dissimilar em relação ao controle (condição não exposta ao déficit) inclui apenas o genótipo 'Grand Naine' na condição sob déficit aos nove dias de exposição ao déficit (Gs9E), e está associado ao alto  $\Delta t$  e alteração/elevação de NPQ. O segundo grupo mais dissimilar inclui os demais tratamentos sob déficit do terceiro ao nono dia de exposição ao déficit (Gs3E, Gs4E, Gs7E, As3E, As4E, As7E e As9E) e está associado ao elevado  $\Delta t$  e a não ocorrência de NPQ, enquanto o terceiro grupo dissimilar em relação ao controle, porém mais próximo, inclui ambos os genótipos na condição sob déficit hídrico no primeiro dia pós reidratação das

plantas (As1R e Gs1R), e está associado com a manutenção das alterações nos padrões de fluorescência e recuperação parcial dos parâmetros de trocas gasosas.

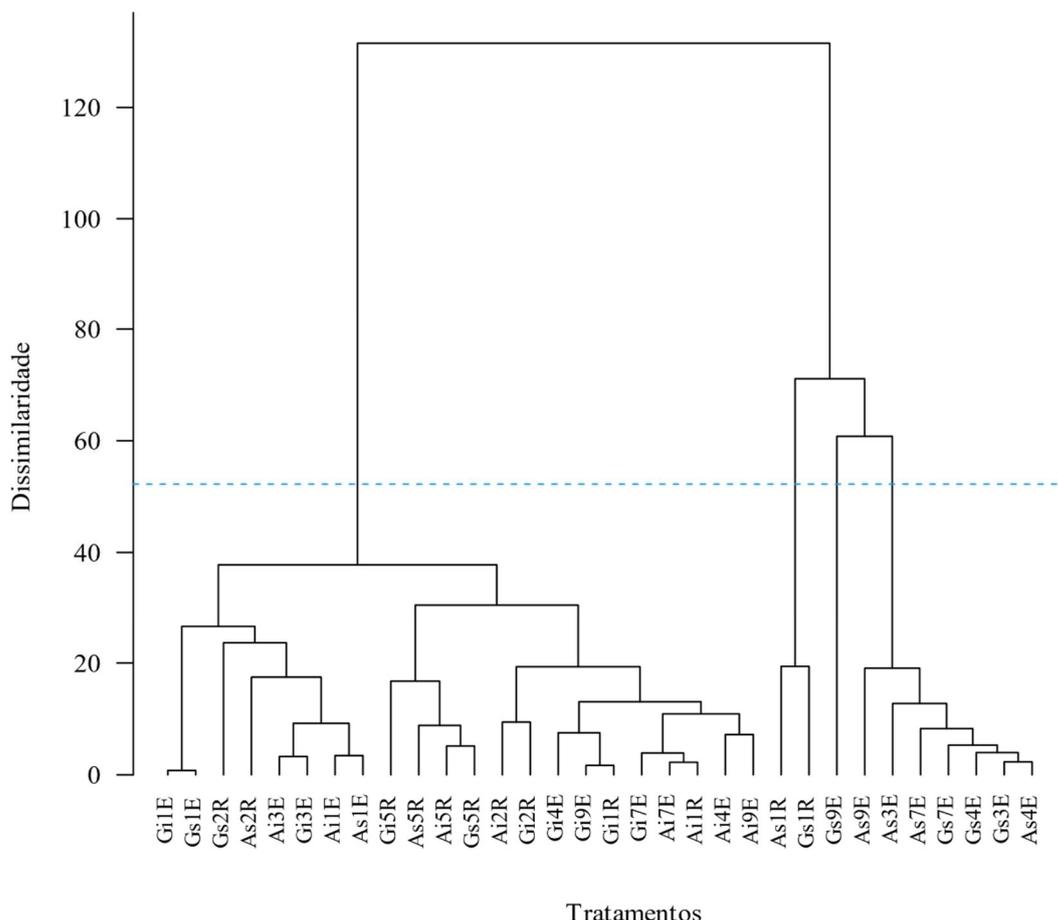


Figura 15: Dendrograma mostrando o agrupamento dos tratamentos com base nos parâmetros de trocas gasosa (A e  $\Delta T$ ) e de fluorescência da clorofila a [ $RE_o/CS_m$ , (ABS- $TR_o$ )/ $CS_m$ , (ETo- $RE_o$ )/ $CS_m$  e  $\phi P_o$ ] ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação, utilizando o método da Média – UPGMA a partir da matriz de distâncias de Mahalanobis, com linha de corte sugerindo a separação dos grupos similares com  $k=1,25$  (Mojena, 1977), tendo sido feita a padronização dos dados das repetições para a realização da análise. G ('Grand Naine'), A ('Ambrosia'), i (controle com irrigação), s (submetido a déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação).

A evapotranspiração promove a diminuição gradual do potencial hídrico da água no substrato após a supressão da irrigação, levando à limitação da condutância estomática e da transpiração das plantas sob déficit hídrico verificada no terceiro dia de exposição ao déficit. A limitação da condutância estomática limita a difusão de  $CO_2$  até as células do mesófilo foliar que por sua vez limita atividade carboxilase da Rubisco fazendo com que a fixação de  $CO_2$  tenda a zero por volta do sétimo dia de exposição ao déficit.

A não alteração do rendimento quântico do PSII ( $\phi_{Po}$ ) nem do fluxo de transporte de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do PSI (REo/CSm) das plantas sob déficit hídrico, do início do déficit hídrico até o sétimo dia de exposição ao déficit, ante ao decréscimo da taxa de fixação de CO<sub>2</sub> pela Rubisco, evidencia a manutenção dos níveis do fluxo linear de elétrons através dos fotossistemas (LFE), e se deve à atividade fotoprotetora da via da fotorrespiração, consumindo o NADPH gerado pelo PSI, através do incremento da atividade oxigenase da Rubisco, evitando a superredução do PSI e consequente formação de espécies reativas de oxigênio, bem como mantendo a formação do gradiente de prótons entre o estroma e o lúmen, necessário para a produção de ATP pela ATP-Sintase.

A ocorrência de dissipação não fotoquímica (NPQ) com consequente limitação do fluxo linear de elétrons (LFE) nas plantas sob déficit hídrico a partir do nono dia de exposição ao déficit, evidenciada pelo aumento de (ABS-TRo)/CSm, não está relacionada à fotoinibição do PSII ( $q_l$ ) pelo déficit hídrico por meio da limitação da atividade do complexo de evolução de oxigênio, haja visto o aspecto externo das plantas sem apresentar redução de área foliar por meio do dobramento da base do pecíolo das folhas da base da planta e sem presença de folhas com processo de senescência iniciado, sendo difícil a distinção visual entre plantas expostas e não expostas ao déficit e, conforme visto nas fotos apresentadas anteriormente. Mas, provavelmente tenha a ver com a limitação da atividade da enzima Rubisco em função do aumento da temperatura da folha por conta da interrupção da transpiração, uma vez que a temperatura da folha das plantas sob déficit era em 2,58°C maior que a temperatura do ar de referência captado pelo IRGA, enquanto a temperatura das folhas não expostas ao déficit era em média 1,04°C menor que a do ar de referência, em meio a condições ambientais de temperatura do ar já elevadas, com média de 27,3°C e máximas de 33°C por volta do meio dia, durante o período do experimento.

A limitação da atividade da Rubisco pela elevação da temperatura foliar, resultaria do na diminuição da transferência de elétrons do PSI para o NADP<sup>+</sup>, evidenciada pela diminuição de REo/CSm, e ocasionaria uma diminuição da taxa de oxidação da plastoquinona reduzida (PQH<sub>2</sub>) pelo citocromo b6/f, levando ao acúmulo de PQH<sub>2</sub>. O aumento do pool de PQH<sub>2</sub> levaria a uma diminuição da

transferência de elétrons da quinona A (QA) reduzida para a quinona B e desta para a plastoquinona oxidada, evidenciada pela diminuição de  $ET_o/CSm$ , ocasionando um acúmulo de QA reduzida. O acúmulo de QA reduzida limita a captura de energia pelo centro de reação do PSII, levando à ocorrência de dissipação não fotoquímica (NPQ) evidenciada pelo aumento de  $(ABS-TR_o)/CSm$ , via *quenching* ou por fotoinibição do PSII.

Os resultados de fluorescência da clorofila a demonstram de forma clara que o expressivo aumento da temperatura foliar das plantas sob déficit hídrico, refletido pelo aumento de  $\Delta t$ , a partir do terceiro dia de exposição ao déficit não tem relação com a dissipação não fotoquímica (NPQ) da radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida pelos pigmentos do complexo de coleta de luz do PSII, uma vez que as alterações nos padrões de fluorescência da clorofila a relacionados à ocorrência de NPQ, ou seja  $(ABS-TR_o)/CSm$ , só veio a ser evidenciada no nono dia de exposição das plantas ao déficit. Portanto, o aumento de  $\Delta t$ , não está relacionado à NPQ, mas sim à dissipação da energia da radiação solar de ondas curtas absorvida pelas folhas, responsável pelo fluxo transpiratório que, com a limitação da transpiração pelo déficit hídrico, ao invés de ser dissipada via calor latente por meio da evaporação da água no mesófilo foliar e transpiração do vapor resultante pelos estômatos, esta energia passa a ser dissipada via calor sensível por meio do aumento da temperatura da foliar. Uma vez que o controle estomático da transpiração, de acordo com Pieruschka et al, (2010) é influenciado pelo quantidade de energia da radiação de ondas curtas absorvida pela folha, a qual atinge um valor de temperatura que satisfaça a relação do balanço entre a energia total dividida entre calor latente (transpiração), sensível (diferença de temperatura entre a epiderme da folha e o ar) e a emissão de radiação pelas folhas na forma de ondas longas.

Em condições controladas com adequada disponibilidade hídrica, a 25°C, cerca de 73% da radiação absorvida pela folha estaria sendo dissipada via calor latente, por meio da evaporação da água no mesófilo, seguida da transpiração do vapor resultante pelos estômatos (PIERUSCHKA et al, 2010). No entanto, em condições adversas uma limitação da disponibilidade hídrica na folha em função da diminuição do potencial hídrico da água no solo, como em períodos de seca, este equilíbrio é alterado, diminuindo ou até mesmo suprimindo a dissipação da radiação

absorvida via calor latente (evaporação mais transpiração) e aumentando a dissipação via calor sensível e ondas longas, conforme observado nos resultados obtidos neste trabalho.

Também corrobora com os resultados obtidos no presente estudo o trabalho de Liu & Biondi (2020) que, estudando a transpiração em pinheiros, constataram que a umidade do solo regula a sensibilidade da transpiração às condições atmosféricas, sendo que sob condições não limitantes de umidade no solo o fluxo de transpiração é função principalmente da radiação solar incidente e do déficit de pressão de vapor, mas apenas da umidade do solo quando a disponibilidade de água diminui, aumentando com o aumento da radiação e da umidade do solo, quando a umidade do solo estava em níveis acima de 10%.

Os resultados observados no presente estudo estão de acordo os obtidos por Liu et al., (2010) para seca leve e moderada. Eles estudaram o potencial da água na folha, as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila e vários processos metabólicos associados em seis espécies de plantas, incluindo *Pyracantha fortuneana* (PF), *Rosa cymosa* (RC), *Broussonetia papyrifera* (BP), *Cinnamomum bodinieri* (CB), *Platycarya longipes* (PL ) e *Pteroceltis tatarinowii* (PT) durante três ciclos de tratamentos de seca em quatro intensidades diferentes, bem regado, seca leve, seca moderada e seca severa, cada um seguido por eventos de reidratação, concluíram que a limitação à difusão de CO<sub>2</sub> foi responsável pelos declínios fotossintéticos em tratamentos de seca leve e moderada, enquanto as limitações metabólicas dominaram a resposta à seca severa.

## 3.2 SUBGRUPO TERRA

### 3.2.1 Com controle de temperatura máxima em 28°C

Os parâmetros ambientais médios fora da casa de vegetação ao longo dos quarenta dias de duração do experimento foram relativamente amenos, com temperatura de 22,0°C, máxima de 28,0°C e mínima de 17,7°C, com umidade relativa de 80,7% e radiação solar máxima de 2392,7 KJ.m<sup>2</sup>, evidenciando condições ambientais amenas durante o período de realização do experimento.

A emissão/expansão da nova folha (vela) foi paralizada entre o terceiro e sexto dia de exposição ao déficit hídrico e o aspecto geral das plantas de ‘Terrinha’ e ‘Red Yade’ aos doze e dezenove dias de exposição ao déficit hídrico pode ser visualizado nas Figuras 16 e 17, sendo que aos nove dias de exposição ao déficit hídrico, de uma maneira geral, as plantas apresentavam-se sem ocorrência de dobramento da das folhas na base do pecíolo, nem apresentavam sinais de início de senescência das mesmas, enquanto aos doze dias de exposição ao déficit já havia sinais de início do processo de clorose das folhas da base em ‘Terrinha’, enquanto ‘Red Yade’ já apresentava algumas plantas com pelo menos uma folha mais velha completamente senescida e seca. Por fim, aos dezenove dias de exposição ao déficit as plantas apresentavam folhas com processo de clorose do limbo, seguido de necrose, das folhas da planta bem avançado, em decorrência do aumento da dissipação, via calor sensível, da energia solar de ondas curtas absorvida pelas folhas, de forma mais evidenciada em ‘Terrinha’.



Figura 16: Plantas de ‘Terrinha’ sob déficit hídrico sem apresentar redução de área foliar nem folhas em senescência aos nove dias de exposição ao déficit hídrico (A), com pontos iniciais de clorose nas folhas da base aos doze dias de exposição ao déficit (B) e com necrose parcial e/ou total do limbo das folhas da base, posterior à clorose, em função do longo período de dissipação de energia via calor sensível por meio do aumento da temperatura foliar, aos dezenove dias de exposição ao déficit hídrico (C).



Figura 17: Plantas de 'Red Yade' sob déficit hídrico apresentando folhas completamente senescidas e secas em algumas plantas aos doze dias de exposição ao déficit (A) e apresentando necrose parcial e/ou total no limbo das folhas remanescentes da base da planta devido ao longo período de dissipação de energia via calor sensível por meio do aumento da temperatura foliar, aos dezenove dias de exposição ao déficit hídrico (B).

Na avaliação realizada aos três dias de exposição ao déficit hídrico já foi constatada a limitação das trocas gasosas pelo déficit, evidenciada pela limitação da condutância estomática e da transpiração, resultando em aumento da temperatura foliar, bem como diminuição da fotossíntese líquida das plantas expostas ao déficit para aproximadamente 45% da taxa apresentada pelas plantas não expostas ao déficit (controle), em ambos os genótipos (Tabela 5).

Tabela 5: Condutância estomática (gs), Transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A) e diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta t$ ) após três dias de exposição ao déficit hídrico.

Condição	E		gs		A		$\Delta t$	
	'Red Yade'	'Terrinha'						
S/ déficit hídrico	3,18 Aa	1,90 Ab	0,20 Aa	0,08 Bb	14,5 Aa	9,2 Ab	1,1 Bb	2,1 Ba
C/ déficit hídrico	1,14 Ba	0,69 Bb	0,04 Ba	0,02 Ba	6,7 Ba	4,0 Bb	3,0 Aa	3,2 Aa
CV	34,12%		48,34%		29,83%		17,08%	
Shapiro-Wilk	0,773		0,405		0,469		0,744	

<sup>1</sup> Médias com mesma letra maiúscula nas colunas e mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Mesmo sob condições ambientais amenas como as que ocorreram durante o período do experimento, a condutância estomática do genótipo 'Terrinha' na condição não exposta ao déficit foi baixa, não diferindo da condição sob déficit hídrico, refletindo em uma menor taxa transpiratória e conseqüentemente em uma dissipação de energia via calor sensível naturalmente mais elevada em relação à dissipação via calor latente por meio da transpiração. Essa maior dissipação via calor sensível mesmo em condições favoráveis altera o balanço da dissipação da energia da radiação solar de ondas curtas absorvida pela folha entre calor sensível e calor latente, por meio de uma menor taxa de transpiração, o que por um lado pode vir a limitar o potencial produtivo da cultivar, devido à manutenção de um menor nível de fotossíntese sobre condições favoráveis, por outro pode lhe permitir economizar água, conferindo à planta uma maior tolerância à redução do potencial hídrico do solo sob condições de seca leve/moderada e/ou sob irrigação deficiente.

Na condição sob déficit hídrico 'Terrinha' e 'Red Yade' apresentaram níveis semelhantes de condutância estomática e dissipação via calor sensível, porém 'Red Yade' apresentou um  $\Delta t$  aproximadamente dois graus acima do apresentado na condição sem déficit hídrico, ao passo que 'Terrinha' foi de apenas um grau acima, evidenciando a sua aparente característica de manter uma maior dissipação de energia via calor sensível em relação à dissipação via calor latente, conforme discutido anteriormente.

Com relação aos padrões de emissão de fluorescência da clorofila a, na Figura 18 é apresentada a dinâmica dos rendimentos quantos, eficiências e de redução de QA, de ambos os genótipos, nas condições com e sem déficit hídrico, ao longo do período de exposição ao déficit e pós reidratação das plantas.

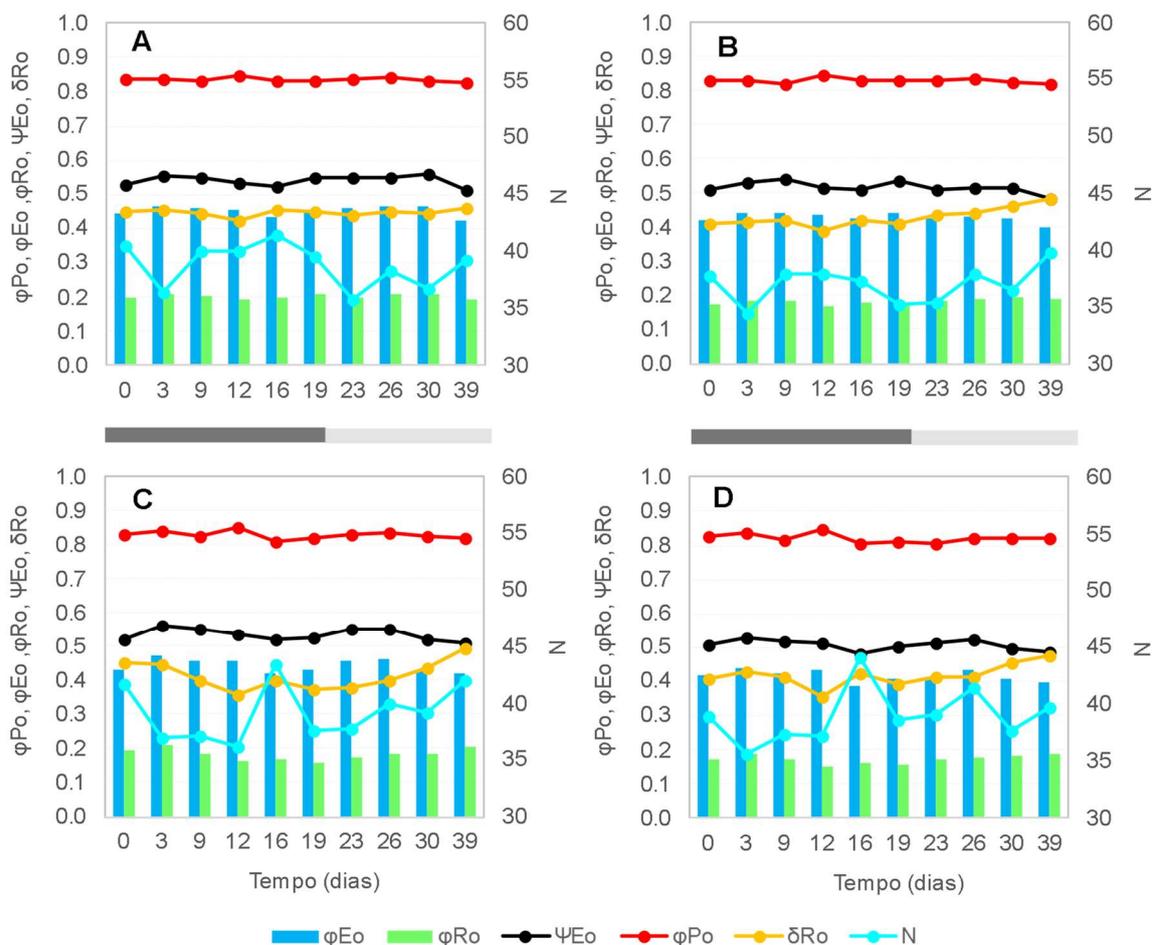


Figura 18: Médias do rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII ( $\phi_{Po}$ ), do rendimento quântico da transferência de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do PSI ( $\phi_{Ro}$ ), do rendimento quântico de transferência de elétrons para além da quinona A ( $\phi_{Eo}$ ), da eficiência com a qual os elétrons são transferidos para além da quinona A ( $\Psi_{Eo}$ ), da eficiência com a qual os elétrons são transferidos do intersistema para reduzir os aceptores finais de elétrons do PSI ( $\delta Ro$ ) e do número de reduções sofridas pela quinona A entre 0 e  $t(F_M)$  ( $N$ ), dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Red Yade' - controle), B ('Terrinha' - controle), C ('Red Yade' - déficit hídrico), D ('Terrinha' - déficit hídrico).

Conforme observado na Figura 18, chama atenção o fato de, mesmo após dezenove dias de exposição ao déficit hídrico, o rendimento quântico do PSII de ambos os genótipos na condição exposta ao déficit hídrico permanecer em níveis elevados, no mesmo patamar das plantas não expostas ao déficit hídrico, variando entre 0,81 e 0,85, enquanto na condição não exposta ao déficit a variação foi entre 0,82 a 0,85, evidenciando que não houve fotoinibição do PSII, apesar do prolongado período de exposição ao déficit hídrico. E, apesar da ANOVA indicar a existência de diferença estatística significativa entre os tratamentos em relação ao  $\phi_{Po}$  (Tabela 6), esta diferença se dá mais por conta da pequena

amplitude/diferença entre o maior e o menor valor de  $\phi Po$ , que foi de apenas 0,04, do que por alguma provável alteração fisiológica importante.

Outro aspecto que chama atenção nos resultados é o aumento do parâmetro relacionado ao número de reduções da quinoma A (N), em relação aos tratamentos não expostos ao déficit hídrico, no décimo sexto dia de exposição ao déficit hídrico, de forma mais evidenciado no genótipo 'Terrinha', de forma concomitante com o aumento da relação  $(REo/CSm)/(ETo/CSm)$ , evidenciada pelo aumento de  $\delta Ro$ .

Tabela 7: Eficiência da transferência de elétrons para os aceptores finais de elétrons do lado receptor do PSI ( $\delta Ro$ ) e rendimento quântico máximo do PSII ( $\phi Po$ ) das plantas de ambos os genótipos nas condições com e sem déficit hídrico, ao longo das avaliações realizadas durante o período de exposição ao déficit hídrico e após a reidratação das plantas.

Dia da avaliação	$\delta Ro$		$\phi Po (F_v/F_m)$	
	S/ déficit hídrico <sup>1</sup>	C/ déficit hídrico	S/ déficit hídrico	C/ déficit hídrico
0D d. hídrico	0,43 B a	0,43 B a	0,83 C a	0,83 C a
3D d. hídrico	0,43 B a	0,44 B a	0,83 C a	0,84 B a
9D d. hídrico	0,43 B a	0,41 C b	0,83 D a	0,82 D a
12D d. hídrico	0,41 C a	0,36 E b	0,85 A a	0,85 A a
16D d. hídrico	0,44 B a	0,41 C b	0,83 C a	0,81 E b
19D d. hídrico	0,43 B a	0,38 D b	0,83 C a	0,81 E b
4D reidratação	0,43 B a	0,40 C b	0,83 C a	0,82 D b
7D reidratação	0,45 A a	0,41 C b	0,84 B a	0,83 C b
11D reidratação	0,45 A a	0,45 B a	0,83 D a	0,82 D a
20D reidratação	0,47 A a	0,48 A a	0,82 D a	0,82 D a
CV	5,97%		0,93%	
Shapiro-Wilk	p-value: 0,3873747		p-value: 0,1125015	

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si com base no teste de Scott-Knott a 5%.

A análise de variáveis canônicas feita com base nos dados de fluorescência da clorofila a relacionados aos fluxos de energia ( $ABS/CSm$ ,  $TRo/CSm$ ,  $ETo/CSm$  e  $REo/CSm$ ) e redução de quinona A (N) reteve 38,7% da variância experimental na primeira componente canônica (VC1) e apenas 61,5% no acumulado de VC1 e VC2, abaixo do mínimo de 0,8% considerado adequado para a precisão/confiabilidade do resultado da análise, refletida na proximidade entre os tratamentos na dispersão observada no gráfico biplot, evidenciando pouca diferença existente entre os tratamentos. As variáveis  $REo/CSm$  e  $ETo/CSm$ , em





existente entre os tratamentos expostos e não expostos ao déficit, não sendo portanto confiável o agrupamento resultante da análise, conforme evidenciado pelo baixo coeficiente de correlação cofenética.

A manutenção do alto rendimento quântico do PSII, acima de 0,81, durante os dezenove dias de exposição ao déficit hídrico se deve à atividade fotoprotetora da via da fotorrespiração, por meio do incremento da atividade oxigenase da Rubisco, consumindo NADPH e mantendo o fluxo linear de elétrons através dos fotossistemas, associado às condições ambientais amenas, com temperatura média de 22°C e máximas por volta de 28°C, durante o período do experimento, que favoreceram a dissipação da energia, via calor sensível, da radiação solar de ondas curtas absorvidas pelas folhas, sem que o aumento de temperatura foliar resultante da dissipação térmica de energia viesse a limitar a cinética de atuação da Rubisco e, conseqüentemente inibisse o fluxo linear de elétrons e levasse a à perda de rendimento do PSII, resultando em dissipação não fotoquímica.

A elevação do valor da variável N, a qual está relacionada ao número de reduções sofridas pela QA entre  $t(0)$  e  $t(F_M)$ , nas plantas sob déficit hídrico no décimo sexto dia de exposição ao déficit, provavelmente esteja relacionada à ativação via do fluxo cíclico de elétrons (CEF), para atuar de forma complementar à fotorrespiração, uma vez que há um incremento da transferência de elétrons para o PSI, evidenciada pelo aumento de  $\delta R_o$ , bem como o CEF promove o aumento da redução do pool de plastoquinona reduzida pelo citocromo b6/f, favorecendo a redução de QA.

### **3.2.2 Com controle de temperatura máxima em 35°C**

Os parâmetros ambientais médios fora da casa de vegetação ao longo dos trinta e nove dias de duração do experimento foram relativamente amenos, assim como no primeiro experimento a 28°C, com temperatura média de 21,5°C, máxima de 26,7°C e mínima de 17,7°C, com umidade relativa de 80,7% e radiação solar máxima de 2546,4 Kj.m<sup>2</sup>, evidenciando condições ambientais amenas durante o período de realização do experimento.

Após três dias de exposição ao déficit hídrico verificou-se o início do dobramento das folhas mais velhas, na base do pecíolo, em algumas plantas do genótipo 'Terrinha', enquanto nas plantas de 'Red Yade' o início do dobramento só foi constatado no quinto dia de exposição ao déficit (Figura 21), sendo que as folhas de ambos os genótipos dobravam mesmo estando completamente verdes saudáveis e túrgidas. Também foi observado entre o terceiro e o quinto dia de exposição ao déficit, a paralisação da emissão e/ou expansão da vela (nova folha) no ápice do pseudocaule.

Aos dez dias de exposição ao déficit hídrico as primeira folhas que dobraram na base do pecíolo já se encontravam completamente senescidas e secas, enquanto as últimas folhas que dobraram encontravam-se em o processo de senescência iniciado ou por iniciar, tendo sido observada uma maior incidência de dobramento foliar, bem como um processo de senescência mais avançado nas plantas do genótipo 'Red Yade' (Figura 22) do que o observado no genótipo 'Terrinha' (Figuras 23).



Figura 21: Plantas do genótipo 'Terrinha' iniciando dobramento, na base do pecíolo, das folhas da base da planta aos três dias de exposição ao déficit hídrico (A); Plantas do genótipo 'Red Yade' iniciando o dobramento, na base do pecíolo, das folhas da base após cinco dias de exposição ao déficit hídrico (B), mesmo estando ainda completamente verdes, saudáveis e túrgidas, assim como as de 'Terrinha'.



Figura 22: Aspecto geral das plantas do genótipo 'Red Yade' aos dez dias de exposição ao déficit hídrico evidenciando o avanço do processo de dobramento seguido de senescência das folhas da base para o ápice da planta com o prolongamento da exposição ao déficit hídrico.



Figura 23: Aspecto geral das plantas do genótipo 'Terrinha' aos dez dias de exposição ao déficit hídrico, evidenciando um processo menos intenso de dobramento e senescência das folhas da base da planta com o prolongamento da exposição ao déficit hídrico.

Aos quinze dias de exposição ao déficit hídrico foi observado que o processo de dobramento das folhas na base das plantas de ambos os genótipos não persiste

com o prolongamento da exposição ao déficit hídrico, dando lugar ao processo de clorose seguido de necrose das folhas remanescentes, da base para o ápice da planta, mantendo-se a integridade do pecíolo e a disposição da folha na planta (Figura 24).



Figura 24: Aspecto geral das plantas dos genótipos 'Red Yade' (A) e 'Terrinha' (B) aos quinze dias de exposição ao déficit hídrico, evidenciando a descontinuidade do dobramentos das folhas mais velhas na base do pecíolo, sucedido pelo processo de clorose seguido de necrose (queima) das folhas remanescentes, da base para o ápice da planta, em decorrência do longo período dissipação via calor sensível, da radiação solar de ondas curtas absorvida pelas folhas, por meio do aumento da temperatura das foliar.

Aos dezoito dias de exposição ao déficit hídrico observa-se, de uma maneira geral, a persistência e agravamento do processo de clorose, seguido de necrose, das folhas da base, mantendo-se a integridade do pecíolo e a disposição do limbo foliar das mesmas, exceto nos casos de estágio avançado da necrose, que chegou a promover o dobramento da folha, mas não na camada de abscisão na base do pecíolo (Figura 25).



Figura 25: Aspecto geral das plantas das cultivares 'Red Yade' (A) e 'Terrinha' (B) aos dezoito dias de exposição ao déficit hídrico, evidenciando o avanço do processo de clorose seguido de necrose, da base para o ápice da planta em decorrência da dissipação via calor sensível da energia solar de ondas curtas absorvida pelas folhas.

A dinâmica das trocas gasosas de ambos os genótipos, no terceiro e quinto dia de exposição ao déficit hídrico e no terceiro dia após a reidratação das plantas, nas condições com e sem déficit é apresentada na Figura 26 por meio da taxa de transpiração (E), da diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta t$ ) e da taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A) e condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

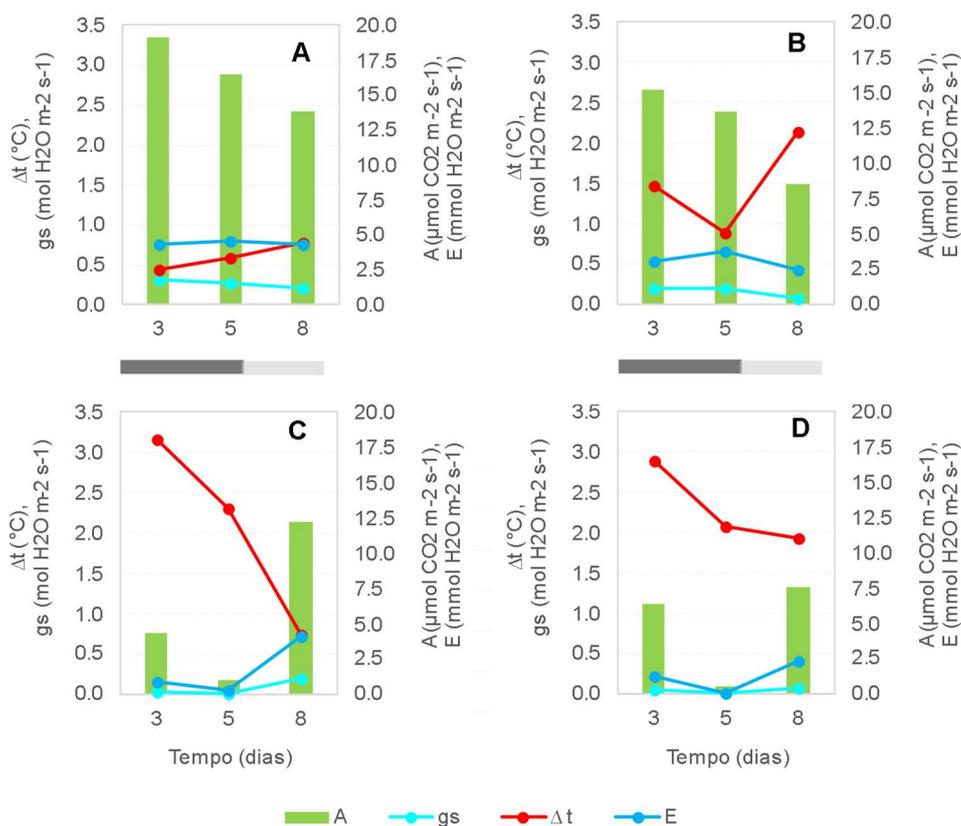


Figura 26: Condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração (E,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), diferença entre a temperatura da folha e a do ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dos genótipos nas avaliações realizadas aos três e cinco dias de exposição ao déficit hídrico (barra preta) e aos três dias depois da reidratação das plantas (barra cinza) após dezoito dias de exposição ao déficit hídrico. A ('Red Yade' - controle), B ('Terrinha' - controle), C ('Red Yade' - déficit hídrico), D ('Terrinha' - déficit hídrico).

Conforme observado na Figura 26, após três dias de exposição ao déficit hídrico a taxa de fotossíntese líquida das plantas expostas ao déficit diminuiu significativamente e foi limitada a aproximadamente 42% da taxa das plantas não expostas ao déficit, no genótipo 'Terrinha' e a 23% no genótipo 'Red Yade', tendendo a zero na avaliação realizada aos cinco dias de exposição ao déficit ambos os genótipos, tendo se recuperado completamente três dias após

reidratação das plantas, depois de dezoito dias de exposição ao déficit hídrico. Tendo 'Red Yade' apresentado uma taxa de transpiração (E) maior que 'Terrinha' em ambas as condições, bem como maior taxa de fixação de CO<sub>2</sub> (A) na condição irrigada, não diferindo de 'Terrinha' quanto a A e  $\Delta T$  na condição sob déficit, tendo 'Terrinha' apresentado maior  $\Delta T$  que 'Red Yade' na condição não exposta ao déficit, tanto aos três dias de exposição ao déficit como cinco dias após a reidratação (Tabela 8), confirmando a constatação do experimento com controle de temperatura máxima em 28°C de que 'Terrinha' apresenta um nível de dissipação de energia via calor sensível elevado, superior ao de 'Red Yade'.

Tabela 8: Taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A) e diferença de temperatura entre a folha e o ar de referência captado pelo IRGA ( $\Delta t$ ) dos genótipos aos três e cinco dias de exposição ao déficit hídrico e aos três dias depois da reidratação das plantas após dezoito dias de exposição ao déficit hídrico.

Dia da avaliação	Condição	E (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		A ( $\mu$ mol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		$\Delta t$ (°C)	
		'Red Yade'	'Terrinha'	'Red Yade'	'Terrinha'	'Red Yade'	'Terrinha'
3º dia de déficit	S/ déf. hídrico	4,32 <sup>1</sup> Aa	3,05Ab	19,2Aa	15,2Aa	0,4Cb	1,5BCa
	C/ défict hídrico	0,87Ba	1,29Ba	4,4Ca	6,4Ca	3,2Aa	2,9 Aa
5º dia de déficit	S/ déf. hídrico	4,58Aa	3,78Aa	16,5Aa	13,6Aa	0,6Ca	0,9 Da
	C/ déf. hídrico	0,32Ca	0,06Ca	1,0Da	0,5Da	2,3Ba	2,1 Ba
3º dia pós reidratação	S/ déf. hídrico	4,33Aa	2,42Ab	13,8Ba	8,6Bb	0,8Cb	2,1 Ba
	C/ déf. hídrico	4,10Aa	2,35Ab	12,2Ba	7,6Bb	0,7Cb	1,9 Ba
CV		28,72%		25,35%		31,17%	
Shapiro-Wilk		0,957		0,491		0,188	

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A análise de variáveis canônicas com os dados das três avaliações de trocas gasosas realizadas ao longo, em conjunto com em conjunto com os dados das avaliações de fluorescência relacionados aos fluxos de energia e nível de redução da quinona A, feitas nos mesmos dias e horários, reteve 78% da variância experimental no acumulado das duas primeiras componentes canônicas (Figura 27).

A dispersão dos tratamento no gráfico biplot evidencia a dissimilaridade dos tratamentos com ambos os genótipos, na condição sob déficit hídrico, aos cinco dias de exposição ao déficit (Ts5E e Rs5E) em relação aos demais, bem como a associação dos mesmos como o aumento de  $\Delta t$ , em razão do aumento da

dissipação de energia via calor sensível em função da limitação da transpiração pelo déficit hídrico, e taxa de fixação de CO<sub>2</sub> tendendo a zero, em razão comprometimento da atividade carboxilase da Rubisco pela limitação da difusão de CO<sub>2</sub>. Bem como se observa a dissimilaridade em relação às plantas não expostas ao déficit, dos tratamentos sob déficit hídrico três dias após a reidratação das plantas (Ts3R e Rs3R), e a associação dos mesmos com a manutenção da dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII (NPQ) em níveis mais elevados que o controle, provavelmente em decorrência da continuidade do processo de recuperação dos danos ocasionados ao aparato fotossintético pelo estresse associado aos dezoito dias de exposição ao déficit hídrico, dos parâmetros de trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$ ,  $\Delta t$  e  $A$ ) já terem se reestabelecido e não diferirem mais em relação às plantas que não foram expostas ao déficit, três dias após a reidratação, conforme observado na ANOVA apresentada na Tabela 8.

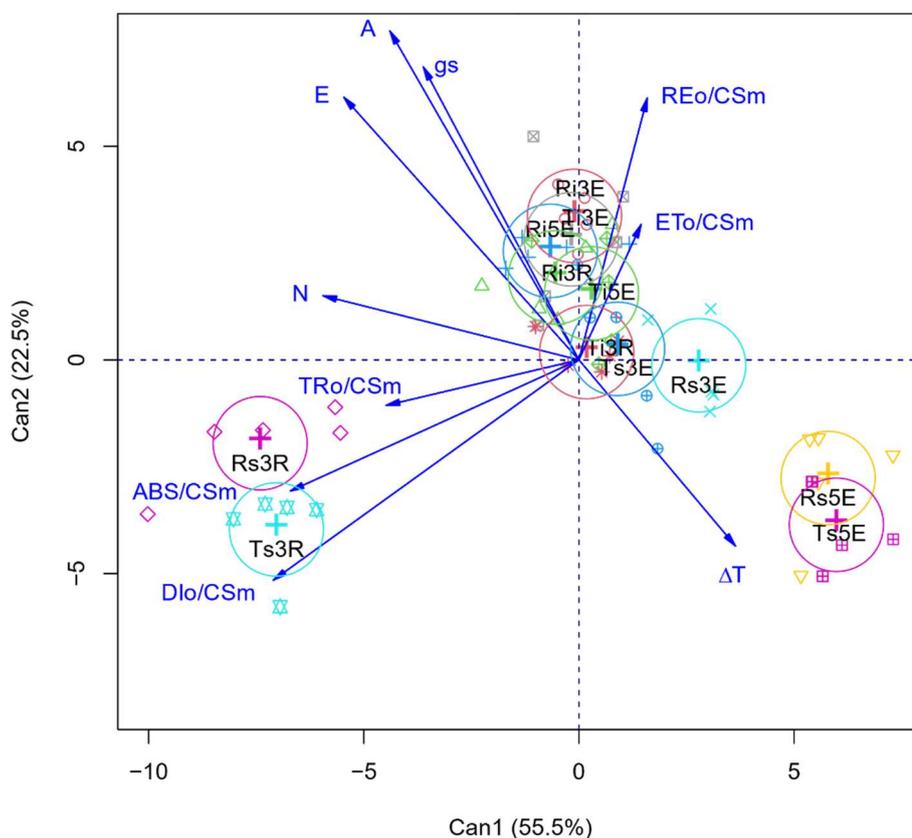


Figura 27: Variáveis canônicas com base nos dados de taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), diferença de temperatura entre a folha e o ar captado pelo IRGA, e também do teste JIP relacionados aos fluxos de energia (ABS/CSm, TRo/CSm, ETo/CSm e REo/CSm) e número de reduções de  $Q_A$  ( $N$ ), com base nas avaliações dos genótipos aos três e cinco dias de exposição ao déficit hídrico e aos três dias depois da reidratação das plantas após dezoito dias de exposição ao déficit hídrico. R ('Red Yade'), T ('Terrinha'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

Na Figura 28 é apresentada a dinâmica dos parâmetros do teste JIP relacionados à dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII ((ABS-TRo)/CSm), ao número de reduções de quinona A entre  $t(0)$  e  $t(F_M)$ , ao fluxo de energia da quinona A reduzida para o intersistema (ETo/CSm) e ao fluxo de energia para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI (REo/CSm), do conjunto das onze avaliações de fluorescência da clorofila a realizadas ao longo do período de exposição ao déficit e pós reidratação das plantas.

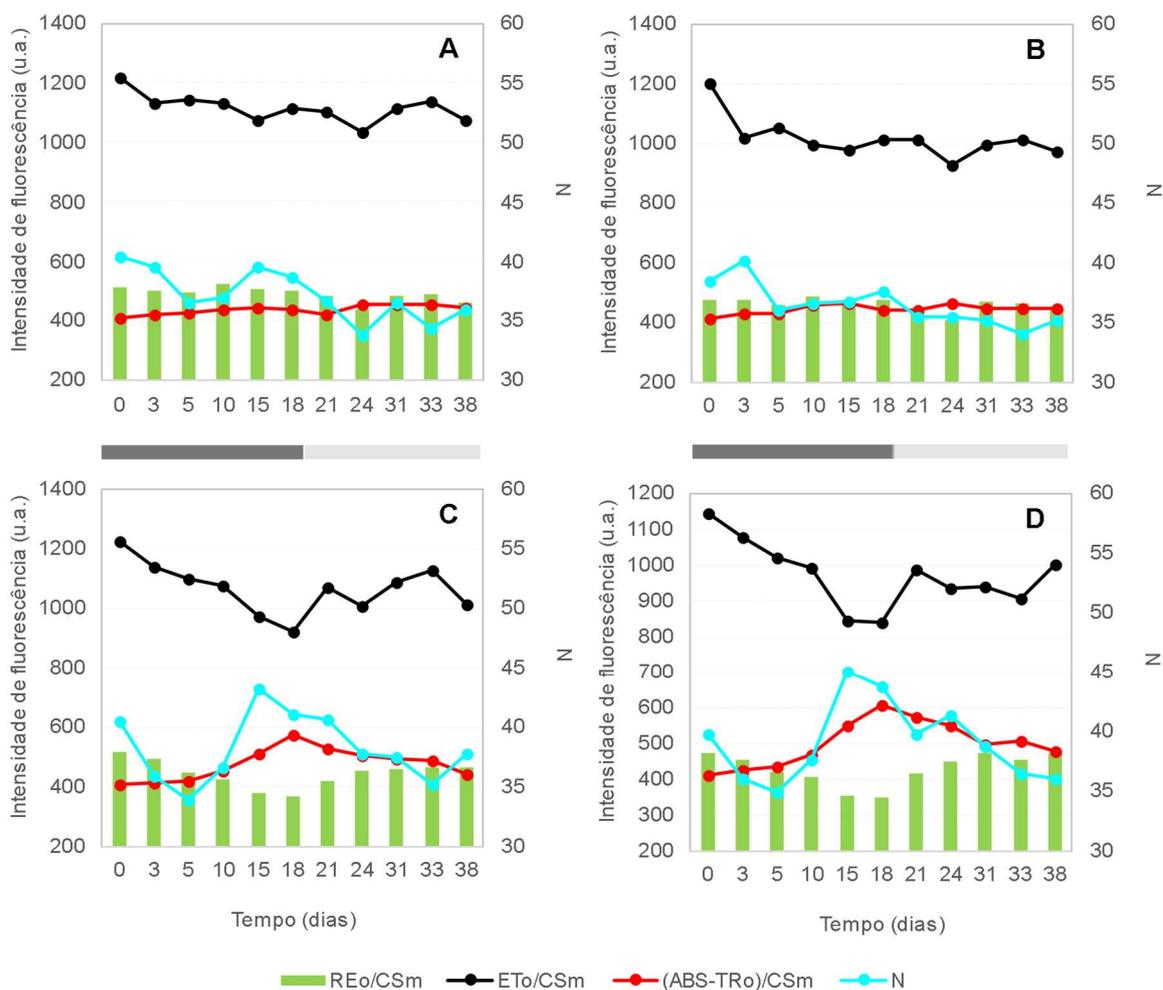


Figura 28: Fluxo de energia entre o intersistema e os aceptores finais de elétrons do PSI (REo/CSm), dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo PSII ((ABS-TRo)/CSm), fluxo de energia da quinona A reduzida para o intersistema (ETo/CSm) e número relacionado à quantidade de reduções da quinona A entre 0 e  $t(F_M)$  (N) dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Red Yade' - controle), B ('Terrinha' - controle), C ('Red Yade' - déficit hídrico), D ('Terrinha' - déficit hídrico).

Na Figura 29 é apresentada a dinâmica do rendimento quântico do PSII ( $\phi P_o$ ), do rendimento quântico da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $\phi R_o$ ), da eficiência de transferência de elétrons

de QA reduzida para o intersistema ( $\Psi_{Eo}$ ), bem como da eficiência da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $\delta R_o$ ), versus o fluxo de da transferência de elétrons para a redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $R_{Eo}/C_{Sm}$ ), de ambos os genótipos nas condição com e sem exposição ao déficit hídrico, do conjunto das onze avaliações de fluorescência da clorofila a realizadas ao longo do período de exposição ao déficit e pós reidratação das plantas.

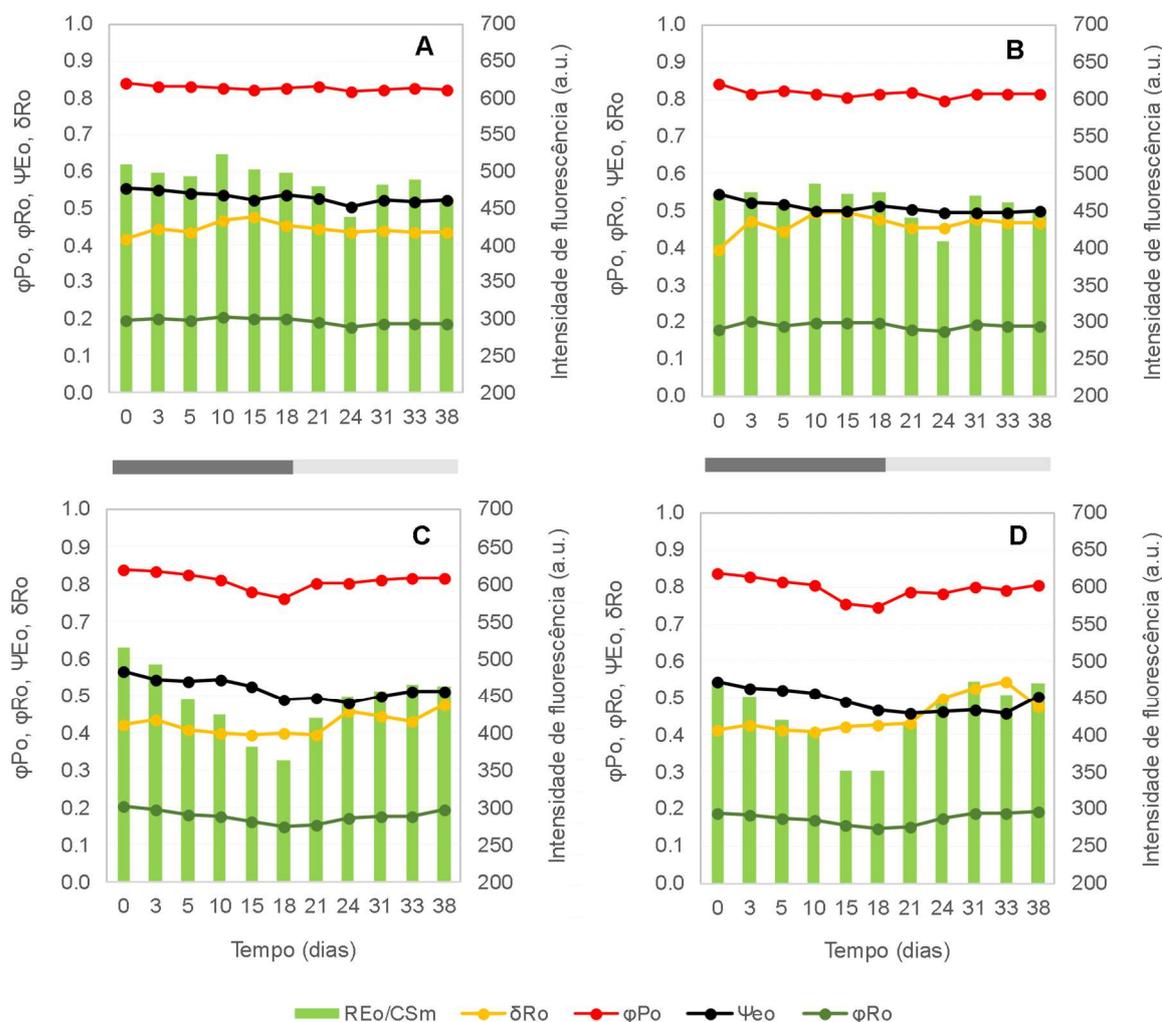


Figura 29: Rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII ( $\phi P_o$ ), rendimento quântico da transferência de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do PSI ( $\phi R_o$ ), eficiência com a qual os elétrons são transferidos do intersistema para redução dos aceptores finais de elétrons do PSI ( $\delta R_o$ ), eficiência da transferência de elétrons da quinona A reduzida para o intersistema ( $\Psi_{Eo}$ ) e o fluxo de energia entre o intersistema e os aceptores finais de elétrons do fotossistema um ( $R_{Eo}/C_{Sm}$ ) dos genótipos nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico (barra preta) e pós reidratação (barra cinza). A ('Red Yade' - controle), B ('Terrinha' - controle), C ('Red Yade' - déficit hídrico), D ('Terrinha' - déficit hídrico).

Conforme observado nas Figuras 28 e 29, o fluxo de dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII ((ABS-TRo)/C<sub>Sm</sub>), bem como o rendimento quântico máximo do PSII ( $\phi P_o$ ) das plantas sob déficit hídrico mantiveram-se relativamente estáveis até o décimo dia de exposição ao

déficit hídrico, não tendo havido diferença significativa entre o rendimento quântico do PSII ( $\phi\text{Po}$ ) entre as plantas expostas e não expostas ao déficit hídrico, variando entre 0,81 e 0,84. Sendo constatado um aumento do fluxo de dissipação não fotoquímica de energia do PSII, em ambos os genótipos a partir na avaliação do décimo quinto dia de déficit, mantendo-se praticamente no mesmo nível de NPQ na avaliação realizada aos dezoito dias de exposição ao déficit, reduzindo o rendimento do PSII para níveis significativamente inferiores aos do controle, com  $\phi\text{Po}$  de 0,77 e 0,75, respectivamente aos quinze e dezoito dias de exposição ao déficit, nas plantas expostas ao déficit, conforme ANOVA (Tabela 9).

Tabela 9: Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $\phi\text{Po}$ ), rendimento quântico da transferência de elétrons da quinona A reduzida para além da quinona A reduzida ( $\phi\text{Eo}$ ), rendimento quântico da transferência de elétrons para os aceptores finais de elétrons do fotossistema I ( $\phi\text{Ro}$ ) e eficiência da transferência de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do fotossistema I ( $\delta\text{Ro}$ )

Dia da avaliação	$\phi\text{Po}$		$\phi\text{Eo}$		$\phi\text{Ro}$		$\delta\text{Ro}$	
	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit
0D d, hídrico	0,84 Aa <sup>1</sup>	0,84 Aa	0,46 Aa	0,46 Aa	0,19 Ba	0,19 Aa	0,40 Ba	0,42 Ba
3D d, hídrico	0,82 Ba	0,83 Ba	0,44 Ba	0,44 Ba	0,20 Aa	0,19 Ab	0,46 Aa	0,43 Bb
5D d, hídrico	0,83 Ba	0,82 Ba	0,44 Ba	0,43 Ca	0,19 Ba	0,18 Bb	0,44 Aa	0,41 Ba
10D d, hídrico	0,82 Ba	0,81 Ca	0,42 Ca	0,43 Ca	0,20 Aa	0,17 Bb	0,48 Aa	0,40 Bb
15D d, hídrico	0,82 Ba	0,77 Eb	0,42 Ca	0,39 Eb	0,20 Aa	0,16 Cb	0,48 Aa	0,41 Bb
18D d, hídrico	0,82 Ba	0,75 Fb	0,43 Ca	0,36 Fb	0,20 Aa	0,15 Cb	0,46 Aa	0,41 Bb
3D reidratação	0,82 Ba	0,79 Db	0,42 Ca	0,38 Eb	0,19 Ba	0,15 Cb	0,45 Aa	0,41 Bb
6D reidratação	0,81 Ba	0,79 Db	0,40 Ca	0,37 Fb	0,17 Ca	0,17 Ba	0,44 Ab	0,48 Aa
13D reidratação	0,82 Ba	0,80 Cb	0,42 Ca	0,39 Eb	0,19 Ba	0,18 Ba	0,46 Aa	0,48 Aa
15D reidratação	0,82 Ba	0,80 Cb	0,42 Ca	0,39 Eb	0,19 Ba	0,18 Ba	0,45 Ab	0,49 Aa
20D reidratação	0,82 Ba	0,81Ca	0,42 Ca	0,41 Da	0,19 Ba	0,19 Aa	0,45 Aa	0,48 Aa
CV	1,61%		4,56%		6,06%		8,22%	
Shapiro-Wilk	p-value: 0,000		p-value: 0,192		p-value: 0,130		p-value: 0,022	

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O fluxo ( $\text{ETo/CSm}$ ) bem como o rendimento ( $\phi\text{Eo}$ ) da transferência de elétrons para além da quinona A reduzida, das plantas sob déficit, também permaneceram relativamente estáveis nos dez primeiros dias de exposição ao déficit e, assim como  $\phi\text{Po}$ , diminuíram de forma significativa aos quinze e dezoito dias, enquanto a relação entre  $\text{ETo/CSm}$  e a captura de energia pelo centro de reação do PSII ( $\text{TRo/CSm}$ ), representada por  $\Psi\text{Eo}$ , permaneceu no mesmo nível

das plantas não expostas ao déficit hídrico até o décimo quinto dia de exposição ao déficit, com leve diminuição no décimo oitavo dia de déficit (Tabela 10).

Tabela 10: Número relacionado à quantidade de reduções da quinona A entre  $t(0)$  e  $t(F_M)$ , eficiência de transferência de elétrons para além da quinona A reduzida, fluxo de transferência de elétrons para além da quinona A reduzida (ETo/CSm) e rendimento da transferência de elétrons para além da quinona A reduzida (REo/CSm), nas avaliações realizadas ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação da planta.

Dia da avaliação	N		$\Psi E_o$		ETo/CSm		REo/CSm	
	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit	S/ déficit	C/ déficit
0D d. hídrico	39,4 Aa <sup>1</sup>	40,1 Ba	0,55 Aa	0,55 Aa	1211 Aa	1183 Aa	491 Aa	493 Aa
3D d. hídrico	39,8 Aa	36,0 Db	0,54 Ba	0,53 Ba	1074 Ba	1107 Ba	485 Aa	473 Ba
5D d. hídrico	36,3 Ba	34,4 Da	0,53 Ba	0,53 Ba	1096 Ba	1059 Ca	476 Aa	432 Cb
10D d. hídrico	36,7 Ba	37,1 Ca	0,52 Ca	0,53 Ca	1063 Ba	1033 Ca	505 Aa	415 Db
15D d. hídrico	38,1 Ab	44,1 Aa	0,51 Ca	0,51 Ca	1027Ca	907 Eb	488 Aa	366 Eb
18D d. hídrico	38,1 Ab	42,4 Aa	0,52 Ca	0,48 Db	1063 Ba	879 Eb	487 Aa	357 Eb
3D reidratação	36,0 Bb	40,1 Ba	0,51 Ca	0,48 Db	1054 Ba	1028 Ca	460 Ba	417Db
6D reidratação	34,6 Bb	39,5 Ba	0,50 Ca	0,47 Db	978 Ca	970 Da	448 Ca	424 Cb
13D reidratação	35,8 Bb	38,1 Ca	0,51 Ca	0,48 Db	1054 Ba	1013 Ca	476 Aa	464 Ba
15D reidratação	34,2 Ba	35,7 Da	0,51Ca	0,49 Db	1075 Ca	1015 Cb	475 Aa	460 Ba
20D reidratação	35,5 Ba	36,9 Ca	0,52 Ca	0,51 Ca	1022 Ca	1007 Ca	454 Ba	466 Ba
CV	5,53%		3,64%		6,27%		5,79%	
Shapiro-Wilk	p-value: 0,602		p-value: 0,230		p-value: 0,490		p-value: 0,802	

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O fluxo (REo/CSm) de transferência de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do PSI diferiu do das plantas não expostas ao déficit hídrico a partir do quinto dia de exposição ao déficit, atingindo o seu menor nível aos quinze e dezoito dias de exposição ao déficit, tendo se recuperado completamente em relação às plantas controle somente a partir do décimo terceiro dia pós reidratação das plantas. No entanto, apesar da sua diminuição, a relação a relação (REo/CSm)/ (ETo/CSm), ou seja, a eficiência de transferência de elétrons do intersistema para os aceptores finais do PSI, representada por  $\delta R_o$ , permaneceu inalterada do início da exposição ao déficit até o terceiro dia pós reidratação das plantas, conforme Tabelas 9 e 10.

A variável N, relaciona como o número de reduções da quino A reduzida entre  $t(o)$  e  $t(F_M)$ , permaneceu relativamente estável em relação ao controle até o décimo dia de déficit, porém sofreu um significativo aumento aos quinze e dezoito

dias de exposição ao déficit, superando o valor apresentado pelas plantas na condição não exposta ao déficit hídrico, em ambos os genótipos, e alcançando os maiores valores observados ao longo do experimento.

A análise de variáveis canônicas feita com os dados de fluorescência relacionados aos fluxos de energia e redução da quinona A, das onze avaliações realizadas ao longo do experimento, reteve apenas 72,9% da variância experimental no acumulado das duas primeiras variáveis canônicas (Figura 30). A dispersão observada no gráfico biplot evidencia a dissimilaridade dos tratamentos com ambos os genótipos na condição sob déficit hídrico, aos quinze e dezoito dias de exposição ao déficit (Ts15E, Ts18E, Rs15E e Rs18E), em relação aos tratamentos não expostos ao déficit e, a associação dos mesmos com o aumento da dissipação não fotoquímica da energia absorvida pelo complexo antena do PSII ((ABS-TRo)/CSm) e a variável relacionada com o número de reduções sofridas pela quinona A (N), bem como com a diminuição do fluxo de elétrons para os aceptores finais do PSI (REo/CSm). Bem como evidencia também a dissimilaridade dos tratamentos com ambos os genótipos na condição sob déficit ao três dias pós reidratação das plantas (Ts3R e Rs3R), os quais apesar de já terem reestabelecidos os padrões de trocas gasosas das plantas não expostas ao déficit, também estão associados à manutenção de um padrão elevado de dissipação não fotoquímica (NPQ), porém também apresentam associação com o aumento da absorção e captura de energia pelo PSII.

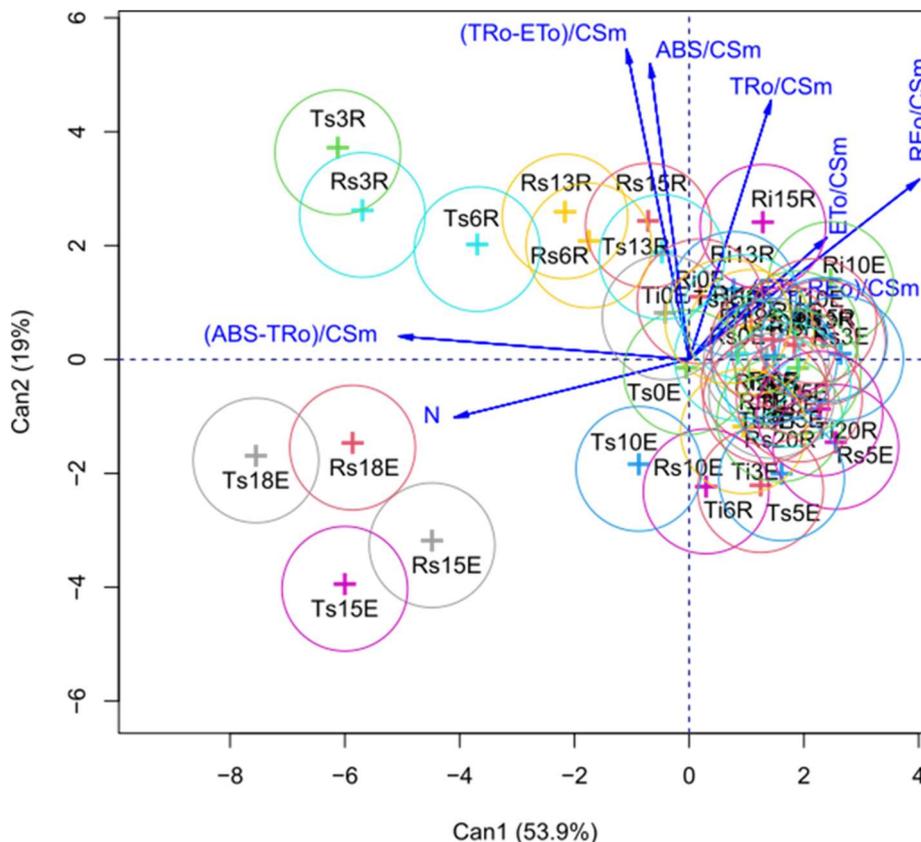


Figura 30: Variáveis canônicas com base nos dados do teste JIP relacionados aos fluxos de energia (ABS/CSm, TRo/CSm, ETo/CSm e REo/CSm) e número de reduções de  $Q_A$  (N), das avaliações realizadas ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação das plantas. R ('Red Yade'), T ('Terrinha'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

A análise de agrupamento dos tratamentos feita com os mesmos dados de fluorescência utilizados na análise anterior de variáveis canônicas, apresentou um coeficiente de correlação cofenética de 0,89 e ponto de corte sugerido no dendrograma em 22,91, resultando na formação de quatro grupos teoricamente distintos (Figura 31), mas para refletir a dispersão observada nas variáveis canônicas devem ser considerados apenas três grupos distintos, um com ambos os genótipos na condição sob déficit hídrico aos 15 e 18 dias de exposição ao déficit, o segundo também com ambos os genótipos na condição sob déficit aos três dias pós reidratação, e o maior grupo, mais similar, envolvendo os demais tratamentos juntamente com aqueles não expostos ao déficit.

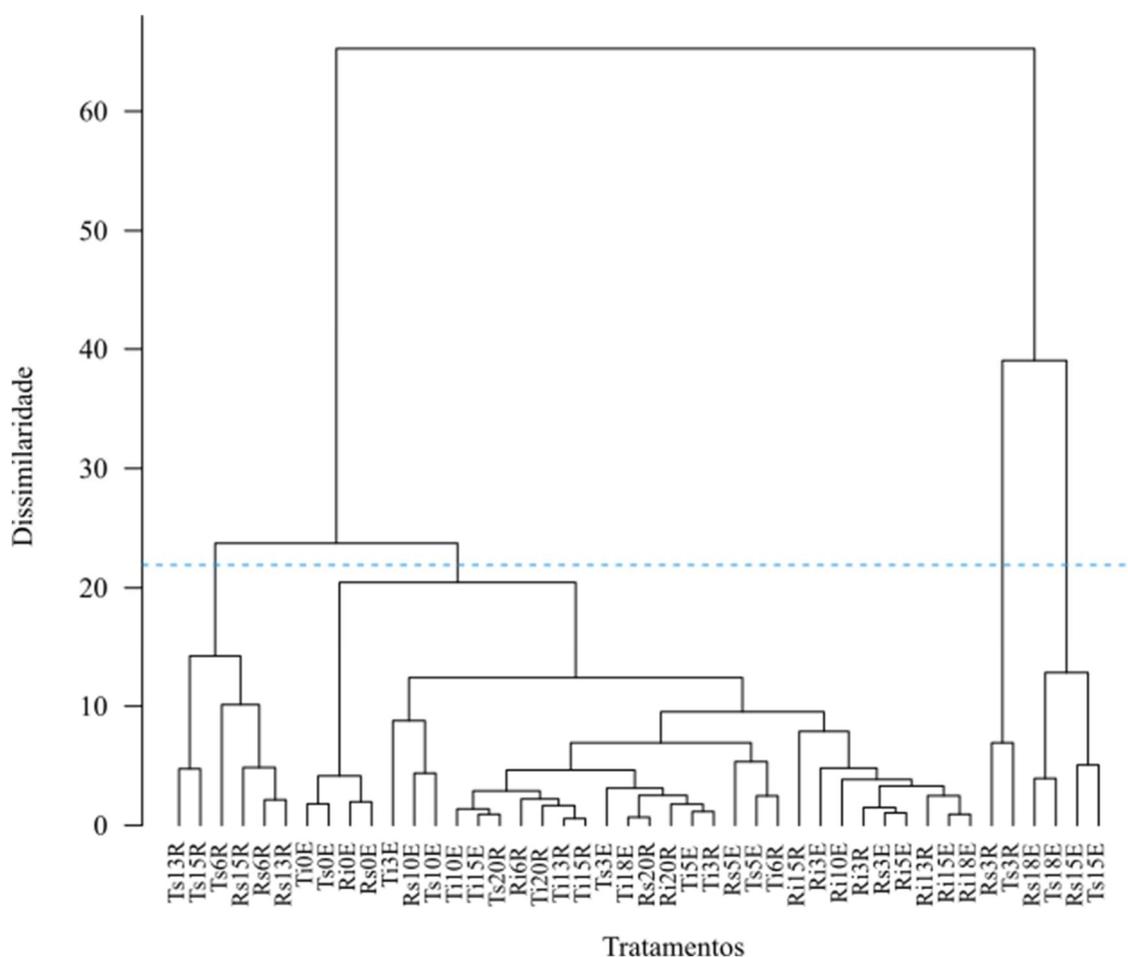


Figura 31: Dendrograma mostrando o agrupamento dos tratamentos com base nos dados do teste JIP relacionados aos fluxos de energia (ABS/CSm, TRo/CSm, ETo/CSm e REo/CSm) e número de reduções de  $Q_A$  (N), com base nas avaliações realizadas ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação das plantas., utilizando o método da Média – UPGMA a partir da matriz de distâncias de Mahalanobis, com linha de corte sugerindo a separação dos grupos similares com  $k=1,25$  (Mojena, 1977), tendo sido feita a padronização dos dados das repetições para a realização da análise. R ('Red Yade'), T ('Terrinha'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

A análise de variáveis canônicas feita com os dados de fluorescência referentes aos rendimentos quânticos e eficiências reteve 83,5% da variância experimental das duas primeiras componentes canônicas. As variáveis que mais contribuíram para a dispersão dos tratamentos foram N,  $\phi Ro$  e  $\phi Po$ , em VC1, e  $\phi Eo$ , em VC2, nesta ordem (Figura 32). Já na dispersão dos tratamentos apresentada no gráfico biplot observa-se que os tratamentos com ambos os genótipos aos quinze e dezoito dias de exposição ao déficit hídrico (Ts15E, TS18E, Rs15E e Rs18E) foram os mais dispersos em relação aos não expostos ao déficit e estão associados ao aumento do número de reduções sofridas pela quinona A

entre  $t(F_0)$  e  $t(F_M)$ , bem como à diminuição do rendimento quântico máximo do PSII ( $\phi_{Po}$ ). Sendo que o genótipo 'Terrinha' na condição sob déficit, aos dezoito dias de exposição ao déficit (Ts18E), foi o que mais se diferenciou dos demais tratamentos não expostos ao déficit.

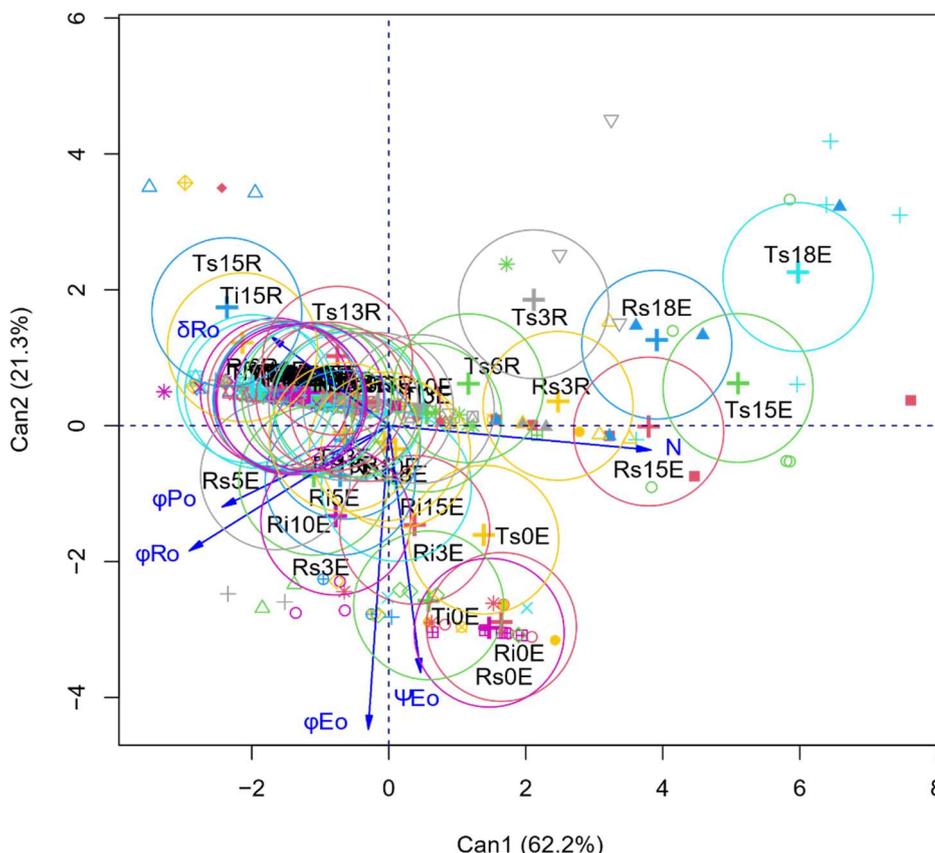


Figura 32: Variáveis canônicas com base nos dados do teste JIP relacionados aos rendimentos quânticos ( $\phi_{Po}$ ,  $\phi_{Eo}$ ,  $\phi_{Ro}$ ), eficiências ( $\Psi_{Eo}$ ,  $\delta_{Ro}$ ) e ao número de reduções sofridas pela quinona A (N) no intervalo de tempo de entre 0 a  $t(F_M)$ , nos diferentes dias de avaliação ao longo do período de déficit hídrico e pós reidratação. R ('Red Yade'), T ('Terrinha'), i (condição sem déficit hídrico), s (condição sob déficit hídrico), \_E (nº de dias sob déficit hídrico), \_R (nº de dias pós reidratação das plantas).

Diferentemente do experimento com o controle da temperatura máxima ajustado em 28°C, onde não ocorreu diminuição do rendimento quântico do PSII ( $\phi_{Po}$ ) durante os dezenove dias de exposição ao déficit hídrico, o ajuste do acionamento do sistema de controle da temperatura máxima em 35°C levou à limitação do  $\phi_{Po}$  das plantas expostas ao déficit hídrico a partir do décimo quinto dia de exposição ao déficit por meio do aumento da dissipação da energia luminosa absorvida pelos pigmentos do complexo antena do PSII (NPQ), evidenciada pela elevação significativa de  $(ABS-TR_0)/CS_m$  e consequente diminuição de  $\phi_{Po}$ ,

apesar das condições ambientais amenas ao longo do período de realização do experimento, com temperatura média de 21,5 °C, mínima de 17,7 °C e máxima média de 26,7 °C, uma vez que a temperatura no interior da casa de vegetação chegava a ultrapassar os 35°C durante algumas horas do dia, entre as 10 e 13 hs, alcançando até 38°C nos dias mais ensolarados, levando ao acionamento do sistema de controle da temperatura máxima para reduzir a temperatura para 35 °C.

O aumento de NPQ com consequente redução de  $\phi_{Po}$  provavelmente se deve à limitação do fluxo linear de elétrons do intersistema para os aceptores finais do PSI (REo/CSm) em decorrência da limitação da atividade oxigenase da Rubisco pela associação do déficit hídrico prolongado com a elevação temperatura no interior da casa de vegetação para níveis próximos a 35°C durante o período dia de maior insolação, limitando, conseqüentemente, do consumo de NADPH pela fotorrespiração, que por sua vez leva à limitação da oxidação de plastoquinona reduzida (PQH<sub>2</sub>) pelo citocromo b6/f, aumento assim o pool de PQH<sub>2</sub>, que por fim limita o fluxo de captura de energia pelo centro de reação do PSII (TRo/CSm), levando ao aumento de NPQ.

O aumento da variável relacionada ao aumento do número de reduções sofridas pelas quinona A (N) em ambos os genótipos na condição sob déficit hídrico em relação às plantas não expostas ao déficit, aos quinze e dezoito dias de exposição ao déficit, momento em que o rendimento quântico do PSII atingiu o seu menor nível em razão da NPQ devido ao acúmulo de PQH<sub>2</sub>, não é bem compreendido e nem se observou explicação na literatura, mas pode estar relacionado da atuação da via do fluxo cíclico de elétrons, de forma complementar à fotorrespiração, na fotoproteção do PSI, e o aumento do valor de N pode estar relacionado à atuação do CFE na oxidação do pool de PQH<sub>2</sub>, o qual pode vir a promover/induzir uma maior redução de quinona A oxidada.

Como visto na Figura 27, o déficit hídrico associado à elevação da temperatura, próxima aos 35°C nos período de maior incidência de radiação solar e sem cobertura de nuvens, induziu a uma redução da área foliar total das plantas, de forma precoce, a partir do três dias de exposição ao déficit hídrico, por meio do dobramento na base do pecíolo das folhas completamente saudáveis e fotossinteticamente ativas, da base para o ápice da planta, provavelmente em decorrência de ação hormonal nas células da camada de abscisão envolvendo a

sinalização eficiente e precoce da ocorrência de déficit hídrico no substrato pelo ácido abscísico. Tal estratégia no ocorreu quando as plantas foram expostas ao com controle da temperatura máxima ajusta em 28°C, quando foi observada de forma tardia e menos intensa.

A senescência das folhas dobradas, observada poucos dias após o dobramento, certamente contribuiu para a manutenção do rendimento quântico da fotossíntese das folhas mais jovens, bem como o metabolismo e proteção contra o estresse oxidativo, por meio da remobilização de água e nutriente dos limbos e bainhas. Já a ocorrência da clorose foliar (queima) das remanescentes da base que não dobraram, em decorrência do aumento da dissipação de energia via calor sensível por meio da elevação da temperatura foliar, provavelmente está relacionada à perda da integridade das membras das células e organelas pelo dano oxidativo causado pelas espécies reativas de oxigênio (ROS), ante à incapacidade da planta em eliminar as ROS e reparar seus danos em função do exaurimento dos recursos advindos da remobilização por senescência, agravada pela elevação da temperatura máxima no interior da casa de vegetação e pela elevação da temperatura foliar, pelo aumento da dissipação via calor sensível, levando à priorização da manutenção e fotoproteção das folhas mais jovens do ápice em detrimento das folhas mais velhas da base.

## 4 CONCLUSÕES

A limitação do fluxo transpiratório e da difusão de CO<sub>2</sub> pelo déficit hídrico promoveram, respectivamente, o aumento da dissipação via calor sensível da energia absorvida da radiação solar de ondas curtas absorvida pelas folhas, por meio do aumento da temperatura foliar, bem como o incremento da fotorrespiração para a fotoproteção dos fotossistemas por meio da manutenção do fluxo linear de elétrons, nos primeiros dias de exposição ao déficit.

Sob condições estressantes, com alta temperatura e alta incidência de radiação solar, o déficit hídrico limita as trocas gasosas, a partir do terceiro dia de exposição ao déficit, e o desempenho do fotossistema II a partir do nono dia de exposição ao déficit, tendo o genótipo 'Ambrosia' apresentado um melhor desempenho e se recuperado mais rapidamente do estresse ocasionado pela exposição ao déficit hídrico do que a cultivar 'Grand Naine'.

Sob condições ambientais amenas de temperatura e incidência de radiação solar, o déficit hídrico limita as trocas gasosas dos genótipos do subgrupo 'Terra' já a partir do terceiro dia de exposição ao déficit, mas não limita o desempenho do PSII, mesmo ante um prolongado período de exposição ao déficit de dezenove dias, devido à atividade fotoprotetora da via da fotorrespiração;

A exposição ao déficit hídrico associado a temperaturas máximas próximas a 35°C, além de limitar as trocas gasosas e promover aumento da dissipação de energia pelo aumento da temperatura foliar, a partir do terceiro dia de exposição ao déficit, promove também uma redução precoce da área foliar total por meio do dobramento das folhas na camada de abscisão da base do pecíolo, da base para o ápice da planta, como estratégia de mitigação dos efeitos do déficit hídrico por meio da limitação da área exposta à radiação solar direta, bem como limita o desempenho do PSII a partir dos quinze dias de exposição ao déficit, de forma indireta, por meio da limitação da atividade oxigenase da Rubisco e, conseqüentemente, do fluxo linear de elétrons via fotorrespiração;

A cultivar 'Terrinha' apresenta níveis mais elevados de dissipação de energia via calor sensível do que 'Red Yade' quando não exposta a déficit hídrico, possibilitando uma maior economia de água por meio de um menor fluxo transpiratório, bem como resultando em uma maior tolerância à ocorrência de déficit hídrico leve a moderado.

## REFERÊNCIAS

BHERING, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17: 187-190p, 2017.

DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; MARQUES, P. R. R.; RODRIGUES, M. G. V. **Considerações ecofisiológicas e estratégias de manejo da bananeira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.36, n.288, p. 13-26, 2015.

ECKSTEIN, K. and ROBINSON, J. C. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 5, p. 679– 692, 1996.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2018.  
<https://doi.org/10.1038/s41477-017-0092-7>

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two *Sorghum bicolor* races in a drydown experiment. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, p.1-14, 2016.

KALLARACKAL, J; MILBURN, J. A.; BAKER, D. A. Water relations of the banana. III. Effects of controlled water stress on water potential, transpiration, photosynthesis and leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 79–90, 1990.

KISSEL, E.; VAN ASTEN, P.; SWENNEN, R.; LORENZEN, J.; CARPENTIER, S.C. Transpiration efficiency versus growth: Exploring the banana biodiversity for drought tolerance. **Scientia Horticulturae**, v.185, n., p.175-182, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.035>

JOHNSON, M. P., WIENTJES, E. The relevance of dynamic thylakoid organisation to photosynthetic regulation. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v.1861, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.06.011>.

LIU, C.C., LIU, Y.G., GUO, K., ZHENG, Y.R., LI, G.Q., YU, L.F., YANG, R. Influence of drought intensity on the response of six woody karst species subjected to successive cycles of drought and rewatering. **Physiol Plant**. v.139, p.39-54, 2010. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01341.x

LIU, X., BIONDI, F. Transpiration drivers of high-elevation five-needle pines (*Pinus longaeva* and *Pinus flexilis*) in sky-island ecosystems of the North American Great Basin. **Science of The Total Environment**, v.739, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139861>

MA, M., LIU, Y., BAI, C., YANG, Y., SUN, Z., LIU, X., ZHANG, S., HAN, X., YONG, J. W. H. The Physiological Functionality of PGR5/PGRL1-Dependent Cyclic Electron Transport in Sustaining Photosynthesis. **Front. Plant Sci**. v.12, 702196, 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.702196

MAHOUACHI, J. Growth and mineral nutrient content of developing fruit on banana plants (*Musa acuminata* AAA, 'Grand Nam') subjected to water stress and recovery. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 82, n. 6, p. 839– 844, 2007.

MAHOUACHI, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, v. 120, n. 4, p. 460–466, 2009.

MAHOAUCHI, J.; LÓPEZ-CLIMENT, M.F.; GÓMEZ-CADENAS, A. Hormonal and hidroxycinnamic acids profiles in banana leaves in response to various periods of water stress. **The Scientific World Journal**, New York, v.2014, p.1-9, 2014.

MEDICI, L. O., ROCHA, H. DA S, CARVALHO, D. F. DE, PIMENTEL, C., AZEVEDO, A. A. Controlador automático para regar plantas. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 67, n. 6, pág. 727-730, 2010.

MESSANT, M.; KRIEGER-LISZKAY, A.; SHIMAKAWA, G. Dynamic Changes in Protein-Membrane Association for Regulating Photosynthetic Electron Transport. **Cells**, v.10, 1216, 2021. <https://doi.org/10.3390/cells10051216>

MOJENA, R. Hierárquical grouping method and stopping rules: an evaluation. **Computer Journal**, v.20, p.359-363, 1977.

MUTHUSAMY, M.;UMA, S.; BACKIYARANI, S.; SARASWATHI, M.S. Computational prediction, identification, and expression profiling of microRNAs in banana (*Musa* spp.) during soil moisture deficit stress. **The Journal of Horticultural Sciences & Biotechnology**, v.89, n.2, p.208-214, 2014.

NAWROCKI, W.J., BAILLEUL, B., PICOT, D., CARDOL, P., RAPPAPORT, WOLLMAN, F. A., JOLIOT, P.. The mechanism of cyclic electron flow. **Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics**. v.1860, p.433-438, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2018.12.005>.

PIERUSCHKA, R., HUBER, G., BERRY, J. A. Control of transpiration by radiation. **PNAS**, V.107, P.13372-13377, 2010. <https://doi.org/10.1073/pnas.0913177107>

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. <https://www.R-project.org/>.

RAVI, I., UMA, S., VAGANAN, M. M., & MUSTAFFA, M. M. Phenotyping bananas for drought resistance. **Frontiers in Physiology**, v.4, 2013. <http://doi.org/10.3389/fphys.2013.00009>

ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. "Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar 'Williams') in response to progressive depletion of available soil moisture," **Scientia Horticulturae**, vol. 30, no. 4, pp. 289–300, 1987.

ROBINSON, J. C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains**. 2nd ed. Cambridge: CAB, 2010.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos**: cultivo e comercialización. 2.ed. San José: Litografía e Impresna LIL, 1992. 674 p.

STOVER, R. H., SIMMONDS, N. W. **Bananas**. 3rd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1987. 468 p.

THOMAS, D. S.; TURNER, D.W. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding, **Scientia Horticulturae**, vol. 90, no. 1-2, pp. 93–108, 2001.

THOMAS, D. S.; TURNER, D.W. Leaf gas exchange of droughted and irrigated banana cv. Williams (*Musa* spp.) growing in hot, arid conditions, **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, vol. 73, no. 3, pp. 419–429, 1998.

TSIMILLI-MICHAEL, M. Revisiting JIP-test: an educative review on concepts, assumptions, approximations, definitions and terminology. **Photosynthetica**, 57 (SI), 90–107, 2019

TSIMILLI-MICHAEL M., STRASSER R.J. Experimental resolution and theoretical complexity determine the amount of information extractable from the chlorophyll fluorescence transient OJIP. – In: Allen J.F., Gantt E., Golbeck J.H., Osmond B. (Ed.): **Photosynthesis. Energy from the Sun**. Springer Dordrecht, p. 697-701, 2008.

TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A.; THOMAS, D.S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goitacazes, v.19, n.4, p. 463-484, 2007.

VANHOVE, A.C.; VERMAELEN, W.; PANIS, B.; SWENNEN, R.; CARPENTIER, S.C. Screening the banana biodiversity for drought tolerance: can an in vitro growth model and proteomics be used as a tool to discover tolerant varieties and understand homeostasis. **Frontiers in Plant Science**, Paris, v.3, n.176, p.1-10, 2012.

WOOD, W.H.J., MACGREGOR-CHATWIN, C., BARNETT, S.F.H., MAYNERORD, G. E., HUANG, X., HOBBS, J.K, HUNTER, C. N., JOHNSON, M. P. Dynamic thylakoid stacking regulates the balance between linear and cyclic photosynthetic electron transfer. **Nature Plants**, v. 4, p.116–127, 2018.

**CAPITULO 3 – AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE  
BANANEIRAS DOS SUBGRUPOS GROS-MICHEL, E TERRA À SIGATOKA  
AMARELA, MURCHA DE FUSARIUM E BROCA-DO-RIZOMA**

## RESUMO

A cultura da banana tem uma grande importância socioeconômica para o Brasil e o Espírito Santo, como uma das frutas mais produzidas e consumidas. Porém, ela é muito suscetível a doenças e pragas que limitam a produção e, até mesmo, o cultivo de algumas cultivares. Neste estudo foram avaliados dois acessos do banco de germoplasma do Incaper, 'Ambrosia' (AAAA, subgrupo Gros Michel) e 'Red Yade' (AAB, subgrupo Terra) quanto à resistência à Sigatoka amarela, mal-do-Panamá e à broca-do-rizoma. A pressão do inóculo da Sigatoka amarela e a infestação pela broca-do-rizoma foram feitas em condições de campo na Fazenda Experimental do Incaper em Alfredo Chaves-ES, utilizando-se as cvs Grand Naine (AAA, subgrupo Cavendish) e 'Terrinha' (AAB, subgrupo Terra) como referência de suscetibilidade e resistência à Sigatoka amarela. A incidência e severidade dessa doença foram determinadas na primeira folha necrosada no florescimento e utilizadas para o cálculo do índice de sanidade. A resistência à broca-do-rizoma foi avaliada na seção transversal do terço superior do rizoma, das plantas floridas ou com cacho, por meio da determinação do coeficiente de infestação. Para a resistência ao mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) foram usadas mudas de quatro genótipos ('Ambrosia', 'Nanicão', 'Prata' e 'Red Yade'), mantidas em casa de vegetação e inoculadas com dois isolados do fungo (E-383 e E-384), tendo as cultivares Nanicão (AAA, Subgrupo Cavendish) e Prata (AAB, Subgrupo Prata) como referências de resistência e suscetibilidade à Raça 1. Os sintomas externos, internos e cálculo do índice da doença foram avaliados. 'Ambrosia' mostrou-se resistente à Sigatoka amarela, ao isolado E-883 e à broca, mostrando-se um acesso muito promissor para o cultivo comercial. 'Red Yade', assim como 'Terrinha', foram suscetíveis à Sigatoka amarela e aos dois isolados de *F. oxysporum* f.sp. *cubense* e muito suscetíveis à broca-do-rizoma, mostrando-se pouco promissores para o cultivo comercial em sistema de monocultura por demandarem controle químico com intensivo uso de agrotóxicos.

**Palavras-chave:** • *Cosmopolites sordidus* • Doenças • Fungos • *Musa* • Resistência •

## ABSTRACT

The banana crop has tremendous socioeconomic importance for Brazil and Espírito Santo as one of the most produced and consumed fruits. However, it is very susceptible to diseases and pests that limit the production and even the cultivation of some cultivars. In this study, two accessions from the Incaper germplasm bank, 'Ambrosia' (AAAA, Gros Michel subgroup) and 'Red Yade' (AAB, Plantain subgroup), were evaluated for resistance to yellow Sigatoka, Panama disease, and the banana root borer. The Yellow Sigatoka inoculum pressure and root borer infestation were carried out under field conditions at Incaper Experimental Farm in Alfredo Chaves-ES, using the Grand Naine (AAA, Cavendish subgroup) 'Terrinha' (AAB, Planatin subgroup) as a reference for susceptibility and resistance to yellow Sigatoka. The incidence and severity of this disease were determined on the first necrotic leaf at flowering and used to calculate the health index. The resistance to root borer was evaluated in the cross-section of the upper third of the rhizome by determining the infestation coefficient during the flowering and fructification periods. For resistance to Panama disease (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*), seedlings of four genotypes ('Ambrosia,' 'Nanicão,' 'Prata' and 'Red Yade') were cultivated in a greenhouse and inoculated with two fungal isolates (E-383 and E-384), having the cultivars Nanicão (AAA, Cavendish Subgroup) and Prata (AAB, Silver Subgroup) as references of resistance and susceptibility to Race 1. External and internal symptoms and calculus of the disease index were evaluated. 'Ambrosia' proved to be resistant to yellow Sigatoka, to the E-883 isolate, and the root borer, proving to be a very promising accession for commercial cultivation. 'Red Yade' and 'Terrinha' were susceptible to yellow Sigatoka and the two isolates of *F. oxysporum* f.sp. *cubense* and very susceptible to root borer, showing little promise for commercial cultivation in monoculture as they demand chemical control with intensive use of pesticides.

**Keywords:** *Cosmopolites sordidus* • Diseases • Fungi • Muse • Resistance •

## 1 INTRODUÇÃO

A bananeira é suscetível a diversos estresses bióticos causados por fungos, bactérias, vírus, nematoides e pragas. As doenças como sigatoka-amarela, sigatoka-negra e a murcha de *Fusarium* (MF) ou mal-do-Panamá, podem causar perdas de até 100% na produção, dependendo da cultivar e das condições edafoclimáticas (AMORIM et al., 2016; VENTURA; HINZ, 2002).

A murcha de *Fusarium* que tem como agente etiológico *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc), é a doença mais importante para a bananicultura, em que o fungo coloniza e oclui o xilema de cultivares suscetíveis, causando uma murcha e morte das plantas (PLOETZ; CHURCHILL, 2011; PLOETZ, 2015a). Não há medidas eficazes de controle químico contra a doença e a melhor estratégia para garantir uma produção sustentável depende da resistência genética ao patógeno (SMITH et al. 2018; VENTURA; HINZ, 2002).

Foc é um patógeno altamente variável, composto por diferentes linhagens evolutivas com pelo menos 24 grupos de compatibilidade vegetativa (VCGs) conhecidos, os quais podem afetar *Musa acuminata*, *M. balbisiana*, *M. schizocarpa*, e *M. textilis*, sendo identificadas diferentes raças com base na patogenicidade para cultivares hospedeiras de referência: a raça 1 (R1) afeta Gros-Michel (AAA), Maçã (AAB) e 'Prata' (AAB), dentre outras; a raça 2 (R2) afeta bananas do subgrupo Bluggoe (ABB); e as raças 4 (TR4 e STR4) afetam todas as cultivares do subgrupo Cavendish (AAA), além daqueles suscetíveis às R1 e R2, havendo ainda uma população de patógenos que causam murcha de *Fusarium* em *Heliconia* spp, descrita inicialmente como raça 3, mas que não é mais considerada como Foc (PLOETZ, 2015b; DITA et. al, 2018).

As epidemias de murcha de *Fusarium* causadas pela raça 1 (R1), ocorridas na América Central, causaram a devastação dos plantios suscetíveis da cultivar 'Gros Michel' Por este motivo, 'Gros Michel' foi substituído por cultivares do subgrupo Cavendish que são resistentes à R1. No entanto, no final da década de 1980, uma outra raça (TR4) altamente virulenta para as cultivares do subgrupo Cavendish espalhou-se pela a Ásia, África, Indonésia e, mais recentemente, para a América do Sul (ROCHA et al., 2021).

A broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) é a principal praga da bananeira com uma importância social e econômica expressiva (TRESSON et. al, 2021) e,

além dos danos diretos, ocasionam também danos indiretos decorrentes da penetração de patógenos nas suas galerias (MESQUITA, 2003), bem como atua como um transportador de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*, pois consegue adquirir rapidamente o inóculo do fungo, o qual permanece viável tanto externamente como internamente, no trato digestivo (SÁNCHEZ et. al, 2021), afetando a dinâmica espacial e temporal de epidemias de murcha do *Fusarium* em condições de campo (HERCK et. al, 2021).

Apesar da introdução da sigatoka-negra (*Pseudocercospora fijiensis*; tel.: *Mycosphaerella fijiensis*) em algumas regiões do território brasileiro, sendo considerada a principal restrição à produção de banana, a sigatoka-amarela (*Pseudocercospora musae*; tel.: *Mycosphaerella musicola*) continua sendo um grande problema para a bananicultura no País, estando presente em todas as regiões de cultivo, podendo contribuir com perdas significativas, dependendo do microclima local, pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa, refletindo em menor tamanho de fruto e maturação precoce dos mesmos no campo ou em pós-colheita (CORDEIRO; MATOS, 2005; BRITO et al, 2015).

A sigatoka-amarela é controlada principalmente com fungicidas em combinação com a remoção regular das folhas afetadas, podendo ser usados fungicidas sistêmicos, quando necessário, mas em alternância dos princípios ativos, para evitar o desenvolvimento de resistência aos fungicidas (SMITH et al. 2018). A busca por variedades resistentes, mediante a geração e seleção de novos genótipos, é uma prioridade mundial, pelo seu elevado alcance entre os produtores e a sua ação preservacionista, dispensando o uso de fungicidas no controle das doenças, no entanto, ante a alta variabilidade genética dos patógenos, os genótipos selecionados devem ser testados nas diversas regiões produtoras (CORDEIRO; MATOS, 2005).

De uma maneira geral, até então, a maioria das cultivares de banana resistentes às doenças, que foram obtidas pelos programas de melhoramento e recomendadas tanto para o Brasil como para o Estado do Espírito Santo, tem sido como alternativa às cultivares tradicionalmente cultivadas do subgrupo Prata. Não havendo ainda a recomendação de cultivares de outros subgrupos como Terra, Cavendish e Gros Michel para as condições do Espírito Santo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à sigatoka-amarela, murcha de *Fusarium* e broca-do-rizoma de dois genótipos do banco de germoplasma do

Incaper, sendo um híbrido tetraploide do subgrupo Gros-Michel ('Ambrosia'; AAAA), e outro do subgrupo Terra ('Red Yade'; AAB), comparando-os com as cultivares comerciais 'Grande Naine' (AAA), 'Terrinha' (AAB), 'Nanicão' (AAA) e 'Prata' (AAB).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À SIGATOKA AMARELA

O experimento de campo para a avaliação da resistência à sigatoka-amarela foi conduzido dentro do banco de germoplasma da fazenda experimental do Incaper em Alfredo Chaves (Figura 1, cap. 1), onde os diferentes genótipos foram dispostos em linhas paralelas com pelo menos 18 plantas no espaçamento de 2,5 x 2,5 metros, e recebem os tratos culturais recomendados para a cultura.

O banco de germoplasma do Incaper na Fazenda Experimental de Alfredo Chaves é uma área de ocorrência natural de sigatoka-amarela, onde não é utilizada nenhuma medida de controle químico da doença. Por ser uma região onde a doença é endêmica, com pressão natural de inóculo do agente etiológico, não foi realizada a inoculação artificial das plantas, determinando-se a incidência e severidade da sigatoka-amarela no florescimento das plantas (início da emissão da inflorescência e até a abertura das primeiras pencas de flores femininas). As avaliações foram realizadas durante o período de março/2019 até setembro/2020, sendo suspensas nos meses de março a junho/2020 em função das restrições decorrentes da pandemia de covid-19.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro genótipos ('Ambrosia' (AAAA), 'Grande Naine' (AAA), 'Terrinha' (AAB) e 'Red Yade' (AAB)), com seis repetições e quatro plantas por parcela. As avaliações consistiam do registro da evolução da doença por meio da identificação da primeira folha necrosada (PFN), considerada como sendo a primeira folha com pelo menos 10 lesões de sigatoka-amarela, contadas do ápice para a base da planta, e do número de folhas ativas (NFA) na planta, considerando aquelas com área foliar fotossinteticamente ativa maior ou igual a 50%, calculando-se posteriormente o índice de sanidade das plantas (ISP) (STOVER, 1971), conforme a formula 1:

$$\text{ISP (\%)} = ((\text{PFN}-1)/\text{NFA}) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Onde, ISP = índice de sanidade das plantas, PFN= primeira folha necrosada e NFA = número de folhas ativas.

## 2.2 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM

Para a avaliação da resistência dos genótipos à murcha de *Fusarium* foram usadas mudas provenientes de cultura de tecidos, inoculadas com dois isolados de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (E-883 e E-884) obtidos da micoteca do Laboratório de Fitopatologia do Incaper, as quais foram mantidas em casa de vegetação para acompanhamento do aparecimento e evolução dos sintomas da doença.

As mudas, após repicadas do cultivo *in vitro* para bandejas de isopor com substrato, foram aclimatadas por 60 dias e posteriormente transferidas para vasos modelo Holambra nº11 de 415 mL, preenchidos com substrato comercial para hortaliças (Tropstrato da empresa Vida Verde) e mantidas para aclimação em casa de vegetação no campus da UFES em Maruípe, Vitória-ES, antes da realização da inoculação.

Os isolados do fungo foram previamente caracterizados pelo sequenciamento genético realizado pela ACTGene Análises Moleculares Ltda (Rio Grande do Sul/Brasil), utilizando a metodologia de Sanger (SANGER; COULSON, 1975) na plataforma Applied Biosystems 3500 (Thermo Fisher), seguido do BLAST (ALTSCHUL et al. 1990), e da identificação da espécie dos isolados, por comparação com os bancos de dados National Centre for Biotechnology Information (NCBI), Fusarium ID - Pennsylvania State University (<http://isolate.Fusariumdb.org/guide.php>) e Fusarium MLST Database - Westersijk Institute (<http://www.westerdijkinstitut.nl/Fusarium>).

Para a produção de inóculo os isolados foram cultivados em placas de Petri contendo meio de cultura BDA (Batata Dextrose Ágar) e incubadas em BOD com fotoperíodo de 12 horas, à temperatura de 28 °C por um período de sete dias. A suspensão de micro e macroconídios foi filtrada em dupla camada de gaze esterilizada, sendo o inóculo padronizado em um volume final de 250 mL na concentração entre  $10^5$  -  $10^6$  conídios/mL para cada isolado. A inoculação foi feita por meio de ferimentos nas raízes por meio de quatro furos no substrato, equidistantes e juntos à planta, feitos com instrumento cortante e com 5 cm de

profundidade, tendo sido despejado um mL do inóculo em cada furo, e nas plantas controle foi utilizado 1 mL de água destilada esterilizada por furo (Figura 1).



Figura 1: Culturas de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (isolados E-883 e E-884) e inoculação dos genótipos de bananeira para avaliação de resistência à murcha de Fusarium.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições, doze tratamentos e cinco plantas por parcela (Figura 2), num esquema fatorial 3x4 com dois isolados do fungo (E-883 e E-884) e o controle com água destilada esterilizada e quatro genótipos: 'Ambrosia' (AAAA), 'Red Yade' (AAB), 'Nanicão' (AAA) e 'Prata' (AAB).), sendo as cvs. Prata e Nanicão utilizadas, respectivamente, como referência de suscetibilidade e resistência à raça 1 de *F. oxysporum* f.sp. *cubense*.

O experimento foi realizado no período de 04 de janeiro a 17 de abril de 2021, com irrigação diária, por meio de microaspersores suspensos, programada em tempos de 10 minutos de duração e realizada 4 vezes ao longo do dia.



Figura 2: Disposição dos tratamentos na casa de vegetação, com os quatro genótipos de bananeira inoculados com os dois isolados de *F. oxysporum* f.sp. *cubense* (E-883 e E-884) e água destilada esterelizada.

A temperatura ambiente quando realizada a primeira inoculação, em 04 de janeiro de 2021, estava muito elevada, com máximas variando entre 34 e 36 °C e mínimas entre 23 e 25 °C, dentro casa de vegetação, nos primeiros dias pós inoculação, o que levou à decisão de aumentar a frequência das irrigações para 8 vezes ao longo do dia a fim de tentar amenizar a temperatura no interior casa de vegetação para monimizar o estresse das plantas e não comprometer a viabilidade do fungo. Porém, mesmo assim, sessenta dias após a inoculação, as plantas inoculadas não apresentavam sintomas externos e não diferiam visualmente das plantas controle, tendo sido feita uma nova inoculação das mudas com os dois isolados em 15 de março.

A avaliação dos sintomas externos foram realizadas a cada 15 dias, de acordo com a escala de notas usada pelo Incaper (adaptado de GÁRCIA-BASTIDAS et al., 2019) em função da manifestação dos sintomas externos nas plantas (murcha, descoloração, clorose), sendo 1 - planta sem sintomas; 2 – com sintomas muito leves; 3 – com sintomas mais visíveis; 5 – com sintomas intermediários; 7 – com sintomas severos; 9 – morta. Já para os sintomas internos, avaliados ao final do experimento mediante corte transversal do rizoma, também

foram atribuídas notas que variavam de 1 a 9, de acordo com o percentual da área da seção transversal que apresentava descoloração vascular (Figura 3).

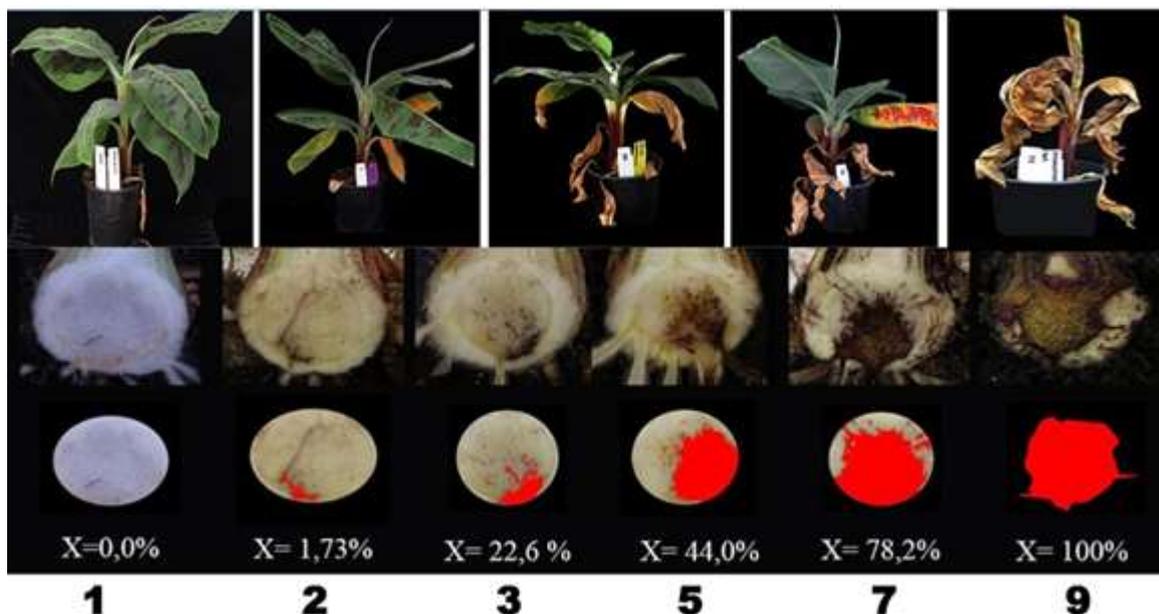


Figura 3: Escala de notas usada pelo Incaper (Lab Fitopatologia CRDR-Centro Serrano), para os sintomas externos e internos, na avaliação da resistência à murcha de *Fusarium* (adaptado de GÁRCIA-BASTIDAS et al., 2019).

Com base nas notas atribuídas aos sintomas das cinco plantas das parcelas de cada tratamento, foram calculados os índices da doença (ID) para os sintomas externos (IDE) e internos (IDI) usando a fórmula 2, proposta por McKinney (1923):

$$ID (\%) = 100 \cdot \sum [(fv) / (nx)] \dots\dots\dots (2)$$

onde ID é o índice de doença; f é o número de plantas com a mesma nota; v é a nota observada; n é o número de plantas avaliadas; e x é a nota máxima da escala utilizada.

Devido à grande semelhança do aspecto externo debilitado das plantas inoculadas e não inoculadas, e do grau de subjetividade das notas, as quais foram muito próximas, decidiu-se por avaliar a resistência dos genótipos com base apenas nos sintomas internos, conforme preconizado por Ribeiro et al. (2018), uma vez que os sintomas externos e internos não guardavam relação entre si.

Para a análise estatística foi feita a transformação (1/X) dos dados de ID e realizada ANOVA e teste de Scott-Knott a 5% de significância por meio do

programa R (R Core Team, 2020), através da sua interface com o programa Rbio (BHERING, 2017).

### 2.3 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À BROCA-DO-RIZOMA

A avaliação foi feita em dezembro de 2020, ao final das demais avaliações realizadas na área experimental em Alfredo Chaves, uma vez que envolveria a eliminação das plantas mãe da unidade experimental.

O experimento foi conduzido dentro do banco de germoplasma do Incaper em Alfredo Chaves, o qual conta com dezenas de genótipos de diferentes grupos genômicos numa área contínua de aproximadamente um hectare, com solo e relevo bem homogêneos e naturalmente infestada com a broca-do-rizoma, onde não é utilizada nenhuma medida de prevenção e/ou controle da mesma, estando os genótipos dispostos de forma intercalada em linhas paralelas de aproximadamente 18 plantas cada, com espaçamento de 2,5 m entre plantas e entre linhas, e recebendo o mesmo manejo.

Foram avaliadas todas as plantas, que se encontravam floridas ou com cacho, nas linhas de cada genótipo ('Ambrosia', 'Grande Naine', 'Terrinha' e 'Red Yade') dentro do banco de germoplasma, sendo que cada genótipo estava disposto em duas linhas paralelas com pelo menos 18 plantas por linha, totalizando 36 plantas por genótipo.

A avaliação foi feita por meio de um corte transversal no rizoma abaixo do colo, efetuado com o uso de uma motosserra, e consistiu na definição do percentual da área da seção transversal que apresentava galerias da broca para proceder a definição do coeficiente de infestação (CI) por meio da atribuição de notas com base na escala de Vilardebó (1973), apresentada na Tabela 1 e esquematizada na Figura 4. O CI de cada genótipo foi calculado com base na média das notas das plantas avaliadas.

Tabela 1- Escala de notas de Vilardebó (1973) para a avaliação do coeficiente de infestação (CI) por meio dos danos causados pelas larvas de *Cosmopolites sordidus* em rizoma de bananeira.

Nota (CI)	Critério de notas
0	Sem galerias
5	Presença de traços de galerias
10	Danos entre 5 e 20% da área
20	Danos em 25% da área
30	Danos entre 20 e 40% área
40	Danos em 50% da área
60	Danos em 75% da área
100	Danos em toda a área do rizoma

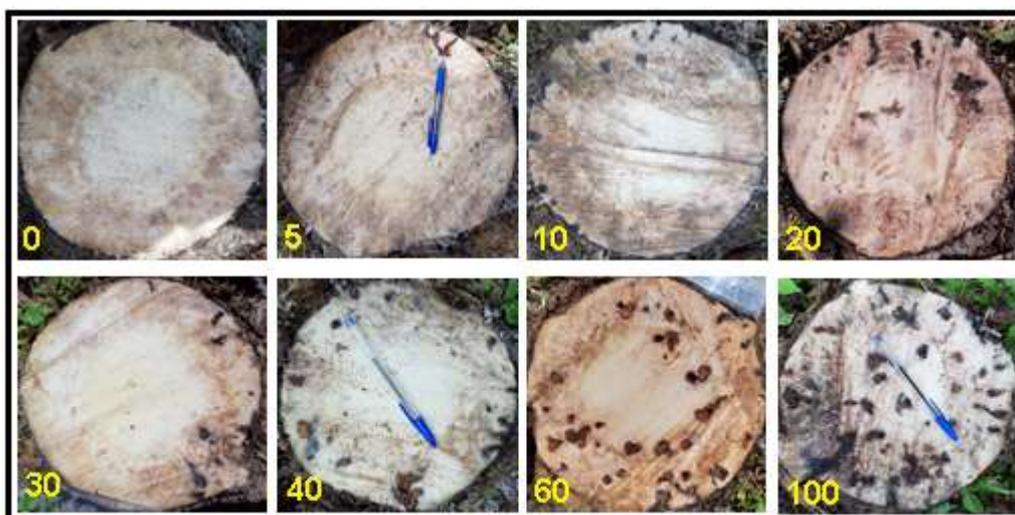


Figura 4: Representação aproximada da associação da escala de notas de Vilardebó (1973) com danos visualizados em cortes transversais no terço superior de rizomas de bananeiras, para a avaliação do coeficiente de infestação (CI) por *Cosmopolites sordidus*..

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 RESISTÊNCIA À SIGATOKA-AMARELA

A cultivar ‘Grande Naine’ apresentou lesões de sigatoka-amarela (SA) em 100% das plantas avaliadas e a primeira folha necrosada (PFN) foi a 7<sup>a</sup>, confirmando a sua suscetibilidade à doença (CORDEIRO; MATOS, 2005), com índice de sanidade das plantas de 63% (Tabela 2). Já o genótipo ‘Ambrosia’ não apresentou lesões de SA em 100% das plantas avaliadas, nem mesmo nas folhas em senescência, demonstrando que o genótipo apresenta resistência à doença (Figura 5).

Tabela 2: Número de folhas ativas – NFA, número de plantas com sigatoka-amarela – NPCS, primeira folha necrosada – PFN e índice de sanidade das plantas – ISP, na floração das plantas. (SD) – Desvio padrão. (-) não foram observadas folhas doentes.

Cultivar		NFA	NPCS (%)	PFN	ISP (%)
‘Ambrosia’	Media	11	0	-	100
	SD	0.5	0	-	0
‘Grande Naine’	Media	10	100	7	63
	SD	0.8	0	0	6
‘Red Yade’	Media	11	68	9	73
	SD	1	32	1	6
‘Terrinha’	Media	10	0	-	100
	SD	1	0	-	0

A cultivar ‘Terrinha’ não apresentou lesões de SA, mostrando-se resistente, ao passo que o genótipo ‘Red Yade’ apresentou lesões em 68% das plantas avaliadas, porém com grande variabilidade evidenciada pelo alto desvio padrão, e teve como PFN a 9<sup>a</sup>, mostrando-se suscetível à doença, com índice de sanidade das plantas ficado em 73%, sendo portanto, menos suscetível do que a cultivar ‘Grande Naine’. Também não foi feito o cálculo da severidade da doença para o genótipo ‘Red Yade’, uma vez que a primeira folha a apresentar lesões da doença foi a 9<sup>a</sup>.

Era esperado que genótipos do subgrupo Terra (AAB) apresentassem resistência à sigatoka-amarela, uma vez que Cordeiro e Matos (2005) avaliando a resistência à sigatoka-amarela em um conjunto de variedades mais utilizadas no Brasil, à época, composto por variedades resistentes como Pioneira, Caipira, Thap Maeo, JV03-15, PV03-44 e Terra, e suscetíveis como Pacovan, Prata Anã, Caipira,

'Grande Naine', FHIA-01 e FHIA-18, em condições de telado com a realização de inoculação artificial de 38 isolados de *M. musicola*, por meio da avaliação da prevalência das reações apresentadas pelas variedades resistentes mediante registros fotográficos, constataram que apenas a cultivar Terra foi resistente aos 38 isolados de *M. musicola* utilizadas na inoculação.

Os resultados obtidos neste trabalho para 'Grande Naine' e 'Red Yade' guardam relação como os obtidos por Smith et al. (2018) para a cultivar Willians (PFN=7,3), também do subgrupo Cavendish, e considerada como valor alto de suscetibilidade. Eles avaliaram a resistência de seis acessos de bananeira 'Gros-Michel' à sigatoka-amarela ao longo de cinco anos, na Austrália, e utilizaram, dentre outros, a primeira folha jovem com pelo menos 10 lesões maduras da doença (PFN), como parâmetro para avaliar os danos da doença, tendo sido utilizadas três cultivares, de resistência previamente categorizada, como controle para comparação, sendo uma classificada como muito resistente à SA (Dwarf French Plantain, genoma AAB), outra resistente (Kluai Namwa Khom, genoma ABB), e uma muito suscetível à doença (Willians, genoma AAA, subgrupo Cavendish). Cinco acessos cujas PFN, não diferiram significativamente de Willians (PFN=7,63), com valores médios variando entre 5,8 e 7,6 foram classificados como muito suscetíveis. O acesso Hom Thong Mokho, com PFN igual a 9,5, foi classificado como suscetível, enquanto as duas cultivares do controle, tidas como resistente e muito resistente, diferiram significativamente entre si e obtiveram valor médio de PFN de 14,7 e 16,9, respectivamente.

Smith et al. (2018) também relataram que a devido à precipitação 54% abaixo da média durante a estação chuvosa, a severidade da doença ficou abaixo do que normalmente é verificado. O que também pode ter impactado os resultados obtidos no presente estudo, tendo em vista as baixas precipitações nos primeiros meses de avaliação, bem como a ausência de precipitação em janeiro de 2019.

Com relação aos outros parâmetros utilizados por Smith et al. (2018) na avaliação dos genótipos, os autores concluíram que a taxa de emissão de folhas não teve relação com a PFN, assim como, o critério da folha jovem com pelo menos 33% de lesões não permitiu distinguir entre materiais muito suscetíveis e suscetíveis à sigatoka-amarela, tendo em vista o teste de médias apresentado pelos autores. O critério da PFN foi que melhor agrupou os materiais em relação às

variedades controle utilizadas pelos autores, e mostrou-se efetivo na avaliação do dano da sigatoka-amarela e diferenciação de genótipos quanto à resistência ao patógeno, mediante o uso de cultivares controle com resistência previamente caracterizada em outros estudos, conforme observado no presente estudo.



Figura 5: Plantas de ‘Ambrosia’ sem lesões de sigatoka-amarela, tanto na emissão da inflorescência como próximo da colheita do cacho.

### 3.2 RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM

Após trinta dias da segunda inoculação, as plantas dos quatro genótipos apresentavam-se com estresse e aspecto debilitado, compatível com notas entre 5 e 7 na escala utilizada para os sintomas externos, com amarelecimento e/ou senescência das folhas mais velhas, tendo, em sua maioria, no máximo de duas a quatro folhas ativas por planta e, de uma maneira geral, não aparentavam diferenças perceptíveis entre os tratamentos inoculados e controle, com relação aos sintomas externos (Figura 6).

Com relação aos sintomas internos, não houve ocorrência nas plantas não inoculadas e, das plantas inoculadas com o isolado E-883, apenas ‘Ambrósia’ não apresentou sintomas internos (Figura 8), sendo que ‘Prata’ e ‘Red Yade’ tiveram apenas uma planta com sintomas em cada uma das 3 parcelas do tratamento,

ambas com nota 2, na escala utilizada, enquanto que a cv. Nanicão teve 2 plantas com sintomas em cada parcela, com apenas uma nota 3 e 2 para as demais.

Nas plantas inoculadas com o isolado E-884, todos os quatro genótipos apresentaram sintomas internos. 'Red Yade' teve duas plantas com sintomas por parcela, com notas variando de 2 a 5, 'Ambrosia' teve de três a quatro, com notas variando de 2 a 5, 'Prata' teve de três a cinco plantas por parcela, com notas variando de 2 a 5, e Nanicão teve de duas a quatro plantas com sintomas por parcela, com notas variando de 2 a 4, o que demonstrou que este isolado é mais agressivo para as plantas dos diferentes subgrupos, sendo possivelmente uma raça diferente do isolado E-883.

Na ANOVA realizada com os índices da doença para os sintomas interno (IDI) observou-se uma interação significativa entre os fatores avaliados, ou seja, entre isolados e os genótipos de bananeira avaliados. Sendo que, nos tratamentos inoculados com os isolado E-883, 'Ambrosia' não apresentou sintomas internos e obteve IDI de 11,1% igual ao do controle, enquanto que a 'Nanicão', com IDI de 16,3%, assim como a 'Prata' e 'Red Yade', com IDI de 13,3%, diferiram significativamente do controle ( $P < 0,05$ ), e também entre si. Já o isolado E-884, infetou todos os quatro genótipos, afetando um maior número de plantas por parcela e ocasionando uma maior descoloração dos rizomas, resultando assim em valores de IDI significativamente maiores que os obtidos para o isolado E-883 e o controle. Os genótipos 'Ambrosia' e 'Prata', com IDI médio de 28,8%, foram significativamente mais afetadas pelo isolado E-884 do que 'Nanicão' e 'Red Yade', que obtiveram IDI médio de 21,4%, conforme Tabela 3.

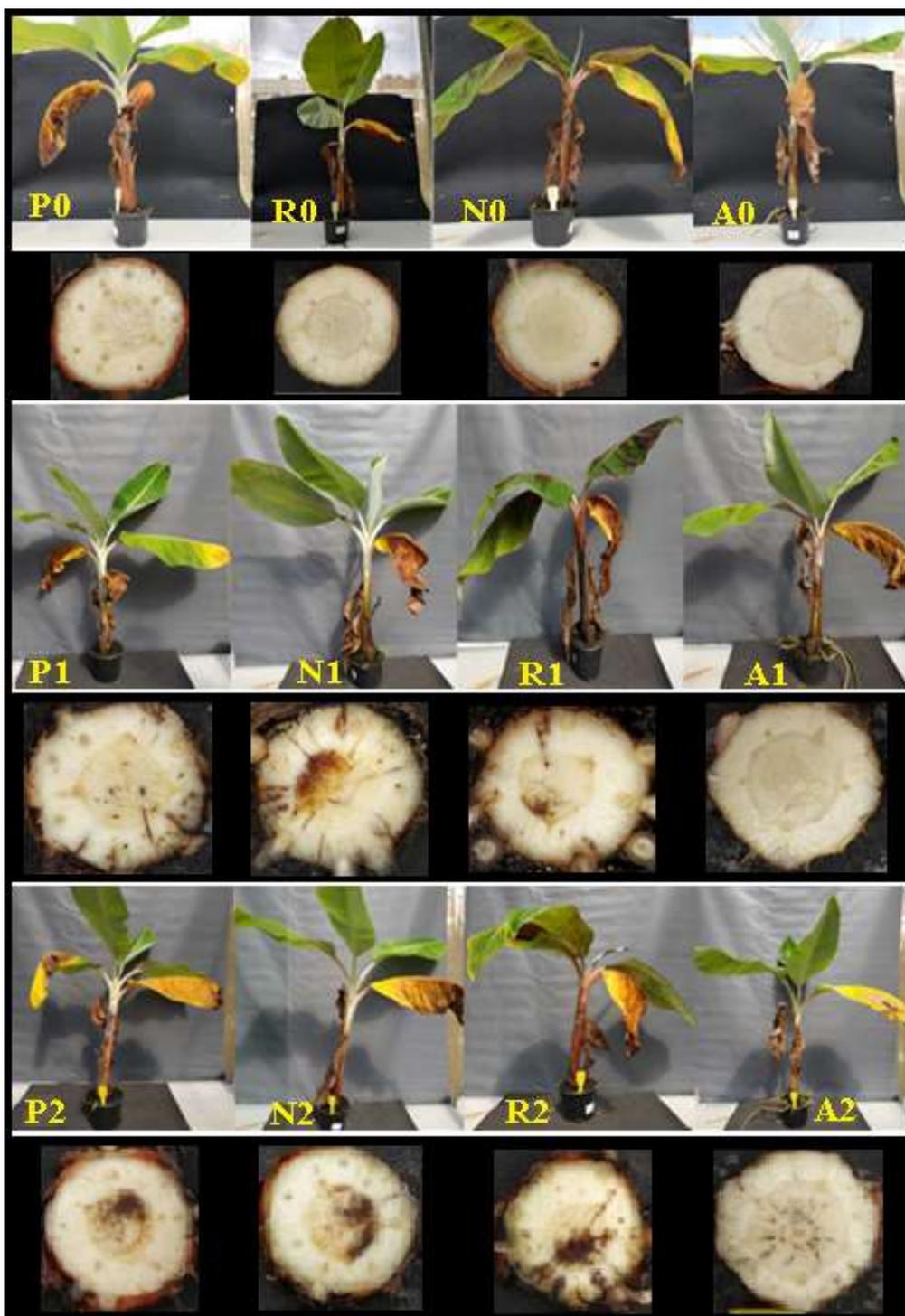


Figura 6: Sintomas internos e externos dos isolados de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc), nos quatro genótipos avaliados. Nas linhas os inóculos (0) controle com água destilada esterilizada, (1) isolado E-883, (2) isolado E-884; Nas colunas os genótipos (P) 'Prata', (N) 'Nanicão', (R) 'Red Yade' e (A) 'Ambrosia'.

Tabela 3: Índices médios da doença, com base nos sintomas internos (IDI), para os dois isolados de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc) em quatro genótipos avaliados.

Inóculo	Cultivares			
	'Ambrosia'	Nanicão	Prata	'Red Yade'
<b>Controle (T)</b>	11.1 B <sup>1</sup>	11.1 C	11.1 C	11.1 C
<b>E-883</b>	11.1 Bc	16.3 Ba	13.3 Bb	13.3 Bb
<b>E-884</b>	28.1 Aa	22.9 Ab	29.6 Aa	20.0 Ab
<b>CV</b>	8.62%			

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

O aspecto debilitado das plantas, indistintamente entre plantas controle ou inoculadas, muito provavelmente se deve ao estresse ocasionado pelo excesso de umidade no substrato, em função das várias irrigações diárias para amenizar a temperatura na casa de vegetação, e/ou por deficiência nutricional, haja visto que não foram realizadas adubações de cobertura nas semanas que antecederam à 2ª inoculação, nem posteriormente à sua realização, o que, associado às perdas de nutrientes do substrato por lixiviação, pode ter levado à senescência, amarelecimento e seca das folhas mais velhas, em função da translocação dos nutrientes destas para as folhas mais jovens e em formação.

A elevada temperatura ambiente na época da realização da primeira inoculação na casa de vegetação pode ter afetado ambos os isolados, limitando a infecção e colonização dos tecidos pelo fungo. Ploetz, (1990) relatou o efeito significativo da temperatura no crescimento radial *in vitro* de isolados de diferentes grupos e raças de Foc, crescendo em temperaturas que variam entre 8 e 36 °C, e os resultados mostraram que a maioria dos isolados cresceram bem na faixa de 20 a 32° C, com redução do crescimento em temperaturas abaixo de 20° C e crescimento praticamente nulo a 36° C.

Ribeiro et al. (2018) ressalta que embora a intensidade da murcha de *Fusarium* seja diagnosticada visualmente pela análise dos sintomas externos e internos, muitas vezes eles não tem relação entre si, pois uma planta pode apresentar sintomas externos, como amarelecimento por deficiência nutricional e excesso de água, mas internamente não apresentar descoloração no rizoma. Assim, os autores consideram que a avaliação mais precisa da doença depende dos sintomas apresentados internamente.

García-Bastidas et al. (2019) testando protocolos de inoculação para avaliação de resistência sob condições de casa de vegetação com controle ambiental (28° C, 16 h de luz e 85% UR), avaliaram os sintomas típicos da doença em até 10 semanas após inoculação e agruparam os isolados em três grupos, de acordo com o DI, sendo considerados de baixa severidade aqueles com DI entre 0 e 50%, de severidade moderada entre 50 e 80%, e de alta severidade acima de 80%.

Como a concentração de inóculo utilizada no presente trabalho, entre  $10^5$  e  $10^6$  conídios.ml<sup>-1</sup>, está de acordo com a considerada mais adequada para o processo de infecção das plantas, que é de  $10^6$  conídios.ml<sup>-1</sup> (GARCIA-BASTIDAS et al. ,2019), o curto período de tempo, de apenas 30 dias, decorrido entre a segunda inoculação e a avaliação dos sintomas internos, associado às condições de temperatura ambiente elevada podem ter limitado a infecção pelo fungo.

O isolamento dos fungos, a partir dos rizomas dos genótipos infectados no experimento em casa de vegetação, permitiu, com base nas características morfológicas da cultura do fungo, confirmando os postulados de Koch.

*F. oxysporum* f. sp. *cubense* é uma espécie polifilética considerada geneticamente como um complexo de espécies, compreendendo um conjunto de linhagens geneticamente distintas. Maryani et al. (2019) revisaram a taxonomia do complexo e designaram diferentes novas espécies que infectam a bananeira e as agrupou no “*Fusarium oxysporum* of Banana Species Complex” (FOBC).

A Raça 1, distribuída em várias das novas espécies designadas por Maryani et al. (2019), infecta bananeiras ‘Gros Michel’ e muitas outras variedades de bananeira de importância econômica, porém não infectam clones do subgrupo Cavendish, resistentes e cultivados globalmente em substituição a ‘Gros Michel’ (PLOETZ 1990). No entanto, a espécie *F. odoratissimum* II-5, que compreende exclusivamente a chamada Raça Tropical 4 (TR4), infecta ‘Cavendish’ e também as demais bananeiras de importância econômica, ameaçando a produção global da fruta (MARYANI et al., 2019; PLOETZ, 2015a ). Resultados obtidos pela Embrapa em parceria com a Universidade de Wageningen, na Holanda, indicam que as cultivares utilizadas pelos produtores brasileiros são suscetíveis à TR 4 (SILVA et al. 2016).

De acordo com Rocha et al. (2021), com base em um trabalho de revisão sistemática de estudos realizados globalmente nos últimos 10 anos sobre a resistência de *Musa* spp. à murcha de *Fusarium*, relatam que, assim como vários outros: as cultivares Nanica, Nanicão Magario, Grand Naine, Nanicão e Willians (AAA) e Terra Maranhão, (AAB), Figo Cinza e Figo, (ABB), FHIA-17 (AAAA), bem como BRS Vitória, BRS Princesa, BRS Japira e BRS Tropical, todas (AAAB), são resistentes à Raça1, sendo a cv. Willians suscetível à STR4, porém com baixa severidade.

Ante ao consenso na literatura quanto à resistência de clones 'Cavendish' como 'Nanica', 'Nanicão', 'Grande Naine', dentre outros, bem como as cvs. Figo e Figo Cinza, à Raça 1 e, tendo em vista os resultados de patogenicidade obtidos no presente estudo, onde tanto o isolado E-883, obtido de banana Prata, suscetível à Raça 1, como o isolado E-884, obtido de banana 'Figo', resistente a Raça1, infectaram a cultivar Nanicão, do subgrupo Cavendish (AAA), resistente à Raça1, fica evidenciada a necessidade de caracterização molecular destes isolados.

### 3.3 RESISTÊNCIA À BROCA-DO-RIZOMA

O coeficiente de infestação (CI) da broca-do-rizoma, com base na escala de notas de Vilardebó (1973), variou de 0 a 10 para os genótipos de 'Ambrósia' e 'Grande Naine' (Figura 7), com valores médios de 2,9 para 'Ambrósia' e 1,1 para 'Grande Naine' (Tabela 4), não tendo sido verificadas galerias da broca na região central do rizoma destes genótipos, apenas na periferia do córtex (Figura 8). Já para os genótipos do subgrupo Terra, o CI variou de 20 a 100, com pelo menos 73% das observações tendo apresentado um valor de CI maior ou igual a 40, em ambos os genótipos, resultando em um CI médio de 53,6 para 'Terrinha' e 60,7 para 'Red Yade', tendo ambos apresentado galerias da broca tanto no córtex como no cilindro central do rizoma.

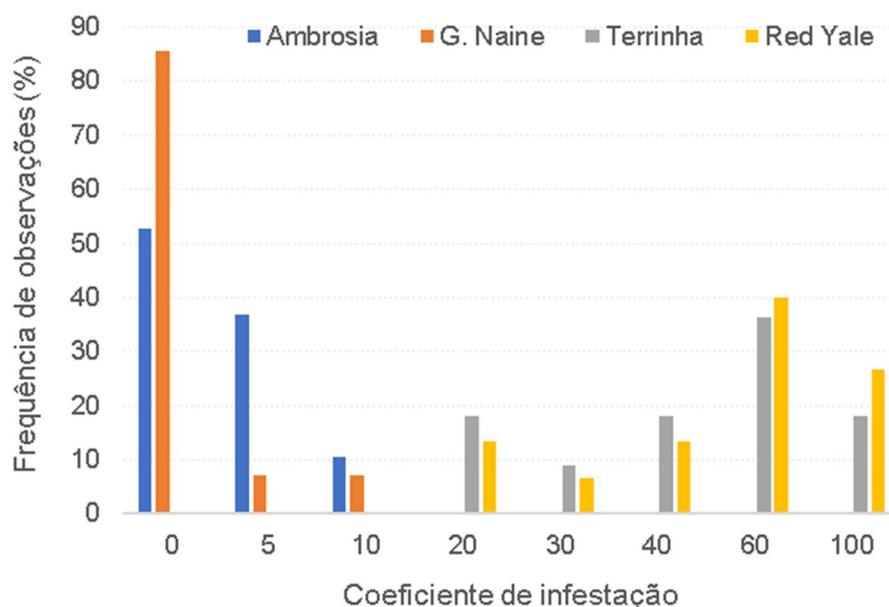


Figura 7: Frequência de observações dos diferentes valores do coeficiente de infestação de broca-do-rizoma nos quatro genótipos avaliados, com base na escala de notas de Vilardebó (1973).

Tabela 4: Coeficiente de infestação (CI) médio da broca-do-rizoma observado nos genótipos.

	Cultivares			
	'Ambrosia'	'Grande Naine'	'Terrinha'	'Red Yade'
CI	2.9	1.1	53.6	60.7
Nº. de plantas avaliadas	19	14	11	15

O CI médio de 1,1 obtido para 'Grande Naine' foi próximo do valor de 5 obtido por Oliveira et. al (2017), ao avaliarem a infestação da broca em 20 genótipos num pomar comercial no qual estavam sujeitos a níveis homogêneos de ocorrência natural do inseto, de acordo com monitoramento preliminar feito por meio de iscas. Eles também constataram que a infestação da broca-do-rizoma variou de acordo com o genótipo, com CI igual a zero para 'Prata Anã' e CI máximo igual a 10 para 'Vitória' (AAAB) e 'Bucaneiro' (AAAA), bem inferior aos obtidos para 'Terrinha' e 'Red Yade' no presente estudo.



Figura 8: Aspecto de plantas e rizomas dos quatro genótipos avaliados, evidenciando os menores (A1, G1, R1 e T1) e maiores (A2, G2, R2 e T2) coeficientes de infestação por *Cosmopolites sordidus* observados entre as plantas avaliadas de cada genótipo. (A) 'Ambrosia', (G) 'Grande Naine', (R) 'Red Yade' e (T) 'Terrinha'.

FANCELLI et. al (2010) avaliaram a infestação *C. sordidus* em 18 genótipos de bananeira, de diferentes grupos genômicos (AAAB, AAA, AAB e AA), por meio de infestação artificial em condições de laboratórios, sem que os insetos pudessem exercer preferência entre os genótipos, e observaram que a cv. Terra foi a mais suscetível entre as cultivares, com a porcentagem da área do rizoma ocupada por galerias de 34%, porém, não diferindo estatisticamente de 'Grande Naine' que teve apenas 8%, com base no teste Tukey a 5%.

De acordo com Vilardebó (1973), valores de CI médio maiores que 25 podem levar a uma diminuição de 30 a 60% no rendimento da cultura, enquanto valores de 0 a 5 não ocasionam perdas de rendimento. Diante disso, ante aos níveis de CI obtidos para os genótipos, é possível inferir que a massa do cacho, diâmetro e comprimentos dos frutos, dentre outros parâmetros, de 'Terrinha' e 'Red Yade' serão fortemente impactados pela broca, ao passo que os genótipos 'Ambrosia' e 'Grande Naine' podem ser considerados resistentes, com base nos valores de CI obtidos, enquanto os valores de CI médios maiores que 50 obtidos na 'Terrinha' e 'Red Yade' evidenciam que o *C.sordidus* apresenta uma preferência/seletividade pelos dois genótipos do subgrupo Terra, em relação a 'Grande Naine' e 'Ambrosia'.

Em bananeiras, recomenda-se a avaliação dos genótipos por pelo menos dois ciclos de produção, desconsiderando-se o primeiro. No entanto, Arantes et al. (2010) propõe que no caso da banana-da-terra essa avaliação pode ser feita num único ciclo, o primeiro, já que muitos genótipos são atualmente cultivados como cultura anual. Esse cultivo que vem sendo feito apenas no primeiro ciclo, como cultura anual, ou até o segundo ciclo, está relacionado ao afloramento do rizoma neste subgrupo e também à alta infestação da broca-do-rizoma conforme observado no presente estudo.

Apesar do CI médio praticamente nulo apresentado por 'Ambrosia' e 'Grande Naine', não se pode afirmar que isso seja resultante exclusivamente da resistência genética ao desenvolvimento das larvas no rizoma, mas também da baixa atratividade para ovoposição nestes genótipos.

Dantas et. al (2011) avaliaram a resistência ao *C. sordidus* de 21 cultivares de bananeira dos subgrupos Prata, Maçã, Cavendish e Gros Michel, em condições de campo, com base no número médio de lesões de ovoposição, e os resultados

mostraram que 'Grande Naine' não diferiu de 'Ambrosia' e 'Bucaneiro', ambos do subgrupo Gros-Michel, nem se mostraram resistentes à broca, porém não fizeram parte do grupo dos genótipos com maior número de lesões de ovoposição, considerado o mais suscetível.

Oliveira et. al (2018) avaliaram a resposta olfativa de *C. sordidus* a 20 genótipos de bananeira de vários subgrupos, em condição de laboratório, e constataram que os insetos são atraídos pelos compostos voláteis emitidos pelos rizomas, porém não constataram uma clara influência do genótipo, seja híbrido ou não, na atração dos insetos, sendo que a avaliação se deu por meio distribuição de pequenos pedaços de rizoma em um pequeno recipiente circular para se avaliar a visita dos insetos, o que pode vir a confundir/desorientar os mesmos em relação à localização de suas preferências. Tal condição experimental não reflete a condição de uma planta, as suas barreiras físicas, a distância entre as plantas dos diferentes genótipos num experimento de campo ou pomar comercial, portanto não se pode descartar a possibilidade da preferência/seletividade do inseto se dê com base nas preferências olfativas dos genótipos.

Padmanaban et. al (2020) avaliaram 310 genótipos de diferentes genomas de bananeira, em campo e em laboratório, para identificar acessos resistentes, com base no percentual de galerias na cessa transversal do rizoma, agrupando-os em quatro categorias (resistentes – 0%, menos suscetível – 1 a 10%, moderadamente suscetível – 11 a 50% e altamente suscetível – 51 a 100%). A triagem de campo classificou 160 acessos (51,6%) como sendo menos infestados, 40,64% como moderadamente infestados e 7,74% como altamente infestados. Quando foram avaliados em laboratório, 50 dias após a infestação artificial, sem opção de escolha por parte dos insetos, dos 160 genótipos avaliados em campo e classificados como menos infestados, três (1,87%) foram classificados como resistentes, 27,5% como pouco infestados, 53,1% como moderadamente infestados e 17,5% com alta infestação.

Os resultados obtidos por Padmanaban et. al (2020) demonstram que, apesar das preferências do *C. sordidus* por determinados genótipos e/ou subgrupos genômicos, de uma maneira geral a bananeira é suscetível à broca sobre condições de cultivos comerciais com um mesmo genótipo/cultivar, onde o inseto não tem a possibilidade de exercer sua preferência/seletividade, e as diferenças nos níveis de

lesões dos rizomas nos estudos de campo, onde se avaliam vários genótipos numa mesma área experimental, são mais em função da possibilidade do o *C. sordidus* poder exercer suas preferências na escolha dos genótipos onde irá realizar a ovoposição, do que propriamente numa possível resistência dos materiais analisados. Porém, é evidente que existem diferenças nos níveis de suscetibilidade dos genótipos.

## 4 CONCLUSÕES

Os genótipos 'Ambrósia' e 'Terrinha' mostraram-se resistentes à sigatoka-amarela, não tendo apresentado lesões foliares típicas da doença. Já os genótipos 'Grande Naine' e 'Red Yade' foram suscetíveis, com índice de sanidade das plantas de 63 e 73%, respectivamente, reduzindo o número de folhas fotossinteticamente ativas durante o desenvolvimento do cacho.

Quanto à murcha de *Fusarium*, o genótipo 'Ambrósia' mostrou-se resistente ao isolado E-883, ao passo que 'Nanicão' e 'Terrinha', assim como 'Prata', foram suscetíveis. Já o isolado E-884 apresentou maior severidade, uma vez que todos os genótipos foram suscetíveis e apresentaram maiores índices da doença para o sintomas internos, do que o isolado E-883.

As cvs Ambrósia e 'Grande Naine' mostraram-se resistentes à broca e apresentaram coeficientes de infestação (CI) médio por *C. sordidus*, inferiores a 3%, com lesões esporádicas restritas à região do córtex do rizoma, enquanto 'Terrinha' e 'Red Yade', com CI médio, variando entre 53 e 60%, e com galerias afetando tanto o córtex como o cilindro central do rizoma, mostraram alta suscetibilidade a infestação por *C. sordidus*.

Os baixos valores de CI observados em 'Ambrosia' e 'Grande Naine' não podem ser associados a resistência genética mas às preferências de escolha para ovoposição *C. sordidus*, portanto, plantios comerciais em áreas maiores, com uso destes genótipos, necessitam da adoção de medidas de manejo e controle da população do inseto, recomendadas para a cultura.

Tendo em vista as suas semelhanças quanto a aspectos como forma, aroma e sabor, o genótipo 'Ambrósia' mostra-se viável para o plantio comercial a fim de atender à demanda do mercado por frutos tipo Cavendish, possibilitando a redução dos custos de produção relacionados ao controle químico e cultural, especialmente da sigatoka,-amarela, aumentando a lucratividade e diminuindo os impactos ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, em decorrência do não uso e/ou da diminuição do uso de agrotóxicos.

Apesar de ser suscetível à sigatoka-amarela, 'Red Yade' apresentou uma baixa severidade, porém, ante à sua alta suscetibilidade a *C. sordidus*, a sua

recomendação para o plantio comercial deve se dar mediante a adoção de um rigoroso monitoramento e controle da broca-do-rizoma, pois, do contrário a produção será fortemente comprometida tanto em termos quantitativos como qualitativos, resultando em prejuízo aos produtores.

## REFERÊNCIAS

ALTSCHUL, S.F., GISH, W., MILLER, W., MYERS, E.W., LIPMAN, D.J. Basiclocal alignment Search tool. **J. Mol. Biol.**, 215:403-410, 1990.

ARANTES, A. de M.; DONATO, S.L.R.; SILVA, S. de O. e. Relação entre características morfológicas e componentes de produção em plátanos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.224-227, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000200015.

AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos; PEREIRA, C. F.; AMORIM, V. B. de O.; SILVA, S. de O. Melhoramento genético. *In*: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (Ed.). **O agronegócio da BANANA**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016, p.19-65.

BHERING, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17: 187-190p, 2017.

BRITO, F. S. D., FRAAIJE, B. ; MILLER, R. N. G. Sigatoka Disease Complex of Banana in Brazil: Management Practices and Future Directions. **Outlooks on Pest Management**, v.26, n.2, p.78-81, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1564/v26\\_apr\\_08](https://doi.org/10.1564/v26_apr_08)

CORDEIRO, Z. J. M., MATOS, A. P. Expressão da resistência de variedades de banana à Sigatoka-amarela. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 532-534. 2005.

DANTAS, D. J., MEDEIROS, A. C., NUNES, G. H. DE S., MENDONÇA, V., MOREIRA, M. A. B. Reação de cultivares de bananeira ao *Cosmopolites sordidus* no Vale do Açu – RN. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.3, p.152-155, 2011

DITA, M., BARQUERO, M., HECK, D., MIZUBUTI, E.S.G., STAVER, C.P. Fusarium Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. **Front. Plant Sci**, v.9:1468, 2018. doi: 10.3389/fpls.2018.01468

FANCELLI, M.; JESUS, S. C. de; SILVA, S. de O. e. Infestação de *Cosmopolites sordidus* em genótipos de bananeira. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. Frutas: saúde, inovação e responsabilidade: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.  
<http://www.bdpa.cnpia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=873732&biblioteca=vazio&busca=873732&qFacets=873732&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>  
<https://ainfo.cnpia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37019/1/ID27229pdf2344.pdf>

GARCÍA-BASTIDAS, F. A.; VAN DER VEEN, A. J. T.; NAKASATO-TAGAMI, G.; MEIJER, H. J. G; ARANGO-ISAZA, R. E.; KEMA; G H. J. An Improved Phenotyping Protocol for Panama Disease in Banana. **Front. Plant Sci**. v. 10: 1006, 2019. [https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01006\\_](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01006_)

HERCK, D. W., ALVES, G., MIZUBUTI, E. S. G. Weevil Borers Affect the Spatio-Temporal Dynamics of Banana Fusarium Wilt. **Journal of Fungi**, v.7, p.329-340, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7050329>

MARYANI, N., LOMBARD, L., POERBA, Y. S., SUBANDIYAH, S., CROUS, P. W., KEMA, G. H. J. .Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. **STUDIES IN MYCOLOGY**, v.92, p.155–194, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003>.

MCKINNEY, H.H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.26, p.195-218, Nov. 1923.

MESQUITA A. L. M. Importância e métodos de controle do “moleque” ou broca-dorizoma-da-bananeira. Embrapa Agroindústria Tropical, Circular Técnica 17, Fortaleza, 2003.

OLIVEIRA, F. T. DE; NEVES, P. M.O. J.; BORTOLOTTI, O. C, VENTURA, M. U. Respostas olfativas do moleque-da-bananeira (Coleoptera: Curculionidae) para diferentes genótipos de bananeira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n.4, p.329-336, 2018. Available:<https://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865040005>

OLIVEIRA, F. T. DE; NEVES, P. M.O. J.; BORTOLOTTI, O. C. Infestation of the banana root borer among different banana plant genotypes. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.47, n.1, e20151114, 2017. Available: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151114>.

PADMANABAN, B., KANNAN, M., THANGAVELU, R., UMA, S., BACKIYARANI, S., ASHIF, K. K. Identification of Banana corm weevil *Cosmopolites sordidus* germar resistance in *Musa* germplasm. **Indian Journal of Entomology**, v.82, p.537-542, 2020. DOI : 10.5958/0974-8172.2020.00134.0

PLOETZ, R. C. Variability in *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. **Can. J. Bot.**, v.68, p.1357-1363, 1990. <https://doi.org/10.1139/b90-173>

PLOETZ, R. C. Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. **Crop Protection**, 2015a. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007>

PLOETZ, R. C. Fusarium wilt of banana. **Phytopathology**. v.105, p. 1512-152. 2015b. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>

PLOETZ, R.C., CHURCHILL, A.C.L. Fusarium wilt: the banana disease that refuses to go away. In: In: Van den Bergh, I., Smith, M., Swennen, R., Hermanto, C. (Eds.), Proceedings of the International ISHS-ProMusa Symposium on Global Perspectives on Asian Challenges, vol. 897. Acta Hort. (ISHS), p. 519–526. 2011

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, L. R., SILVA, S. DE O., OLIVEIRO, S. A. S. DE, AMORIM, E. P., SEREJO, J. A. S., HADDAD, F. Sources of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense in banana germplasm. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 40, n. 1: (e-202), p.1-8, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018202>

ROCHA, A. DE J., SOARES, J. M. DA S., NASCIMENTO, F. DOS S., SANTOS, A. S., AMORIM, V. B. DE O., FERREIRA, C. F., HADDAD, F. SANTOS-SEREJO, J. A. DOS, AMORIM, E. P. Improvements in the Resistance of the Banana Species to Fusarium Wilt: A Systematic Review of Methods and Perspectives. **Journal of Fungi**, v.7, p.249-283, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7040249>

SÁNCHEZ, C.G., TIXIER, P., FERNÁNDEZ, A. T., BARBOZA, A. M. C., FERNÁNDEZ, J. A. S, BELLAIRE, L. DE L. DE. Can the banana weevil *Cosmopolites sordidus* be a vector of *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense race 1? Unravelling the internal and external acquisition of effective inoculum. **Pest Manag Sci**, v.77, p.3002-3012, 2021. Available: <https://doi.org/10.1002/ps.6339>

SANGER, F., COULSON, A.R. A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA by primed synthesis with DNA polymerase. *Journal of Molecular Biology*. v94, p. 441-448, 1975.

SILVA, P.R.O., JESUS, O. N. DE, BRAGANÇA, C. A. D., HADDAD, F., AMORIM, E. P., FERREIRA, C. F. Development of a thematic collection of *Musa* spp accessions using SCAR markers for preventive breeding against *Fusarium oxysporum* f. sp cubense tropical race 4. **Genetics and Molecular Research**, 15 (1): gmr.15017765, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15017765>

SMITH, M.K., DANIELLS, J.W., PEASLEY, D., O'NEILL, W., SAMUELIAN, S., WRIGHT, C., DRENTH, A. Field evaluation of six Gros Michel banana accessions (*Musa* spp., AAA group) for agronomic performance, resistance to *Fusarium* wilt race 1 and yellow Sigatoka. **Crop Protection**, v.113, p.84-89, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.009>

STOVER, R. H. A proposed international scale for estimating intensity of banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola*, Leach). **Trop. Agric.**, Trinidad, 48, 185-196, 1971.

TRESSON, P., TIXIER, P., PUECH, W., CARVAL, D. The challenge of biological control of *Cosmopolites sordidus* Germar (Col. Curculionidae): A review. **Journal of Applied Entomology**. v. 45, p.171-181, 2021.

VENTURA, J.A.; HINZ, R.H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. do; MONTEIRO, A.J.A.; COSTA, H. (eds.). **Controle de doenças de plantas fruteiras**. Viçosa-MG, 2002, v. 2, p. 839-937.

VILARDEBO, A. Le coefficient d'infestation, critère d'évaluation du degré d'attaques des bananeraies par *Cosmopolites sordidus* Germ. le charançon noir du bananier. **Fruits**, v.26, n.6, p.417-426, 1973.

## CONCLUSÕES GERAIS

'Ambrosia' foi resistente à sigatoka-amarela, a um isolado de murcha de Fusarium, foi pouco atrativa para broca-do-rizoma, teve a massa de cacho incrementa em 40% pelo uso da irrigação, superou a massa de cacho de Grand Naine em 30% na condição sequeiro e, mesmo sendo mais alta, manteve uma relação altura/diâmetro do pseudocaulé semelhante à de 'Grande Naine' e 'Red Yade' e menor que a de 'Terrinha', evidenciando ser resistente a ventos fortes, bem como o seu desempenho fotossintético foi melhor que o de 'Grand Naine' quando exposta ao déficit hídrico seguido de reidratação, o que pode estar relacionado à maior massa de cacho obtida no cultivo sem irrigação. Portanto, 'Ambrosia' apresenta uma alta viabilidade para ser cultivada comercialmente como uma alternativa à demanda do mercado por frutos tipo Cavendish.

'Red Yade' apresenta um porte baixo que facilita a colheita e a torna menos vulnerável a ventos fortes, é suscetível à sigatoka-amarela, mas apresenta baixa severidade, porém é fortemente infestada pelo broca-do-rizoma, a qual compromete/inviabiliza a sua produção tanto em termos quantitativos como qualitativos. Portanto, sua recomendação para cultivo comercial deve ser feita com cautela, e apenas mediante a adoção de medidas eficientes de monitoramento e controle da broca.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos; PEREIRA, C. F.; AMORIM, V. B. de O.; SILVA, S. de O. Melhoramento genético. *In*: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (Ed.). **O agronegócio da BANANA**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016, p.19-65,.

ANUÁRIO brasileiro de fruticultura. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2017. 88 p.

BASSETT, C. L. Water use and drought response in cultivated and wild apples, *In* **Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture**, (Eds) VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Tehran: InTech), 2013. doi: 10.5772/55537

BRANDÃO, L. P.; SOUZA, C. P. F.; PEREIRA, V. M.; SILVA, S. O.; SANTOS-SEREJO, J. A.; LEDO, C. A. S.; AMORIM, E. P. Descriptor selection for banana accessions based on univariate and multivariate analysis. **Genetic and Molecular Research**, v.12, p. 1603-1620, 2013.

DAMODARAN, T.; KUMAR, N.; KAVINO, M. Breeding and evaluation of Musa hybrids resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1. **Fruits**, Les Ulis, v. 64, n. 1, p. 3-12, 2009.

DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; MARQUES, P. R. R.; RODRIGUES, M. G. V. **Considerações ecofisiológicas e estratégias de manejo da bananeira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.36, n.288, p. 13-26, 2015.

DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; MARQUES, P. R. R.; ARANTES, A. de M. Considerações ecológicas, fisiológicas e de manejo. *In*: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (Ed.). **O agronegócio da BANANA**. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 45-110, 2016.

ECKSTEIN, K. and ROBINSON, J. C. Physiological responses of banana (Musa AAA; cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 5, p. 679– 692, 1996.

FAOSTAT. Food and agriculture organization of the united nations statistics division. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

FERRÃO, R. G.; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA-SOUZA, E. M.; ARANTES, L. de O.; COSTA, A. de F. S. da.; CARVALHO, P. L. P. T.; GALVÊAS, P. A. O. Genética e melhoramento : desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 6 e 7, p. 51-71, 2016.

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a drydown experiment. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, p.1-14, 2016.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p. 29-38, 2011.

GOMES, J.A.; NOBREGA, A.C.; VENTURA, J. A. **Comportamento de cultivares e clones de bananeira na região produtora do Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1989. 16 p. (EMCAPA. Documentos, 58).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal - PAM**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>> Acesso em: 18 jun. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018 – POF**. Rio de Janeiro, 114p., 2020. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101742>

KALLARACKAL, J; MILBURN, J. A.; BAKER, D. A. Water relations of the banana. III. Effects of controlled water stress on water potential, transpiration, photosynthesis and leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 79–90, 1990.

KISSEL, E.; VAN ASTEN, P.; SWENNEN, R.; LORENZEN, J.; CARPENTIER, S.C. Transpiration efficiency versus growth: Exploring the banana biodiversity for drought tolerance. **Scientia Horticulturae**, v.185, n., p.175-182, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.035>

LEITE, J. B. V; SILVA, S. DE O. E; ALVES, É. J; LINS, R D; JESUS, O. N. DE. Caracteres da planta e do cacho de genótipos de bananeira, em quatro ciclos de produção, em Belmonte, Bahia. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal , v. 25, n. 3, p. 443-447, 2003. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452003000300021&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452003000300021&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 02 dez. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300021>.

MAHOUACHI, J. Growth and mineral nutrient content of developing fruit on banana plants (*Musa acuminata* AAA, 'Grand Nam') subjected to water stress and recovery. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 82, n. 6, p. 839– 844, 2007.

MAHOUACHI, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, v. 120, n. 4, p. 460–466, 2009.

MAHOAUCHI, J.; LÓPEZ-CLIMENT, M.F.; GÓMEZ-CADENAS. A. Hormonal and hidroxcinnamic acids profiles in banana leaves in response to various periods of water stress. **The Scientific World Journal**, New York, v.2014, p.1-9, 2014.

MUTHUSAMY, M.;UMA, S.; BACKIYARANI, S.; SARASWATHI, M.S. Computational prediction, identification, and expression profiling of microRNAs in banana (*Musa spp.*) during soil moisture deficit stress. **The Journal of Horticultural Sciences & Biotechnology**, v.89, n.2, p.208-214, 2014.

NOBREGA, A. C.; GOMES, J. A.; VENTURA, J. A.; ARLEU, R. J.; ROCHA, A. C. da.; TEIXEIRA, C. P.; COSTA, H.; PAIVA, J. C. de A. EMCAPA 602 - **Ouro da mata**: mais uma alternativa para o bananicultor capixaba. Vitória, ES: Emcapa, 1990. Folder (EMCAPA. Documentos, 70).

NOBREGA, A.C.; VENTURA, J.A.; GOMES, J.A.; ARLEU, R. J. **Banana Mysore**: uma alternativa para o bananicultor capixaba. Vitória, ES: Emcapa, 1988. Folder (EMCAPA. Documentos, 49).

PESTANA, R.K.N.; AMORIM, E.P.; FERREIRA, C.F.; AMORIM, V.B.O.; OLIVEIRA, L.S.; LEDO, C.A.S.; SILVA, S.O. Genetic dissimilarity of putative gamma-ray-induced 'Preciosa' - AAAB-Pome type banana (*Musa sp.*) mutants based on multivariate statistical analysis. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 10, p. 3.976-3.986, 2011.

PUA, E.C.; LEE, Y.C. Expression of a ripening-related cytochrome P450 cDNA in Cavendish banana (*Musa acuminata* cv. Williams). **Gene**, Amsterdam, v. 305, p. 133-140, 2003.

RAVI, I., UMA, S., VAGANAN, M. M., & MUSTAFFA, M. M. Phenotyping bananas for drought resistance. **Frontiers in Physiology**, v.4, 2013. <http://doi.org/10.3389/fphys.2013.00009>

ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. "Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar 'Williams') in response to progressive depletion of available soil moisture," **Scientia Horticulturae**, vol. 30, no. 4, pp. 289–300, 1987.

ROBINSON, J. C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains**. 2nd ed. Cambridge: CAB, 2010.

SILVA, S.O.; MATOS, A.P.; ALVES, E.J. Melhoramento genético da bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p.693-703, 1998.

SILVA, S.O.; GASPAROTTO, L.; MATOS, A.P.; CORDEIRO, Z.J.M.; FERREIRA, C.F.; RAMOS, M.M.; JESUS, O.N. **Banana Breeding Program in Brazil** - Recent Results. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 39p.

SILVA, S. de. O. e; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos; PEREIRA, C. F.; RODRIGUEZ, M. A. D. **Melhoramento genético da bananeira**: estratégias e tecnologias disponíveis. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 919-931, set. 2013.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos**: cultivo e comercialización. 2.ed. San José: Litografía e Impresna LIL, 1992. 674 p.

STOVER, R. H., SIMMONDS, N. W. **Bananas**. 3rd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1987. 468 p.

THOMAS, D. S.; TURNER, D.W. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding, **Scientia Horticulturae**, vol. 90, no. 1-2, pp. 93–108, 2001.

THOMAS, D. S.; TURNER, D.W. Leaf gas exchange of droughted and irrigated banana cv. Williams (*Musa* spp.) growing in hot, arid conditions, **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, vol. 73, no. 3, pp. 419–429, 1998.

TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A.; THOMAS, D.S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goitacazes, v.19, n.4, p. 463-484, 2007.

VANHOVE, A.C.; VERMAELEN, W.; PANIS, B.; SWENNEN, R.; CARPENTIER, S.C. Screening the banana biodiversity for drought tolerance: can an in vitro growth model and proteomics be used as a tool to discover tolerant varieties and understand homeostasis. **Frontiers in Plant Science**, Paris, v.3, n.176, p.1-10, 2012.

VENTURA, J. A.; CAETANO L. C.; COSTA, A. F. S.; SILVA, S. O.; ARLEU, R. J.; COSTA, H.; LAZZARINE, A. L.; GOMES, J. Á. '**Tropical**': Cultivar de banana tipo maçã para o Espírito Santo. Vitória: Incaper, 2013. (Boletim Técnico, 223)

VENTURA, J.A.; SILVA, S. de O.; GOMES, J.A.; ARLEU, R. J.; COSTA, H.; GASPARATTO, L.; PEREIRA, J.C.R.; PEREIRA, M.C.N.; PACOVA, B.E.V. **Vitória e Japira**: novas cultivares de bananeira. 4 ed. Vitória, ES: Incaper, 2011.

VENTURA, J. A.; GOMES, J. A. **Recomendações técnicas para o cultivo da bananeira no Estado do Espírito Santo**. 1 ed. Vitória, ES: Incaper, 2005. 41 (Incaper. Documentos, 141).