

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO EM MANDIOCA E  
EFEITO DE FATORES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE  
FLORES E FRUTOS**

**ALEXANDRA DAMASCENO SANTOS**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
SETEMBRO - 2022**

# **INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO EM MANDIOCA E EFEITO DE FATORES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FLORES E FRUTOS**

Alexandra Damasceno Santos  
Bacharel em Biotecnologia, UFBA, 2018

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

**Orientador:** Dr. Eder Jorge de Oliveira

**Coorientadores:** Dr<sup>a</sup>. Massaine Bandeira e Sousa

Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**SETEMBRO – 2022**

## Ficha catalográfica

S237i

Santos, Alexandra Damasceno.

Indução de florescimento em mandioca e efeito de fatores ambientais na produção de flores e frutos / Alexandra Damasceno Santos. \_ Cruz das Almas, BA, 2022.

101f.; il.

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

Orientador: Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira. Coorientador: Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves. Coorientadora: Dra. Massaine Bandeira e Sousa.

1.Mandioca – Reguladores de crescimento. 2.Mandioca – Melhoramento genético. 3.Aspectos ambientais – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.682

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.  
Responsável pela Elaboração Antônio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário  
- CRB5 / 1615).


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO EM MANDIOCA E EFEITO DE  
FATORES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FLORES E FRUTOS**


Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de

Alexandra Damasceno Santos

Aprovada em: 25 de outubro, 2022

Documento assinado digitalmente  
 EDER JORGE DE OLIVEIRA  
Data: 02/02/2023 17:26:38-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Examinador Interno (Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 MARILZA NEVES DO NASCIMENTO RIBEIRO  
Data: 06/02/2023 17:34:03-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr<sup>a</sup>. Marilza Neves do Nascimento Ribeiro  
Universidade Estadual de Feira de Santana / UEFS  
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente  
 WEVERTON GOMES DA COSTA  
Data: 06/02/2023 17:13:37-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Weverton Gomes da Costa  
Universidade Federal de Viçosa / UFV  
Examinador Externo

## DEDICATÓRIA

A **Deus**, por me conceder saúde e sabedoria para seguir sempre em frente. Obrigada por ser a minha força e o meu guia em todos os momentos. A ti, Senhor, toda honra e toda a glória.

À minha mãe, **Marta e aos meus irmãos**, pelo apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida. Por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês, nada seria possível.

Aos meus **amigos**, que mesmo com a distância, sempre se fizeram presentes na minha vida e estarão sempre em meu coração. Obrigada pelo companheirismo, apoio e amizade incondicional, por sempre acreditarem em mim e por tornarem os dias mais leves.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por sempre colocar pessoas maravilhosas em meu caminho, as quais me fazem acreditar em um mundo melhor e me encorajam a prosseguir. Obrigada por nunca soltar a minha mão e me guiar em todos os momentos.

À minha **família**, Marta, Miguel, Lucas, Isaac, Fernanda, Cândida, Isabela, Marcia e todos os outros que sempre se fazem presentes. Vocês são sinônimo de amor e união. Obrigada por toda ajuda nos momentos bons e ruins. Sempre me motivando a seguir em frente. É muito bom saber que posso contar com vocês, em todos os momentos. Sem vocês eu não teria forças para continuar.

Aos **amigos** de longa data, e aos amigos que fiz durante a pós-graduação. Os conselhos e ensinamentos de vocês, me deram força para prosseguir.

Ao meu **orientador**, Dr Eder Jorge de Oliveira, pela oportunidade de realizar este trabalho. Obrigada pela confiança e por todos os ensinamentos compartilhados.

Aos meus **coorientadores**, Drs Alfredo Alves e Massaine Bandeira, por toda a ajuda durante a realização deste trabalho. A contribuição de vocês foi essencial para a concretização de todas as pesquisas desenvolvidas neste Programa de pós-graduação.

A toda a **equipe mandioca**, que se fez presente em todas as etapas para a realização dos experimentos. Muito obrigada pela atenção e paciência.

A **agência de fomento CAPES**, pela concessão da bolsa, tornando possível a minha estadia e organização para o desenvolvimento do trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

# INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO EM MANDIOCA E EFEITO DE FATORES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FLORES E FRUTOS

## RESUMO GERAL

Um dos principais entraves no melhoramento de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é a baixa taxa de florescimento que dificulta a obtenção de grande número de indivíduos por progênie. O objetivo do trabalho foi avaliar a indução do florescimento em mandioca, considerando variáveis como fotoperíodo, poda prematura das ramificações e uso de reguladores de crescimento, além de avaliar a influência de fatores ambientais no florescimento, em plantios realizados em diferentes épocas do ano. No primeiro estudo foram avaliados oito clones de mandioca em esquema fatorial com dois fotoperíodos (sem e com extensão do fotoperíodo com luz vermelha por 12 horas), dois níveis de poda prematura (com e sem poda) e dois níveis de reguladores de crescimento vegetais (com e sem aplicação). A extensão do fotoperíodo reduziu 35 dias o início da primeira ramificação (ND1R), além do efeito significativo para altura da primeira ramificação (A1R) e número de ramificações (NER) (até 240 dias após o plantio). Entretanto, não houve efeito significativo para número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM). A poda no 1° e 2° nível de ramificação proporcionou aumento do NFF e NFM em comparação com o controle. A poda associada com a aplicação dos reguladores, resultou em aumento no NFF independentemente da quantidade de ramificações. No segundo estudo, foram avaliados 37 clones de mandioca em quatro épocas (plantios a cada dois meses, com primeiro plantio em setembro de 2020). As avaliações quinzenais para florescimento e frutificação revelaram diferença significativa em função da época de plantio. A terceira época de plantio (Ep3), resultou em florescimento precoce (dois meses após o plantio), com nota ponderada pelo florescimento precoce de 10,40 e escore de florescimento de 0,56, superior (52 e 60%, respectivamente) em comparação com a primeira época (Ep1). As condições ambientais correlacionadas com o aumento do florescimento foram temperatura e graus dias acumulados. Os resultados obtidos auxiliarão os melhoristas no planejamento dos campos de cruzamento para acelerar o florescimento e aumentar a quantidade de progênies em cada ciclo de cruzamento.

**Palavras-chave:** Cultivar, fotoperíodo, *Manihot*, regulador de crescimento, temperatura.

# FLOWERING INDUCTION IN CASSAVA AND ENVIRONMENTAL EFFECT ON FLOWER AND FRUIT PRODUCTION

## GENERAL ABSTRACT

One of the main limitations in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) breeding is the flowering rate that hinders the obtaining of a large number of individuals per progeny. The objective of this work was to evaluate the flowering induction in cassava, considering variables such as photoperiod, early branches pruning and use of growth regulators, in addition to evaluating the influence of environmental factors on flowering in plantations carried out at different times of the year. In the first study, eight cassava clones were evaluated in a factorial scheme with two photoperiods (with and without photoperiod extension with red light for 12 hours), two levels of early pruning (with and without pruning) and two levels of plant growth regulators (with and without application). The photoperiod extension reduced the onset of the first branch (ND1B) by 35 days, in addition to the significant effect for the height of the first branch (H1B) and the number of branches (NOB) (up to 240 days after planting). However, there was no significant effect for the number of female (NFF) and male (NMF) flowers. Pruning at the 1st and 2nd branching levels provided an increase in NFF and NMF compared to the control. Pruning associated with the application of regulators resulted in an increase in NFF regardless the number of branches. In the second study, 37 cassava clones were evaluated in four seasons (planting every two months, with first planting in September 2020). Biweekly evaluations for flowering and fruiting revealed a significant difference depending on the planting time. The third planting season (Sp3) resulted in early flowering (two months after planting), with an early flowering weighted score of 10.40 and a flowering score of 0.56, higher (52 and 60%, respectively) compared to the first season (Sp1). The environmental conditions correlated with the increase in flowering were temperature and accumulated degree days. The results obtained will help breeders in the planning of crossing fields to accelerate flowering and increase the number of progenies in each crossing cycle.

**Keywords:** Grow crops, photoperiod, *Manihot*, growth regulator, temperature.



## LISTA DE ABREVIATURAS

$h_a^2$	Herdabilidade no sentido amplo
$h_c^2$	Herdabilidade de <i>Cullis</i>
A1R	Altura da primeira ramificação
BA	6-Benzyladenine
EF	Extensão de fotoperíodo
Ep1	Época 1
Ep2	Época 2
Ep3	Época 3
Ep4	Época 4
ND1R	Número de dias para início da primeira ramificação
NER	Número de eventos de ramificações
NFF	Número de flores femininas
NFM	Número de flores masculinas
NM	Nota de florescimento médio
NP	Nota ponderada de florescimento
RCV	Regulador de crescimento vegetal
STS	Tiosulfato de prata

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1** – Relação de clones de mandioca avaliados com tratamento de fotoperíodo, poda e reguladores de crescimento, de acordo às suas intensidades de floração previamente conhecidas.....44

**Tabela 2** – Resumo da análise de variância para os efeitos de extensão do fotoperíodo para as características número de dias para primeira ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R) e número de eventos de ramificação (NER), número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM), avaliados em oito genótipos de mandioca.....48

**Tabela 3** – Análise de variância dos efeitos de extensão do fotoperíodo para as características número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM) avaliadas para dois níveis de ramificação, em oito genótipos de mandioca.....51

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1** – Lista dos 37 acessos de mandioca avaliados quanto à influência de fatores ambientais no florescimento e produção de frutos, bem como forma de obtenção e local de coleta/geração dos genótipos.....72

**Tabela 2** – Descrição das datas de plantio para cada época avaliada.....73

**Tabela 3** – Estimativas de herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) e de *Cullis* ( $h_c^2$ ) e resumo da análise de variância por época de plantio e conjunta para características associadas ao florescimento em mandioca, avaliados em genótipos de mandioca em quatro épocas de plantio, no período de setembro de 2020 a maio de 2022.....78

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1** – Precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de agosto de 2020 a agosto de 2021 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.....45

**Figura 2** – Teste de médias de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para número de dias para primeira ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de ramificação (NER) até 240 dias após o de plantio, número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), avaliados em oito genótipos de mandioca sem (NE) e com extensão de fotoperíodo (EF).....49

**Figura 3** – Médias ajustadas das características: dias para início de ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de ramificações (NER – avaliados até 240 dias após o plantio), número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM) em dois tratamentos de fotoperíodos: noite escura (NE), representado pela cor azul, e extensão de fotoperíodo (EF), representado pela cor vermelha; \* representa diferenças significativas a 5% de significância pelo teste de Tukey.....50

**Figura 4** – Boxplots dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), em relação aos tratamentos de poda, poda+ RCV e ao nível de ramificação R1, primeiro nível de ramificação; R2, segundo nível de ramificação avaliados em oito genótipos de mandioca. Linhas superiores representam diferenças estatísticas a 5% de significância obtidas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....52

**Figura 5** – Boxplots dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), em relação aos tratamentos de poda, poda com uso de reguladores de crescimento vegetal (RCV), avaliados em oito genótipos de mandioca. Linhas superiores representam diferenças estatísticas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....53

**Figura 6** – Boxplots dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM) para oito genótipos de mandioca avaliados em relação ao tratamento poda e os níveis de ramificação (R1, primeiro nível de ramificação; R2, segundo nível de ramificação). Linhas superiores representam diferenças estatísticas a 5% de significância obtidas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....55

**Figura S1** – Médias do número de flores femininas e masculinas, precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de agosto de 2020 a agosto de 2021 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.....66

## CAPÍTULO 2

**Figura 1** – Precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de setembro de 2020 a maio de 2022 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.....74

**Figura 2** – Médias fenotípicas de 37 acessos de mandioca avaliados em quatro épocas de plantio para as características, ND1R: número de dias para início da primeira ramificação; NP: nota ponderada de florescimento; NM: nota média de florescimento; NTF: número total de frutos; NER: número de eventos de ramificação; A1R: altura da primeira ramificação. Linhas superiores representam diferenças estatísticas a 5% de significância obtidas pelo teste *Tukey*.....79

**Figura 3** – Método *K-means* para as quatro épocas de plantio avaliadas.....82

**Figura 4** – Análise de componentes principais (PCA) de características relacionadas ao florescimento de 37 genótipos de mandioca avaliados em quatro épocas de plantio. ND1R: número de dias para início da primeira ramificação; NP: nota ponderada de florescimento; NM: nota média de florescimento; NTF: número total de frutos; NER: número de eventos de ramificação; A1R: altura da primeira ramificação.....82

**Figura 5** – *Boxplots* para as características notas ponderadas (NP) e médias (NM) de florescimento, além de número total de flores (NFT) considerando os agrupamentos obtidos pelo método *k-means* a partir da análise de componentes principais (PCA) de 37 genótipos de mandioca, para quatro épocas de plantio....83

**Figura 6** – *Boxplots* para as características número de eventos de ramificação (NER), número de dias para a primeira ramificação (ND1R) e altura da primeira ramificação (A1R), considerando os agrupamentos obtidos pelo método *k-means* a partir da análise de componentes principais (PCA) de 37 genótipos de mandioca, para quatro épocas de plantio.....84

**Figura 7** – Desempenho médio de florescimento, em relação a temperatura, graus dias acumulados e precipitação, durante as estações avaliadas, para as quatro épocas de plantio (dados por quinzena). As letras correspondem as estações, P: primavera; V: verão; O: outono, I: inverno.....86

**Figura 8** – Correlação entre a temperatura, precipitação e graus dias acumulados em relação ao número de dias para início da primeira ramificação (ND1R).....88

**Figura 9** – Porcentagem de florescimento, em relação a temperatura, precipitação e graus dias acumulados avaliados quinzenalmente em quatro épocas de plantio. As letras correspondem as estações, P: primavera; V: verão; O: outono, I: inverno...89

**Figura S1** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número de dias para início da primeira ramificação (ND1R), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....98

**Figura S2** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número de eventos de ramificações (NER), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....99

**Figura S3** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da nota média de florescimento (NM), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....100

**Figura S4** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da nota ponderada de florescimento (NP), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....101

**Figura S5** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da altura da primeira ramificação (A1R), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....102

**Figura S6** – BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número total de frutos (NFT), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.....103

## SUMÁRIO

<b>1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1 Panorama geral da cultura da mandioca.....	19
2.2 Melhoramento genético da mandioca: objetivos e entraves.....	20
2.3 Florescimento em mandioca.....	22
2.4 Indução floral via reguladores de crescimento.....	23
2.5 Fatores ambientais no florescimento de mandioca.....	25
<b>3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Efeitos da extensão do fotoperíodo, da poda prematura e de reguladores de crescimento na indução do florescimento em mandioca.....</b>	<b>37</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>37</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>38</b>
<b>1.0 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>2.0 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
2.1 Germoplasma e condução experimental.....	44
2.2 Poda e aplicação de reguladores de crescimento vegetal.....	45
2.3 Coleta e análise de dados fenotípicos.....	46
<b>3.0 RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
3.1 Efeito do fotoperíodo no desenvolvimento de genótipos de mandioca.....	46
3.2 Efeito da poda prematura e aplicação de reguladores de crescimento vegetal.....	49
<b>4.0 DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>
4.1 Ação do fotoperíodo na precocidade do florescimento, número médio de eventos de ramificações e número de flores em mandioca.....	55
4.2 Efeito da poda e reguladores de crescimento vegetais sobre a produção de flores em mandioca.....	58
4.3 Perspectivas de aplicação dos resultados no melhoramento da mandioca.....	59
<b>5.0 CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 2 – Influência de fatores ambientais na produção de flores de mandioca.....</b>	<b>67</b>
<b>1.0 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>2.0 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>71</b>
2.1 Material vegetal.....	71
2.2 Condução experimental.....	73
2.3 Coleta de dados.....	75
2.4 Análises estatísticas.....	76
2.5 Análises de componentes principais.....	77
2.6 Análises das variáveis climáticas.....	77
<b>3.0 RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
3.1 Análise de variância multivariada e herdabilidade.....	77
3.2 Performance fenotípica de genótipos de mandioca para atributos associados ao florescimento em diferentes épocas de plantio.....	80

3.3 Análise de componentes principais.....	82
3.4 Fatores climáticos e indução do florescimento.....	85
<b>4.0 DISCUSSÃO.....</b>	<b>90</b>
4.1 Influência das épocas de plantio no florescimento de mandioca.....	90
4.2 Fatores climáticos e nível de florescimento.....	90
4.3 Perspectivas do agrupamento de genótipos para otimização da floração no melhoramento da mandioca.....	92
<b>5.0 CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem ganhado importância nas últimas décadas em função da sua importância socioeconômica. A cultura fornece segurança alimentar em muitas regiões do mundo, além de se destacar como a segunda fonte de amido do mundo (STAPLETON, 2012). Além disso, é utilizada na indústria, como matéria prima para produção de diversos produtos e subprodutos como álcool, papelão, cola (HOWELER, 2013), e como biocombustível (LATIF; MÜLLER, 2015). Portanto, os programas de melhoramento da mandioca no Brasil e em outros países da América Latina e África, tem elevado o número de pesquisas, com o objetivo final de obter genótipos superiores que atendam às demandas específicas dos produtores e da indústria.

Para a seleção de genótipos superiores é necessário aumentar e explorar a variabilidade genética. Para isso, hibridações ou autofecundações artificiais são realizadas com o objetivo de produzir sementes. No entanto, uma das grandes barreiras neste processo é a ausência ou reduzida taxa de florescimento e ausência na sincronização do florescimento entre os genótipos (CEBBALLOS et al., 2017). Estudos demonstram que algumas cultivares de mandioca não produzem flores viáveis, ou florescem com idade superior a 12 meses (ADEYEMO et al., 2018; CEBALLOS et al., 2017; MCGARRY et al., 2017), o que prolonga a obtenção de sementes e, conseqüentemente, o ciclo de melhoramento da espécie.

O desenvolvimento de novos genótipos de mandioca com porte de planta ereta e com ausência de ramificações, para atender as demandas crescentes do plantio mecanizado, tende a selecionar genótipos que florescem tardiamente. O uso desses genótipos como parentais em ciclos de seleção recorrente resulta em produção limitada de sementes, por isso é necessário buscar alternativas para a indução do florescimento. Alguns fatores externos demonstram ser eficazes na indução do florescimento como a temperatura, pluviosidade, alteração do fotoperíodo (HA, 2014; ADEYEMO et al., 2018), os reguladores de crescimento (YANG et al., 2016; HYDE et al., 2019) e enxertia (SOUZA et al., 2020).

Alguns aspectos fisiológicos podem ajudar a explicar as dificuldades de florescimento em alguns genótipos. A transição floral durante o estágio vegetativo para o estágio reprodutivo no meristema das gemas apicais do caule, requer reprogramação genética do meristema caulinar, que está sob a influência de um



processo complexo de fatores endógenos (hormônios) e ambientais (temperatura e fotoperíodo) (BERNIER; PÉRILLEUX, 2005; YANG et al., 2016). Essa transição no meristema apical pode ser induzida pela aplicação exógena de reguladores de crescimento como auxinas, giberelinas, ácido abscísico e etileno, e por fatores ambientais (YANG et al., 2016). Dentre eles a 6-benziladenina (BA) se destaca por ser um regulador que aumenta a atividade meristemática, o desenvolvimento floral e a produção de grãos (ABDELGADIR et al., 2010; PAN; XU, 2011). Na cultura da mandioca, ainda não há estudos demonstrando o efeito na indução do florescimento por meio da aplicação exógena por 6-benziladenina (BA).

A antese ocorre no período da tarde, sofrendo influência direta de altas temperaturas e exposição solar (ADEYEMO et al., 2018). Além disso a influência dos fatores ambientais na expressão do gene FT (*Flowering Locus T*), sugere que o fotoperíodo juntamente com a temperatura auxilia na sinalização direta desse gene e conseqüentemente na indução do florescimento em plantas (HAO et al., 2015; HA et al., 2013). A cultura da mandioca necessita de noites mais curtas para florescer, favorecendo a atuação do fitocromo na indução do florescimento (AMANSINO, 2010; CASHMORE et al., 1999). Desta forma, o prolongamento do dia através do fotoperíodo estendido associado a utilização da luz vermelha gera forma ativa do fitocromo, que está diretamente ligada ao florescimento de plantas de dias longos (PAIK; HUQ, 2019). A associação da extensão do fotoperíodo associado a luz vermelha, como relatados em estudos anteriores, leva a atuação de pigmentos de absorção de luz vermelha a promoverem respostas morfogênicas que podem induzir o florescimento, além de atuar diretamente da indução do gene FT (ANDRÉS; COUPLAND, 2012).

O presente trabalho, possibilitará compreender os fatores abióticos que influenciam o florescimento da mandioca. Assim, será possível o planejamento adequado dos blocos de cruzamentos, viabilizando a hibridização artificial e, conseqüentemente, a obtenção de uma maior variabilidade genética (HYDE et al., 2016). Além disso, técnicas que proporcionam uma indução eficiente no florescimento levam ao aumento da produção de flores femininas, proporcionando uma maior produção de sementes (HEFFNER et al., 2009; WOLFE et al., 2017). Desta forma este trabalho visa: 1) avaliar a extensão do fotoperíodo por meio da extensão do fotoperíodo, a poda prematura e aplicação de reguladores de crescimento, e seus efeitos no florescimento de genótipos de mandioca no

Recôncavo da Bahia; e *ii*) compreender a influência de fatores ambientais no florescimento das cultivares, através de plantio em diferentes épocas.

## 2.0 REFERENCIAL TEORICO

### 2.1 Panorama geral da cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), conhecida popularmente como aipim ou macaxeira, pertence à família Euphorbiaceae (ALVES, 2002). O gênero *Manihot*, possui aproximadamente 101 espécies (MENDOZA et al., 2018) e, dentre elas, a *M. esculenta* se destaca por ser a única espécie com importância socioeconômica (ALLEM, 2002). A mandioca tornou-se uma fonte importante de alimento nos países em desenvolvimento para cerca de 800 milhões de pessoas (NASSAR, 2010). Além da alimentação humana, a mandioca destaca-se também pelo seu uso na alimentação animal e na indústria como matéria prima para produção de diversos produtos e subprodutos como álcool, papelão, cola (HOWELER, 2013) e como biocombustível (LATIF; MÜLLER, 2015). O principal componente da raiz é o amido, constituindo cerca de 80% do peso seco da raiz, sendo utilizado para produção de alimentos, madeira compensada, papel e têxteis, além de ser matéria-prima para a produção de adoçantes, frutose e outros produtos (CONAB, 2020).

A mandioca é principalmente cultivada em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, com destaque para países do continente africano, do sudeste asiático e América Latina (HERSHEY, 2020). A mandioca tem um enorme potencial de geração de empregos diretos e indiretos, impulsionando a economia agrícola desses países (USDA, 2022). Níveis recordes de produção de raízes foram obtidos em 2012, devido ao comércio global de produtos da mandioca e o crescimento da cultura no continente africano (HOWELER et al., 2013). A Nigéria lidera a produção de raízes de mandioca, seguida pela República Democrática do Congo, Tailândia e Gana, com uma produção de 59,19; 40,05; 31,07 e 22,44 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2020).

O Brasil, centro de origem da cultura, se destaca como o 5º maior produtor mundial com produção de 17,49 milhões de toneladas, apresentando área colhida de 1,19 milhões de hectares e um rendimento médio de cerca de 14,70 t.ha<sup>-1</sup> (FAO, 2020). No entanto, esses valores ainda não representam o potencial produtivo da cultura, estimado em mais de 79 t.ha<sup>-1</sup> (OLIVEIRA et al., 2012). Nos últimos 20 anos, o Brasil obteve um decréscimo de 16% na produção da cultura, passando de

20 milhões em 1999 para 18 milhões de toneladas em 2022, o que é o oposto ao que vem ocorrendo em outros países produtores de mandioca (CONAB, 2022).

No Brasil, as regiões de destaque no cultivo de mandioca são a Norte e Nordeste com aproximadamente 67% da produção brasileira (IBGE, 2020). De modo geral, as regiões produtoras apresentam diferentes cenários produtivos, destacando algumas peculiaridades na produção regional. A região Norte permanece se destacando com 36,4% do volume de produção nacional, seguida pela região Nordeste (30,7%), Sul (15,6%), Sudeste (9,9%) e Centro Oeste (5,4%) (IBGE, 2020). A região Norte apresenta clima favorável ao desenvolvimento da cultura, o que reflete no seu maior volume de produção em relação a região Nordeste, que sofre com vastos períodos de estiagem. Já na região Sul, apesar de não possuir a mesma condição climática da região Norte, emprega-se um elevado padrão tecnológico nas lavouras, refletindo na maior produtividade média (23.641 kg ha<sup>-1</sup>) entre as regiões brasileiras (IBGE, 2020).

A mandioca apresenta ampla adaptação em solos com baixa fertilidade e disponibilidade de água (EL-SHARKAWY, 2007). Essas adaptações, exigem um menor uso de insumos agrícolas e manejo técnico especializado quando comparado com outras culturas, o que contribui para sua utilização na agricultura familiar em todas as regiões do Brasil (AKINGBALA, 2011). Na região Norte, a mandioca é cultivada principalmente por pequenos produtores, sendo uma importante fonte de renda e subsistência na agricultura familiar (ROSA et al., 2014). Entretanto, mais de 90% da produção é obtida com o emprego de um baixo nível tecnológico na lavoura e falta de padronização no plantio, o que aumenta os custos de produção e reduz a produtividade (ALVES; MODESTO JUNIOR, 2013).

## **2.2 Melhoramento genético da mandioca: objetivos e entraves**

Os programas de melhoramento genético da mandioca são os responsáveis pelo processo contínuo de busca por novas cultivares que apresentem ampla adaptação, elevado desempenho agrônômico, qualidade nutricional e resistência a pragas e doenças (ANDRADE et al, 2019; HOHENFELD et al, 2018). Além disso, o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas as mudanças climáticas, é importante, visto que o clima afeta diretamente o desenvolvimento de todas as culturas.

Para fins comerciais, a multiplicação da mandioca é realizada por propagação vegetativa (ODIPIO et al., 2020). No geral, os agricultores apresentam preferência por cultivares com porte ereto e sem a presença de ramificações laterais por facilitar o plantio mecanizado e os tratos culturais (SILVA SOUZA et al., 2018). Além disso, essas características também facilitam o transporte e armazenamento das hastes (CEBALLOS et al., 2015). Entretanto, como o florescimento é altamente correlacionado com a presença de ramificações na planta (CEBALLOS et al., 2017), esta característica tem sido um importante entrave na introgressão de alelos na cultura da mandioca.

No melhoramento convencional, as sementes são obtidas por meio de autofecundações ou cruzamentos controlados e em seguida usadas como fonte de variação genética para a seleção de genótipos superiores e desenvolvimento de linhagens parciais de mandioca (ROJAS et al. 2009; FREITAS et al. 2016; OLIVEIRA et al., 2018). Para a obtenção de um número suficiente de sementes, para formação de um novo ciclo de seleção, é necessário que o florescimento ocorra de forma rápida e sincronizada (HEFFNER et al., 2009; WOLFE et al., 2017).

Em mandioca, alguns desafios impostos ao planejamento dos cruzamentos referem-se à falta de sincronização do florescimento, pois alguns clones florescem de forma precoce (4-5 meses após o plantio - MAP), enquanto outros florescem mais tardiamente (>12 MAP) (CEBALLOS et al., 2015; ADEYEMO et al., 2019; CEBALLOS et al., 2017; MCGARRY et al., 2017). Um estudo recente com mais de 1000 acessos de mandioca demonstrou que o florescimento em mandioca é bastante dependente do material genético, pois foram identificados acessos com florescimento variando de precoce a tardio, acessos com florescimento constante ao longo do ano independente das condições climáticas, ou mesmo acessos que não apresentaram nenhuma produção de flores ou frutos durante os 12 meses de avaliação (SOUZA et al., 2020).

Situações como essas demandam conhecimento prévio da fenologia do florescimento dos progenitores envolvidos nos cruzamentos para planejar plantios escalonados no tempo visando garantir a sincronização do florescimento nos blocos de cruzamento. Portanto, a aplicação de técnicas de indução floral na fase reprodutiva dessa cultura, como poda prematura das ramificações laterais, uso de reguladores de crescimento e a análise da influência das variações ambientais, tem

se mostrando alternativas promissoras para contornar as limitações relacionadas ao florescimento da mandioca.

### 2.3 Florescimento em mandioca

A mandioca é uma espécie monoica com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência, que são rodeadas por brácteas e panículas terminais ou axilares (ALVES, 2002). As flores apresentam perianto formado por cinco pétalas, podendo ser amarelas, roxas ou vermelhas (CEBALLOS et al., 2017). A iniciação floral ocorre no meristema apical, estimulando a formação de uma forquilha (ramificação), que dá origem entre dois a quatro ramos, formando uma axila onde ocorre o desenvolvimento da inflorescência, essa formação de ramos ocorre periodicamente no meristema, criando o aparente eixo principal ou caule da planta, composto de eixos secundários sucessivos (ADEYEMO et al., 2019).

As flores femininas são formadas primeiro na base da inflorescência, e após cerca de 7 a 14 dias, surgem as flores masculinas na parte superior (PERERA et al., 2013). As flores femininas são caracterizadas por possuírem um pedicelo menos desenvolvido e seu perianto se divide até a base, com cinco pétalas coloridas na porção ventral. Sua parte reprodutiva é representada pelo estigma largo, de cor variada e ovário na porção superior, possuindo três carpelos com óvulos individuais, que amadurecem dando origem a, no máximo, três sementes (ALVES, 2002).

Já as flores masculinas são menores, estão em maior número e possuem um pedicelo caracterizado por cinco pétalas sobrepostas. Os discos das flores masculinas são divididos em 10 lóbulos, no centro da flor encontra-se um ovário rudimentar envolto por um disco intraestaminal com nectários (ALVES, 2002). Entre essas estruturas, que dão início a formação do ovário, podem ser observados dez estames internamente e externamente, sendo que a localização externa é a mais desenvolvida. A antera se localiza na porção terminal desses estames, sendo revestidos por tecidos esporogênicos, que por sua vez dão origem aos grãos de pólen, de coloração e tamanho variando entre amarelo e laranja e entre 122 e 148  $\mu\text{m}$ , respectivamente (ADEYEMO et al., 2019).

Quanto à transição floral, todas as plantas superiores compartilham de alguns mecanismos comuns que controlam a mudança do meristema vegetativo

para o reprodutivo, nas gemas apicais do caule. Essa transição do estágio vegetativo para o estágio reprodutivo requer reprogramação genética do meristema caulinar, que muitas vezes está sob a influência de fatores ambientais, além de um processo complexo de fatores endógenos, como os reguladores de crescimento auxinas, giberelinas, ácido abscísico e etileno (BERNIER; PÉRILLEUX, 2005; YANG et al., 2016).

#### **2.4 Indução floral via reguladores de crescimento**

Os hormônios vegetais ou fitohormônios são substâncias que influenciam diversos processos bioquímicos e fisiológicos nos vegetais (LIU et al., 2010). A ação de cada fitohormônio é determinada pela atuação direta ou indireta nas rotas metabólicas em diferentes estádios nos vegetais (VANSTRAELEN; BENKOVÁ, 2012). A auxina é um fitohormônio fundamental na iniciação dos órgãos florais do meristema, possuindo influência na iniciação e manutenção do órgão floral, promovendo o desenvolvimento da flor (CHENG; ZHAO, 2007). Alterações no transporte da auxina acarretam em defeitos na floração envolvendo alteração no número de órgãos florais e na sua morfologia. Além disso, a auxina possibilita a maturação de anteras e desenvolvimento do pólen (FENG et al, 2006).

Em relação ao ácido abscísico (*abscisic acid*, ABA), Hubbard et al. (2010) relatam que esse hormônio regula e/ou controla muitos processos-chave na planta, incluindo a germinação de sementes, desenvolvimento e, especialmente, tolerância a estresses abióticos, por meio do controle da abertura e fechamento estomático durante deficiência hídrica. Já as giberelinas estão envolvidas no desenvolvimento de pétalas e estames, regulação da fertilidade e o alongamento do filamento do pólen por meio da supressão de proteínas DELLA (CHENG et al., 2004; OLSZEWSKI et al., 2002). A redução dos níveis de giberelinas promovido pelo etileno, promove o acúmulo de proteínas DELLA, e esse acúmulo é responsável pelo atraso no florescimento e inibição de genes do florescimento (LEAFY e SOC1) (ACHARD et al., 2007).

Outros fitohormônios que também atuam no desenvolvimento de anteras e pólen, e estão diretamente relacionadas à esterilidade masculina, são as citocininas (CKs) e o ácido jasmônico (HUANG et al., 2003; CHANDLER, 2011; ACOSTA et al., 2009). Além desses, os brassinosteróides estão envolvidos no

controle do desenvolvimento de anteras e na feminização da flor masculina, como mostrado em estudos realizados em milho (HARTWIG et al., 2011).

As citocininas são hormônios vegetais que possuem influência na atividade meristemática de brotos e raízes, na ramificação da parte aérea e radicular, na regulação do tamanho e transição do desenvolvimento de órgãos vegetais, além de influenciar diretamente na germinação e floração, assim como no controle da senescência foliar (KIEBER; SCHALLER, 2018; CHEN et al., 2020). São relatados dois tipos de CKs: do tipo adenina, representadas por cinetina, zeatina e 6-benzilaminopurina, e do tipo fenilureia como difenilureia e tidiazuron.

A maioria das CKs do tipo adenina é sintetizada nas raízes, sendo caracterizadas como um dos principais sinalizadores da raiz até a parte aérea (DAVIERE; ACHARD, 2017). A redução na sinalização das CKs resulta na redução da atividade do meristema apical (KURAKAWA et al., 2007). Em contrapartida, o aumento do conteúdo de CK aumenta a atividade meristemática na parte aérea da planta, resultando na formação de mais flores (ASHIKARI et al., 2005; BARTRINA et al., 2011; NIEMANN et al., 2015).

O regulador de crescimento vegetal 6-benziladenina (BA), atua como uma citocinina. O BA é utilizado por meio de aplicação exógena, promovendo a feminilização das flores masculinas, revelando os efeitos da citocinina na determinação do sexo no nível de desenvolvimento floral (LUO et al., 2020). O efeito da extensão do fotoperíodo utilizando luz vermelha, da poda prematura e aplicação de BA na inflorescência de mandioca foi observado em um estudo recente, demonstrando que a combinação desses fatores teve efeito significativo na redução do número de dias para o início do florescimento em genótipos de florescimento tardio, redução na taxa de aborto de flores e na indução da feminização de flores masculinas (PINEDA et al., 2020).

O etileno está envolvido na diferenciação celular e tecidual, no crescimento e na morte dos órgãos florais, na indução de florescimento, além de acelerar o processo de abscisão e senescência floral (MERCHANTE et al., 2013). O tempo de vida das flores está intimamente relacionado a produção de etileno (TANASE et al., 2016) e nos últimos anos diversas metodologias tem sido desenvolvidas para reduzir suas consequências deletérias na produção de flores e frutos (SCARIOT et al., 2014).



Alguns inibidores têm sido utilizados no bloqueio da sinalização do etileno, dentre eles o regulador de crescimento tiosulfato de prata (STS). Estes inibidores de etileno atuam no complexo metabólico de captação do hormônio, ligando-se aos receptores celulares de etileno, inibindo sua sinalização no metabolismo vegetal (KOSUGI et al., 2014; SEREK et al., 2006). A eficácia do STS foi relatada na cultura da mandioca por meio de pulverização foliar na região apical do caule da planta estimulando o desenvolvimento, promovendo a longevidade e o aumento do número de flores (HYDE et al., 2020). Além disso, atua na redução do aborto de inflorescências iniciais em mandioca (HYDE et al., 2020). Outro estudo demonstrou que o número de flores femininas nas inflorescências que receberam a aplicação de BA (pulverização) e STS (via pecíolo) aumentou em 80%, resultando no aumento do número de frutos (OLUWASANYA et al., 2020). Portanto, o uso dos reguladores de crescimento tem gerado resultados positivos, levando ao aumento do número de ramificações e de flores produzidas por inflorescência (PINEDA et al., 2020; OLUWASANYA et al., 2020). Ademais, desempenham, um papel fundamental na distribuição de substâncias orgânicas dentro da planta, essenciais para a manutenção energética do metabolismo vegetal (TEJPAL et al., 2018). Além disso, a aplicação exógena em frutos, visa o controle da queda e aumento da qualidade (HARSIMRAT; MANJOT, 2020).

## **2.5 Fatores ambientais no florescimento de mandioca**

Como consequência das mudanças climáticas que ocorrem na atmosfera, a produção agrícola será bastante impactada pelo aumento da temperatura global nos próximos anos (LUEDELING et al., 2011). Segundo Souza e Funch (2017), as fenofases reprodutivas ligadas ao florescimento sofrem influência de diversos fatores abióticos como precipitação, umidade, temperatura e fotoperíodo. Entre os fatores ambientais, a temperatura é um dos elementos chaves. Desse modo, as espécies vegetais possuem temperatura ideal para sobreviver e reproduzir, dependendo da espécie, idade e atividade fisiológica (ESFRAIN; SIQUEIRA, 2018).

O crescimento e rendimento da mandioca, são constantemente afetados pelas mudanças de radiação solar, pluviosidade, níveis das concentrações de CO<sub>2</sub> e salinidade do solo (PUSHPALATHA; BYJU, 2020). Em relação a florescimento, esse impacto é evidenciado no período da antese, onde a duração desse período

pode variar fornecendo uma rota de fuga para superar os danos induzidos pela alta temperatura (JAGADISH et al., 2016). Em mandioca a antese geralmente ocorre entre 10:00 e 14:00 h, em períodos de maior temperatura e baixa umidade (VIEIRA et al., 2013). Além disso, foi relatado o efeito da temperatura sobre a iniciação floral, com atraso no florescimento em cultivares de mandioca submetidas a temperaturas entre 22 e 34°C (ADEYEMO et al., 2018).

A compreensão dos efeitos da extensão do fotoperíodo e da temperatura na indução do florescimento em espécies com tendência à ausência de florescimento é importante (HA, 2014). Estudos em nível molecular identificaram os genes FT (*Flowering Locus T*), SOC1 (supressor de superexpressão de CO1) e LFY (*leafy*) relacionados a sinalização do florescimento em mandioca (COLLANI et al., 2019; WIGGE et al., 2005). O fotoperíodo e a qualidade da luz também afetam a expressão do gene FT através da regulação da proteína Constans (CO) (VALVERDE et al., 2004). A proteína FT é resultante de um sinal celular oriundo da atuação da proteína CO (das folhas para o meristema apical) e do *florigen* (estimula o florescimento quando expresso em folhas ou no meristema apical) (CORBESIER et al., 2007). A proteína FT geralmente é expressa no floema foliar, podendo ser expressa no meristema juntamente com um fator de transcrição bZIP FD (AMASINO, 2010; WIGGE et al., 2005).

Segundo Taiz e Zeiger (2017) a mandioca é caracterizada como uma planta de dia longo (PDL), ou seja, necessita de noites curtas para florescer. O critoprocromo 1 (*cry1*) e 2 (*cry2*), além de fitocromos A e B, estão entre as estruturas que podem promover respostas fotomorfogênicas em plantas, sendo responsáveis pela absorção de luz azul e vermelha, respectivamente (TAIZ; ZEIGER, 2017). O fitocromo é responsável pela regulação do florescimento em espécies que são sensíveis ao comprimento do dia, nele se encontra uma estrutura denominada cromóforo (CASHMORE et al., 1999). Este, quando submetido a luz vermelha sofre uma isomerização cis-trans no carbono 15, levando ao fitocromo a absorção de luz vermelha (ANDRÉS; COUPLAND, 2012). O fitocromo I (*phy A*) é um receptor de luz vermelha, sendo a forma ativa do fitocromo, promovendo o florescimento em plantas de dias longos e inibindo o florescimento em plantas de dias curtos, através da estabilização da proteína CO no final de um fotoperíodo de dia longo (AMANSINO, 2010; JANG et al., 2008; VALVERDE et al., 2004). Sabe-se que este fitocromo (*phy A*) estimula a indução do florescimento e que os *phy B*, *C*, *D*, *E*, *F*,

promovem a inibição do florescimento (PAIK; HUQ, 2019). Dessa forma, em *Arabidopsis*, estudos demonstraram que mutantes com ausência do *phy A* e do *phy B* responderam com florescimento tardio e precoce, respectivamente (TRIPATHI et al., 2019).

Estudos sugerem que a extensão do fotoperíodo estimulou a expressão do gene FT em *Euphorbia escula* L. (HAO et al., 2015), e a indução do florescimento em *Arabidopsis thaliana* (AMASINO, 2010). Resultados similares foram observados em outras espécies, incluindo a maçã (KOTODA et al., 2010), tomate (CAO et al., 2016), eucalipto (KLOCKO et al., 2016) e mandioca (ADEYEMO et al., 2017, 2018). Em mandioca, foi observado que plantas expostas ao prolongamento do dia através do fotoperíodo, floresceram precocemente, indicando que a expressão do gene MeFT2 é afetada pelo fotoperíodo (ADEYEMO et al., 2019). Os genes homólogos MFT são membros da família da proteína de ligação da fosfatidiletanolamina (PEBP), que estão envolvidos na indução floral, com propriedades semelhantes ao gene FT no desenvolvimento de sementes (YOO et al., 2004; DANILEVSKAYA et al., 2008). Em *Jatropha curcas* L., um homólogo do gene MFT é preferencialmente expresso na semente, regulando a dormência (TAO et al., 2014).

Já em mandioca a expressão do MeMFT1 foi alta nos tecidos em crescimento de folhas jovens e botões florais (ADEYEMO et al., 2019). Os estudos de expressão gênica mostraram que a expressão do gene MeFT1 ocorre em folhas jovens independentemente do fotoperíodo, diferentemente do gene MeFT2 que é dependente do fotoperíodo, e, portanto, a expressão do gene MeFT2 pode estar diretamente ligada a relação entre o fotoperíodo e o florescimento em mandioca (ADEYEMO et al., 2019). Pineda et al. (2020) observaram que a extensão do fotoperíodo induz o florescimento em genótipos de porte ereto, estimulando o florescimento precoce em genótipos com ramificação tardia, e reduzindo o comprimento das plantas.

Dessa forma várias vertentes citadas são caracterizadas como possíveis indutores do florescimento, favorecendo expressão da proteína FT, como altas temperaturas, mudanças no fotoperíodo (HA, 2014) e reguladores de crescimento (YANG et al., 2016). Assim o presente trabalho visa avaliar a influência de fatores ambientais no florescimento e alternativas para induzir o florescimento em mandioca.

### 3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARD, P.; BAGHOUR, M.; CHAPPLE, A.; HEDDEN, P.; VAN DER STRAETEN, D.; GENSCHIK, P.; MORITZ, T.; HARBERD, N. P. The plant stress hormone ethylene controls floral transition via DELLA-dependent regulation of floral meristem-identity genes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 04, p.6484–6489, 2007.

ACOSTA, I.F.; LAPARRA, H.; ROMERO, S.P.; SCHMELZ, E.; HAMBERG, M.; MOTTINGER, J.P.; MORENO, M.A.; DELLAPORTA, S.L. Tasselseed1 is a lipoxygenase affecting jasmonic acid signaling in sex determination of maize. **Science**, v. 323, p. 262–265, 2009.

ADEYEMO, O. S.; HYDE, P. T.; SETTER, T.L. Of FT family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v. 32, p. 181–191, 2019.

AKINGBALA, J.; FALADE, K.; OGUNJOBI, M. The Effect of root maturity, preprocess holding and flour storage on the quality of cassava biscuit. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 451-457, 2011.

ALLEM, A.C. The origin and taxonomy of cassava. In: HILLOCKS, R. J., THRESH, M.J.; BELLOTTI, A.C. (eds.) **Cassava: Biology, production and utilization**. CABI International, p.1-16, 2002.

ALVES, A.A.A. Cassava botany and physiology, In: HILLOCKS, R. J., THRESH, M.J.; BELLOTTI, A.C. (eds.) **Cassava: Biology, production and utilization**. **CABI International**, p.67-89, 2002.

ALVES, R.N.B.; MODESTO JÚNIOR, M. S. Potencial de tecnologias de processos e tecnologias de insumos na cultura da mandioca na Amazônia. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 30, n. 1/3, p. 73-89, 2013.

AMANSINO, R. Seasonal and developmental timing of flowering. **Plant Journal**, v. 61, n. 6, p. 1001–1013, 2010.

ANDRADE, L. R. B. DE; SOUSA, M. B. E; OLIVEIRA, E. J.; RESENDE, M.S D. V. DE; A., CAMILA F. Cassava yield traits predicted by genomic selection methods. **PLoS ONE**, v. 14, p. e0224920, 2019.

ANDRÉS, F.; COUPLAND, G. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. **Nature Reviews Genetics**, v. 13, n. 9, p. 627–639, 2012.

ASHIKARI, M., SAKAKIBARA, H., LIN, S., YAMAMOTO, T., TAKASHI, T., NISHIMURA, A., ANGELES, E., R., QIAN, Q., KITANO, H., MATSUOKA, M. Cytokinin oxidase regulates rice grain production. **Science**, v.309, p.741–745, 2005.

BARTRINA, I., OTTO, E., STRNAD, M., WERNER, T., SCHMÜLLING, T. Cytokinin regulates the activity of reproductive meristems, flower organ size, ovule formation, and thus seed yield in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Cell**, v. 23, p. 69–80, 2011.

BERNIER, G.; PÉRILLEUX, C. A physiological overview of the genetics of flowering time control. **Plant Biotechnology Journal**, v. 3, n. 1, p. 3–16, 2005.

CAO, K; CUI L; ZHOU, X; YE L; ZOU, Z; DENG, S. Four tomato FLOWERING LOCUS T-like proteins act antagonistically to regulate floral initiation. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2016.

CASHMORE, A.R; JARILLO, J.A; WU, Y.J; LIU, D. Cryptochromes: Blue light receptors for plants and animals. **Science**, v. 284, n. 5415, p. 760–765, 1999.

CEBALLOS, H; JARAMILLO, J.; SALAZAR, S.; PINELA, L. Induction of flowering in cassava through grafting. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 9, n. 2, p. 19–29, 2017.

CEBALLOS, H.; R.S. KAWUKI, V.E. GRACE, G.C. YENCHO, C.H. HERSHEY. Conventional breeding, marker-assisted selection, genomic selection and inbreeding in clonally propagated crops: a case study for cassava. **Theoretical and Applied Genetics**. v. 128, n. 9, p. 1647–1667, 2015.

CHANDLER, J.W. The hormonal regulation of flower development, **Journal Plant Growth Regulation**. v. 30, p. 242–254, 2011.

CHEN, L., ZHAO, J., SONG, J., JAMESON, P., E. Cytokinin dehydrogenase: a genetic target for yield improvement in wheat. **Plant Biotechnology Journal**, v.18, p.614–630, 2020.

CHENG, H.; QIN, L.; LEE, S.; FU, X.; RICHARDS, D.E.; CAO, D.; LUO, D.; HARBERD, N.P.; PENG, J.; Gibberellin regulates *Arabidopsis* floral development via suppression of DELLA protein function, **Development**, v. 131, p.1055–1064, 2004.

CHENG, Y.; ZHAO, Y. A role for auxin in flower development, **Journal Integrative Plant Biol.** v. 49, p. 99–104, 2007.

COLLANI, S.; NEUMANN, M.; YANT, L.; SCHMID, M. FT modulates genome-wide DNA-binding of the bZIP transcription factor FD. **Plant Physiology**, v. 180, n. 1, p. 367–380, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-Extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/15104\\_87ab84e372faa534fa097d39adcb71c5](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-Extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/15104_87ab84e372faa534fa097d39adcb71c5)>. Acesso em: 30 de março de 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/41283\\_713389b56dad6c914a06e6cd92d063d0](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/41283_713389b56dad6c914a06e6cd92d063d0)>. Acesso em: 7 de novembro de 2022.

CORBESIER, L.; VINCENT, C.; JANG, S. et al. FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of *Arabidopsis*. **Science**, p. 1030–1033, 2007.

DAVIERE, J.M.; ACHARD, P. Organ communication: Cytokinins on the move. **Nature Plants**, v.24, 3:17116, 2017.

DANILEVSKAYA, O.; MENG, X.; HOU, Z.; ANANIEV, E.; SIMMONS, C. A genomic and expression compendium of the expanded PEBP gene family from maize. **Plant Physiology**. v.146, n.1, p. 250–264, 2008.

EL-SHARKAWY, M., A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19(4), p.257-286, 2007.

FAOSTAT- FOOD AND AGRICULTURE DATA. 2011. Perfil do país de Moçambique. Disponível on-line: <http://www.fao.org/countryprofiles/index/es/?iso3=MOZ>. Acesso em: 8 de abril 2020.

ESFRAIN, W. & SIQUEIRA, D. L. Planejamento e Implantação de Pomar. **Aprenda Fácil Editora**. v. 2, p.185-187, 2018.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE DATA. 2019. Disponível on-line: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 22 Mar. 2021.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Participação dos continentes na produção de mandioca em 2017. FAOSTAT Data base Gateway – FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 31 Mar.2020.

FENG X.L.; NI W.M.; ELGE S.; MUELLER-ROEBER B.; XU Z.H.; XUE H.W. Auxin flow in anther filaments is critical for pollen grain development through regulating pollen mitosis, **Plant Molecular Biology**. v. 61, p. 215–226, 2006.

FREITAS, J.P.X.; DA SILVA SANTOS, V.; DE OLIVEIRA, E.J. **In breeding depression in cassava for productive traits**. *Euphytica*. v. 209, p. 137–145, 2016.

HA, T; KRISANTINI, S.; JOHNSTON, M. The effect of photoperiod and temperature on flowering of *Pycnosorus Thompsonianus*. **Asian Journal of Agriculture and Food Science**. v.1, n.5 2013.

HA, T. M. A review of plants' flowering physiology: the control of floral induction by juvenility, temperature and photoperiod in annual and ornamental crops. **Asian Journal of Agriculture and Food Science**, v. 02, n. 03, p. 2321–1571, 2014.

HAO, X.; CHAO, W.; YANG, Y.; HORVATH, D. Coordinated expression of flowering locus t and dormancy associated mads-box-like genes in leafy spurge. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, p. 1–18, 2015.

HARTWIG, T.; CHUCK, G.S.; FUJIOKA, S.; KLEMPIEN, A.; WEIZBAUER, R.; POTLURI, D.P.V.; CHOE, S.; JOHAL, G.S.; AND SCHULZ, B. Brassinosteroid control of sex determination in maize, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, p. 814–819, 2011.

HARSIMRAT, K., B.; MANJOT, K. Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 95:2, p. 137-146, 2020.

HEFFNER, E. L.; SORRELLS, M. E.; JANNINK, J. L. Genomic selection for crop improvement. **Crop Science**, v. 49, n. 1, p. 1–12, 2009.

HERSHEY C.H. Cassava genetic improvement: Theory and practice. Cali (Colombia): **International Center for Tropical Agriculture**. p. 443. 2020.

HOHENFELD, C. S.; SANTANA, M. P.; JUNIOR, L. R. C.; DE OLIVEIRA, E. J.; DE OLIVEIRA, S. A. S. Modelling growth characteristics and aggressiveness of *Neoscytalidium hyalinum* and *Fusarium solani* associated with black and dry root rot diseases on cassava. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, p. 1-11, 2018.

HOWELER, R.; LUTALADIO, N.; THOMAS, G. Save and grow cassava. A guide to sustainable production intensification. **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO**, p.129, 2013.

HUANG, S.; CERNY, R.E.; QI, Y.; BHAT, D.; AYDT, C.M.; HANSON, D.D.; MALLOY, K.P.; AND NESS, L. Transgenic studies on the involvement of cytokinin and gibberellin in male development. **Plant Physiology**, v. 131, p. 1270–1282, 2003.

HUBBARD, K. E. Early abscisic acid signal transduction mechanisms: newly discovered components and newly emerging questions, **Genes and Development**, v. 24, p. 1695-1708, 2010.

HYDE, P.T.; GUAN, X.; ABREU, V.; SETTER, T.L. The anti-ethylene growth regulator silver thiosulfate (STS) increases flower production and longevity in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Growth Regulation**, v. 90, n. 3, p. 441–453, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em: 31 Mar. 2020.

JAGADISH, S.V.; BAHUGUNA, R.N.; DJANAGUIRAMAN, M.; GAMUYAO, R.; PRASAD, P.V.; CRAUFURD, P.Q. Implications of high temperature and elevated CO<sub>2</sub> on flowering time in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1–11, 2016.

JANG, S.; MARCHAL, V.; PANIGRAHI, K.C.; WENKEL, S.; SOPPE, W.; DENG, X.W.; VALVERDE, F.; COUPLAND, G. *Arabidopsis* COP1 shapes the temporal pattern of CO accumulation conferring a photoperiodic flowering response. **EMBO Journal**, v. 27, n. 8, p. 1277–1288, 2008.

KIEBER, J.J., SCHALLER, G.E. Cytokinin signaling in plant development. **Development**, v. 145, 2018.

KLOCKO, A.L.; MA, C.; ROBERTSON, S.; ESFANDIARI, E.; NILSSON, O.; STRAUSS, S.H. FT overexpression induces precocious flowering and normal reproductive development in *Eucalyptus*. **Plant Biotechnology Journal**, v. 14, n. 2, p. 808–819, 2016.

KOSUGI Y.; MATSUOKA A.; HIGASHI A.; TOYOHARA N.; SATOH S. 2-Aminooxyisobutyric acid inhibits the in vitro activities of both 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase and ACC oxidase in ethylene biosynthetic pathway and prolongs vase life of cut carnation flowers. **Journal of Plant Biology**, v. 57, p.218–224, 2014.

KOTODA, N.; HAYASHI, H.; SUZUKI, M.; IGARASHI, M.; HATSUYAMA, Y.; KIDOU, S.; IGASAKI, T.; NISHIGUCHI, M.; YANO, K.; SHIMIZU, T.; TAKAHASHI, S.; IWANAMI, H.; MORIYA, S.; ABE, K. Molecular characterization of flowering LOCUS t-like genes of apple (*Malus domestica* Borkh). **Plant and Cell Physiology**, v. 51, n. 4, p. 561–575, 2010.

KURAKAWA, T., UEDA, N., MAEKAWA, M., KOBAYASHI, K., KOJIMA, M., NAGATO, Y., SAKAKIBARA, H., KYOZUKA, J. Direct control of shoot meristem activity by a cytokinin-activating enzyme. **Nature**, v. 445, p. 652–655, 2007.

LATIF, S.; MÜLLER, J. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 147–158, 2015.

LIU, B.; LIU, X.; WANG, C.; JIN, J.; HERBERT, S. J. Endogenous hormones in seed, leaf, and pod wall and their relationship to seed filling in soybeans. **Crop and Pasture Science**, v. 61, n. 2, p. 103–110, 2010.

LUEDLING, E. et al. Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. **PLoS ONE**, v.6, n. 5, 2011.

LUO, Y.; PAN, B.Z.; LI, L.; YANG, C.X.; XU, Z.F. Developmental basis for flower sex determination and effects of cytokinin on sex determination in *Plukenetia volubilis* (Euphorbiaceae). **Plant Reproduction**, v. 33, n.1, p. 21-34, 2020.

MCGARRY, R.; KLOCKO, A; PANG, M.; STRAUSS, S.; AYRE, B. Virus-induced flowering: an application of reproductive biology to benefit plant research and breeding. **Plant physiology**. 173. 10.1104/pp.16.01336, 2016.



MENDOZA F., J. M., M. F. SIMON, T. K.M. ARQUELÃO & T. B. CAVALCANTI. Novas espécies de *Manihot* (Euphorbiaceae) do Brasil Central. **Rodriguésia**, v.69, p.915–932, 2018.

MERCHANTE, C.; ALONSO, J. STEPANOVA, A. Ethylene signaling: Simple ligand, complex regulation. **Current opinion in plant biology**. v.16, 2013.

NASSAR, N.; ORTIZ, R. Breeding cassava to feed the poor. **Scientific American**. p.78-84, 2010.

NIEMANN, M., C., BARTRINA, I., ASHIKOV, A. Arabidopsis ROCK1 transports UDP-GlcNAc/UDP-GalNAc and regulates ER protein quality control and cytokinin activity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.112, p.291–296, 2015.

ODIPIO, J.; GETU, B.; CHAUHAN, R.D.; ALICAI, T.; BART, R.; NUSINOW, D.A.; TAYLOR, N.J. Transgenic overexpression of endogenous FLOWERING LOCUS T-like gene MeFT1 produces early flowering in cassava. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–16, 2020.

OLIVEIRA, E.J.; RESENDE, M.D.V.; SANTOS, V.S.; FERREIRA, C.F.; OLIVEIRA, G.A.F.; SILVA, M.S.; OLIVEIRA, L.A.; AGUILAR, VILDOSO C.I. Genome-wide selection in cassava. **Euphytica** v. 187, p.263–276, 2012.

OLSZEWSKI, N.; SUN, T.-P.; AND GUBLER, F.; Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. **The Plant Cell**, v. 14, p. 61–80, 2002.

OLUWASANYA, D.; ESAN, O.; HYDE, P.T.; KULAKOW, P.; SETTER, T.L. Flower Development in cassava is feminized by cytokinin, while proliferation is stimulated by anti-ethylene and pruning: transcriptome responses. **Front Plant Science**. v.12, p. 975. 2021.

PAIK, I.; HUQ, E. Plant photoreceptors: multi-functional sensory proteins and their signaling networks. **Seminars in Cell and Developmental Biology**, v. 92, n. April, p. 114–121, 2019.

PERERA, P.I.; QUINTERO, M.; DEDICOVA, B.; KULARATNE, J.D.; CEBALLOS, H. Comparative morphology, biology and histology of reproductive development in three lines of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae: Crotonoideae). **AoB Plants**, v. 5, 2013.

PINEDA, M.; YU, B.; TIAN, Y.; MORANTE, N.; SALAZAR, S.; HYDE, P.T.; SETTER, T. L.; CEBALLOS, H. Effect of pruning young branches on fruit and seed set in cassava. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.1107, 2020.

PINEDA, M.; MORANTE, N.; SALAZAR, S.; CUÁSQUER, J.; HYDE, P.T.; SETTER, T.L.; CEBALLOS, H. Induction of earlier flowering in cassava through extended photoperiod. **Agronomy**, v. 10, pp.1273. 2020.

PUSHPALATHA, RAJI; BYJU, G. Is Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) a Climate “Smart” Crop? A Review in the Context of Bridging Future Food Demand Gap. **Tropical Plant Biology**. v.10, 2020.

ROJAS, M.C.; PÉREZ, J.C.; CEBALLOS, H.; BAENA, D.; MORANTE, N.; CALLE, F. Analysis of inbreeding depression in eight S<sub>1</sub> Cassava families. **Crop Science**, v. 49, p. 543-548, 2009.

ROSA, J. M. O.; OLIVEIRA, S. A.; JORDÃO, A. L.; SIVIERO, A.; OLIVEIRA, C. M. G. Nematoides fitoparasitas associados à mandioca na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 44, p., 271-275, 2014.

SCARIOT, V., PARADISO, R., ROGERS, H., DE PASCALE, S. Ethylene control in cut flowers: classical and innovative approaches. **Postharvest Biology and Technology**, v.97, p.83–92, 2014.

SEREK, M.; WOLTERING E., J.; SISLER E., C.; FRELLO S.; SRISKANDARAJAH S. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. **Biotechnology Advances**, v.24, p. 368–381, 2006.

SILVA, S., L.; AUGUSTO, A., A., C.; OLIVEIRA, J., E. Phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm. **Scientia Horticulturae**. e109253, v. 265, 2020.

S., L.; DINIZ, R.P.; NEVES, R.J.; ALVES, A.A.C.; OLIVEIRA, E.J. Grafting as a strategy to increase flowering of cassava. **Scientia Horticulturae**, v.240, n. June, p. 544–551, 2018.

SOUZA, I. M., FUNCH, L., S. Synchronization of leafing and reproductive phenological events in *Hymenaea* L. species (Leguminosae, Caesalpinioideae): the role of photoperiod as the trigger. **Brazilian Journal of Botany**, v.40(1), p. 125-136, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**, 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANASE, K.; ONOZAKI, T. Regulation of ethylene- and senescence-related genes in pot carnation flowers during flower senescence. **The Horticulture Journal**, v. 85, p. 254-263, 2016.

TAO, Y.B, LUO, L.; HE, L.L.; NI, J.; XU, Z.F. A promoter analysis of MOTHER OF FT AND TFL1 1 (JcMFT1), a seed-preferential gene from the biofuel plant *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Research**, v.127, p.513–524, 2014.

TEJPAL, S. B.; LAXMI, R., BINAYAK, C.; VIKAS, Y. A recent advances in use of plant growth regulators (PGRs) in fruit crops. **An International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, p. 1307-1336, 2018.

TRIPATHI, S.; HOANG, Q.T.N.; HAN, Y.J.; KIM, J.I. Regulation of photomorphogenic development by plant phytochromes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 24, p. 1–17, 2019.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Nutritional Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: [www.ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2907?manu=&fgcd=&dsml](http://www.ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2907?manu=&fgcd=&dsml). Acesso em: 10 ago. 2022.

VANSTRAELEN M., BENKOVÁ E. Hormonal interactions in the regulation of plant development. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v.28, p. 463–87, 2012.

VALVERDE, F.; MOURADOV, A.; SOPPE, W.; RAVENSCROFT, D.; SAMACH, A.; COUPLAND, G. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. **Science**, v. 303, n. 5660, p. 1003–1006, 2004.

VIEIRA, L. de J.; TAVARES FILHO, L.F. de Q.; SOUZA, F.V.D.; ALVES, A.A.C.; OLIVEIRA, E.J. Development of interspecific hybrids of cassava and paternity analysis with molecular markers. **Journal of Agricultural Science**, v.151, p.849–861, 2013.

WIGGE, P.A.; KIM, M.C.; JAEGER, K.E.; BUSCH, W.; SCHMID, M.; LOHMANN, J.U.; WEIGE, L. D. Integration of spatial and temporal information during floral induction in *Arabidopsis*. **Science**, v. 309, n. 5737, p. 1056–1059, 2005.

WOLFE, M.D.; DEL CARPIO D.P.; ALABI, O.; EZENWAKA, L.C.; IKEOGU, U.N.; KAYONDO, I.S.; LOZANO, R.; OKEKE, U.G.; OZIMATI, A.A.; WILLIAMS. E.; EGESI, C.; KAWUKI, R.S.; KULAKOW, P.; RABBI, I.Y.; JANNINK, J.L. Prospects for genomic selection in cassava breeding. **The Plant Genome**, v. 10, n.3, 2017.

YANG, C.; JIAO, D.Y.; GONG, H.D.; LI, G.Y.; CAI, Z.Q. Vegetative and reproductive growth and yield of *Plukenetia volubilis* plants in responses to foliar application of plant growth regulators. **HortScience**, v. 51, n. 8, p. 1020–1025, 2016.

YOO, S.; KARDAILSKY, I.; LEE, J.; WEIGEL, D.; AHN, J. Acceleration of flowering by overexpression of MFT (MOTHER OF FT AND TFL1). **Molecules and Cells**, v.17, n.1, p.95–101, 2004.

## CAPÍTULO 1

### Efeitos da extensão do fotoperíodo, da poda prematura e de reguladores de crescimento na indução do florescimento em mandioca

#### RESUMO

Apesar da importância econômica e social da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), ainda existem muitos gargalos a serem superados no desenvolvimento de cultivares superiores para atender as demandas dos usuários finais em termos de desempenho agrônomo, qualidade nutricional e resistência a pragas e doenças. Um destes principais gargalos é a falta de sincronização do florescimento e o aborto de flores jovens que dificultam a realização dos cruzamentos planejados e geração de progênes numerosas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do fotoperíodo, poda prematura e reguladores de crescimento no florescimento e frutificação de mandioca em condições de baixa altitude no Brasil. Oito clones de mandioca contrastantes para capacidade de florescimento foram avaliados em Cruz das Almas (Bahia) em esquema *split-plot* com dois fotoperíodos (condição ambiental e extensão do fotoperíodo com luz vermelha por 12 horas), poda prematura no primeiro e segundo nível de ramificação (com e sem poda) e aplicação de reguladores de crescimento: 6-benziladenina a 0.5 mM (BA) e o tiosulfato de prata (STS) 4.0 mM (com e sem). As parcelas foram avaliadas semanalmente para número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM), altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de dias para primeira ramificação (ND1R) e o número de eventos de ramificação até 240 dias após o plantio (NER). A extensão do fotoperíodo não promoveu o aumento no número de flores, porém reduziu o ND1R em até 35 dias, além de promover aumentos significativos para A1R e NER. O uso da poda e dos reguladores de crescimento vegetal (RCV), resultou em aumento no NFF de 2,2 (controle) para 4,6 e do NFM de 8,1 para 21,1 flores. Portanto, nas condições de baixa altitude, clima tropical quente e úmido no Recôncavo da Bahia, o uso combinado da extensão do fotoperíodo e o uso conjunto da poda prematura dos ramos e aplicação de RCV podem propiciar condições adequadas para aumento do florescimento em menor tempo comparado com o controle. Estas recomendações podem ser aplicáveis com eficiência em blocos de cruzamentos em programas de melhoramento.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz, melhoramento, cruzamento, indução.

## Effects of photoperiod extension, premature pruning and plant growth regulators on cassava flowering induction

### ABSTRACT

Despite the economic and social importance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), there are still many bottlenecks to be overcome the development of superior cultivars to meet end-user demands in terms of agronomic performance, nutritional quality, and pest and disease resistance. One of these main bottlenecks is the lack of flowering synchronization and the abortion of young flowers that make it difficult to carry out the planned breeding and generate numerous progenies. The objective of this work was to evaluate the effect of photoperiod, early pruning and plant growth regulators on cassava flowering and fruiting under low altitude conditions in Brazil. Eight cassava clones contrasting for flowering ability were evaluated in Cruz das Almas (Bahia) in a split-plot scheme with two photoperiods (environmental condition and photoperiod extension with red light for 12 hours), early pruning in the first and second branching levels (with and without pruning) and application of growth regulators: 6-benzyladenine at 0.5 mM (BA) and silver thiosulfate (STS) 4.0 mM (with and without). Plots were evaluated weekly for number of female (NFF) and male (NMF) flowers, height of first branching (H1B, in cm), number of days to first branching (ND1B) and the number of branching events up to 240 days after planting (NOB). The photoperiod extension did not promote an increase in the number of flowers but reduced the ND1B by up to 35 days, in addition to promoting significant increases for H1B and NOB. The use of pruning and plant growth regulators (PGRs) resulted in an increase in the NFF from 2.1 (control) to 4.6 and the NMF from 8.1 to 21.1 flowers. Therefore, in the low altitude, hot and humid tropical climate conditions in Recôncavo of Bahia, the combined use of photoperiod extension and the joint use of early branch pruning and PGR application can provide adequate conditions for increased flowering in a shorter time compared to the control. These recommendations can be applied efficiently in crossing blocks in breeding programs

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz, breeding, crossing, induction.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma importante fonte de carboidratos na dieta de cerca de 800 milhões de pessoas (HOWELER et al., 2013), sobretudo em países em desenvolvimento. Mais da metade da produção mundial é produzida pelos países Nigéria, República Democrática do Congo, Tailândia e Gana, com uma produção de 59,19; 40,05; 31,07 e 22,44 milhões de toneladas de raízes, respectivamente, produzidas em 2019 (FAO, 2020).

O Brasil ocupa a 5ª posição com produção anual de 17,49 milhões de toneladas e apresenta área colhida de 1,19 milhões de hectares (FAO, 2020). Em 2012, o comércio global de produtos da mandioca e o crescimento da cultura no continente africano, possibilitou a colheita atingir níveis recordes de produção de raízes (HOWELER et al., 2013). Entretanto, no Brasil ainda existem enormes gaps produtivos, uma vez que a produtividade média nacional é de 14,70 t.ha<sup>-1</sup>, muito aquém do potencial produtivo obtido de novas cultivares (27,50 t.ha<sup>-1</sup> em ciclo anual) (OLIVEIRA et al., 2020).

Os principais fatores relacionados à baixa produtividade da mandioca estão atrelados a inaplicabilidade de fertilização, podendo tornar a cultura mais sensível ao ataque de pragas e doenças, devido à falta de nutrição adequada para o pleno desenvolvimento das plantas (JALA et al., 2019). Além disso, o baixo índice tecnológico associado aos plantios, como por exemplo, uso de terras marginais, falta de rotação de culturas, uso de cultivares obsoletas e pouco produtivas e a irregularidade de chuvas contribuem para o baixo rendimento da cultura (EZUI et al., 2016). O uso de variedades melhoradas com alto potencial produtivo e resistência aos principais fatores adversos é uma das abordagens mais utilizadas para mitigação destes problemas, independentemente do nível de tecnificação dos agricultores. Os programas de melhoramento genético estão envolvidos no processo contínuo de busca por novas cultivares com elevado desempenho agrônômico, qualidade nutricional e resistência a pragas e doenças (ANDRADE et al., 2019; HOHENFELD et al., 2018).

No sistema comercial de cultivo, a mandioca é propagada de forma clonal, não havendo variação genética ao longo das gerações. Já no melhoramento convencional, as sementes são obtidas por meio de autofecundações ou cruzamentos controlados e em seguida usadas como fonte de variação genética para a seleção de genótipos superiores para posterior recomendação de cultivares

ou melhoramento populacional mediante diversas abordagens clássicas e avançadas de melhoramento (FREITAS et al. 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

A mandioca é uma espécie monoica, sendo que as flores femininas são formadas nos ramos proximais e as masculinas (menores e em maior número) na parte superior da inflorescência (PERERA et al., 2013; RAMOS ABRIL et al., 2019). Alguns dos desafios impostos ao planejamento dos cruzamentos referem-se à ampla variabilidade de características relacionadas ao início, intensidade e duração média do florescimento (PINEDA et al., 2020; SILVA SOUZA et al., 2020). Além disso, a preferência pelos agricultores por cultivares com arquitetura de planta de porte ereto e ausência de ramificações laterais, dificulta o uso desses genótipos como parentais (CEBALLOS et al., 2011). Isso ocorre pelo fato de o florescimento ser altamente correlacionado com a presença de ramificações na planta (CEBALLOS et al., 2017), e em muitos casos o melhoramento tem direcionado a seleção de variedades praticamente sem nenhum tipo de ramificação. Portanto, o uso destes clones como parentais para o melhoramento populacional fica bastante comprometido pela ausência de bifurcação e conseqüentemente de florescimento.

Em plantas, a transição do estágio vegetativo para o estágio reprodutivo no meristema apical ocorre devido a estímulos proveniente de fatores genéticos, endógenos (fitohormônios e estado nutricional da planta) e ambientais, como a taxa de radiação solar, fotoperíodo (duração dos dias), além da disponibilidade de água e temperatura (HA, 2014; RAMOS ABRIL et al., 2019; HYDE et al., 2020; PINEDA et al., 2020; SOUSA et al., 2020; ADEYEMO et al., 2019). Em nível molecular, os genes FT (*Flowering Locus T*), SOC1 (supressor de superexpressão do gene CO1) e LFY (*leafy*) estão relacionados à sinalização do florescimento em mandioca e à sensibilidade ao fotoperíodo (COLLANI et al., 2019; WIGGE et al., 2005; VALVERDE et al., 2004). A proteína FT é resultante de um sinal celular oriundo da atuação da proteína CO (das folhas para o meristema apical) e do *florigen* (CORBESIER et al., 2007). O *florigen* é um sinal sistêmico, oriundo da captação da luz solar pelas folhas, sendo regulado principalmente pelas alterações do fotoperíodo durante o dia, cujo sinal é transportado através do floema e no meristema apical de forma a induzir a expressão gênica responsável pelo florescimento (ANDRÉS; COUPLAND, 2012). A extensão do fotoperíodo com uso de luz vermelha tem ajudado na redução do tempo para início do florescimento, confirmando a sensibilidade do gene MeFT2 (membro da família da proteína de

ligação à fosfatidiletanolamina, em que o FT está incluído) ao fotoperíodo (ADEYEMO et al., 2018, 2019).

As auxinas, giberelinas, ácido abscísico, citocininas e etileno são exemplos de fitohormônios, cuja ação é determinada pela atuação direta ou indireta nas rotas metabólicas em diferentes estágios de crescimento vegetal (VANSTRAELEN; BENKOVÁ, 2012). Além disso, o ácido abscísico, jasmonatos, brassinoesteroides, poliaminas e ácido salicílico também atuam em inúmeros processos fisiológicos, com ações análogas ou antagônicas aos principais hormônios vegetais. Os fitohormônios proporcionam uma interação sinérgica ou antagônica, na regulação da via do florescimento (ZOU et al., 2020), ou seja, podem atuar de forma cooperativa, ou dificultar a regulação de fatores que induzam o florescimento. Sendo assim, a aplicação exógena de regulador de crescimento vegetais (RCV) na cultura da mandioca tem se tornado uma alternativa para indução do florescimento (HYDE et al., 2020; PINEDA et al., 2020; OLUWASANYA et al., 2021).

O regulador de crescimento comumente utilizado em mandioca é o 6-benziladenina (FRÖSCHLE et al., 2017; LEELAWIJITKUL et al. 2022). Luo et al. (2020), reportaram que a citocinina foi capaz de promover a determinação do sexo no período de desenvolvimento floral, modificando o meristema apical das flores masculinas, induzindo a formação do gineceu e a indução do pistilo em *Plukenetia volubilis* (Euphorbiaceae). Essa modificação sexual das flores, indica que os genes responsáveis pela diferenciação sexual sofrem supressão ou ativação, através de um mecanismo de transdução de sinal que modifica os níveis endógenos de hormônios, como observado em *Jatropha curcas* (PAN et al., 2014; FU et al., 2018). Estudos demonstram que o 6-benziladenina, atua ainda na inibição da peroxidação lipídica, preservando a integridade da membrana nos tecidos vegetais (SIDDIQUI et al., 2015), além de aumentar a capacidade antioxidante e retardar a senescência foliar em espécies de *Brassica campestris* (ZHANG et al., 2023).

Outro regulador de crescimento utilizado em mandioca, é o tiosulfato de prata (STS), usado como um inibidor de etileno, no processo de abscisão e senescência floral (MERCHANTE et al., 2013; ONAZAKI et al., 2018). O íon prata (Ag<sup>+</sup>) tem sido utilizado com sucesso na inibição da produção ou ação do etileno, atuando como inibidor competitivo da ligação entre o etileno e o seu receptor. O Ag<sup>+</sup> também pode inibir a síntese de etileno pelo bloqueio da autocatálise presente em flores e frutos (ALTVORST; BOVY, 1995). O complexo iônico STS é a



associação entre a solução de nitrato de prata e tiosulfato de sódio, que apresenta maior mobilidade na planta e menor fito toxidez que o nitrato de prata (CARNEIRO et al., 2003).

Entre as técnicas de indução de florescimento utilizadas em mandioca, a poda prematura de brotos apicais tem se mostrado promissora (PINEDA et al., 2020). Essa técnica, favorece o transporte energético para o meristema apical, induzindo o florescimento, além de ampliar a captação de luz e ar pela planta, fornecendo suporte à manutenção do processo fotossintético (HARKULKAR et al., 2022). Em adição, o uso de reguladores de crescimento associados a poda prematura em diferentes níveis de ramificação, promoveu uma interação significativa entre a técnica com genes de sinalização hormonal, induzindo o florescimento em mandioca (OLUWASANYA et al., 2020).

O desenvolvimento de metodologias de indução floral entre os programas de melhoramento intercontinentais é necessário, visto que as condições ambientais são muitas vezes divergentes das condições no Brasil. Na África ocidental, clones com florescimento precoce, médio e tardio, adaptados a região e a altitudes elevadas submetidos a aplicação conjunta de STS, BA e poda, apresentaram maior produção de flores e frutos (OLUWASANYA et al., 2020). Na Colômbia e Estados Unidos, pesquisas demonstraram resultados positivos em relação a indução de florescimento, usando extensão de fotoperíodo e reguladores (PINEDA et al., 2020; HYDE; SETTER, 2022). Entretanto, as condições climáticas avaliadas de temperatura, fotoperíodo ao longo do ano e altitude, se mostram divergentes em relação àquelas do Brasil (HYDE et al., 2020; PINEDA et al., 2020; FRÖSCHLE et al., 2017).

Em estudo realizado no Brasil, Bandeira e Sousa et al. (2021) comprovaram que a taxa de aborto de flores na cultura pode chegar a 88%, reforçando a importância do desenvolvimento de uma metodologia eficaz para a indução e desenvolvimento floral da cultura no país. Além disso, a geração de novas populações segregantes têm sido limitada devido aos variados padrões de florescimento encontrados no germoplasma de mandioca, dificultando a recombinação entre os clones elite (CEBALLOS et al., 2015; ADEYEMO et al., 2018; CEBALLOS et al., 2017; MCGARRY et al., 2017).

A compreensão do efeito da extensão do fotoperíodo, da poda prematura de brotos laterais e dos reguladores de crescimento em mandioca pode ajudar no

desenvolvimento de técnicas eficazes e adaptadas para indução do florescimento de mandioca no Brasil. Além disso, pode permitir um eficiente planejamento dos cruzamentos controlados, e assim aumentar os ganhos genéticos nos programas de melhoramento em função do aumento do número de indivíduos recombinantes nas progênies. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da extensão do fotoperíodo utilizando luz vermelha, o efeito da poda prematura de ramos laterais e a aplicação de BA e STS na indução do florescimento em mandioca nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste Brasileiro.

## 2.0 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Germoplasma e condução experimental

Foram avaliados oito genótipos de mandioca pertencentes ao Banco de Germoplasma de Mandioca (BAG) da Embrapa Mandioca e Fruticultura com diferentes intensidades e padrões de florescimento conforme descrito na Tabela 1. O experimento de campo foi realizado na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste, a 220 m de altitude), no período entre outubro/2020 e dezembro/2021. Segundo Köppen e Geiger (1928), o clima da região é considerado equatorial Af, com precipitação média anual de 1170 mm, variando de 900 a 1300 mm. A temperatura média anual é de 23,9 °C e a umidade relativa do ar média anual é de 81 % (SILVA et al., 2016).

**Tabela 1.** Relação de clones de mandioca avaliados com tratamento de fotoperíodo, poda e reguladores de crescimento, de acordo às suas intensidades de floração previamente conhecidas.

Genótipos	Tipo genótipo	Florescimento	Intensidade
BRS CS01	Cultivar	Precoce	Abundante
BRS Tapioqueira	Cultivar	Tardio	Abundante
BRS Kiriris	Cultivar	Tardio	Médio
BRS Novo Horizonte	Cultivar	Tardio	Médio
BR-14-006-02	Clone	Ausente	Não conhecido
BR-14-010-11	Clone	Precoce	Baixo
BR-17-006-62	Clone	Tardio	Baixo
BR-17-012-59	Clone	Tardio	Baixo

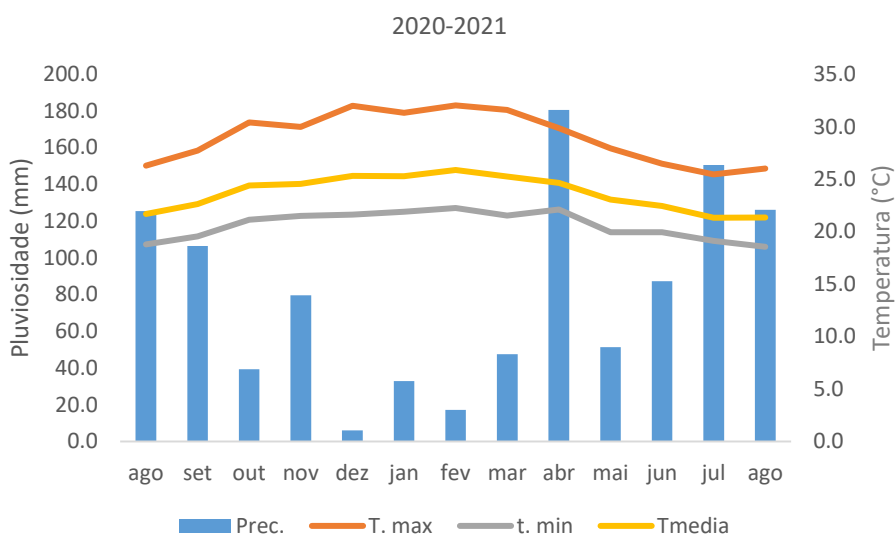
Os dados de precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal durante o experimento foram obtidos pela estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Figura 1). A duração do fotoperíodo natural no local do ensaio é de cerca de 12 horas com pequenas variações ao longo do ano, com amplitude cerca de 40 minutos entre dezembro e maio.

O experimento foi implementado utilizando o delineamento em blocos completos casualizados com 3 repetições por tratamento em esquema *split-plot*. A parcela primária foi constituída pela condição do fotoperíodo (noite escura – NE e extensão do fotoperíodo – EF). A NE representa as condições ambientais normais sem luzes (controle). Para a condição EF foram utilizados 50 refletores LED 50W

de luz vermelha; as luzes foram acessas ao pôr do sol (17:00) e desligadas após o nascer do sol (6:00). Os refletores estavam fixados no campo a 3 metros de altura e organizados em 6 fileiras com espaçamento de 9 metros. As duas condições de fotoperíodo foram instaladas com uma distância de 16 metros para evitar interferência da luz vermelha nos tratamentos controle.

Dentro de cada condição de fotoperíodo foram avaliados cinco tratamentos: 1) sem poda; 2) poda no 1º evento de ramificação; 3) poda no 2º evento de ramificação; 4) Poda + RCV no 1º evento de ramificação; e 5) Poda+ RCV no 2º evento de ramificação. Para cada combinação genótipo, fotoperíodo e tratamento foram avaliados parcelas compostas por quatro plantas úteis na parcela (oito plantas no total).

**Figura 1.** Precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de agosto de 2020 a agosto de 2021 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.



Para o plantio, foram utilizadas manivas com 20 cm de comprimento e com média de oito gemas foliares, extraídas do terço médio de plantas com 12 meses de idade com boas condições fitossanitárias. O espaçamento de plantio foi de 0,90 m entre linhas e de 0,80 m entre plantas, que é o padrão na região de cultivo. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações de Souza et al. (2006).

## 2.2 Poda e aplicação de reguladores de crescimento vegetal

O ápice das plantas com altura mínima de 60 cm, foi inspecionado semanalmente para identificar indícios de florescimento. Ramificações apicais medindo de 1 a 2 cm de comprimento, identificadas no meristema apical, foram podados cuidadosamente visando a integridade da inflorescência, utilizando lâminas cirúrgicas de acordo com Pineda et al. (2020). Os ramos laterais, que se desenvolviam posteriormente a poda, cerca de 10 cm abaixo do ápice da poda foram retirados periodicamente.

Os reguladores de crescimento utilizados no tratamento combinado com poda foram o 6-Benzyladenine (BA) a 0.5 mM e o Tiosulfato de prata (STS) 4.0 mM. O BA foi preparado por meio da mistura de 5,7 mL do produto comercial Maxcel (*Valent BioSciences*, Libertyville, Illinois, USA) com 1000 mL de água destilada (PINEDA et al, 2020). A solução foi aplicada semanalmente nas inflorescências, pela manhã, utilizando um borrifador, até o período de senescência das flores, em média duas semanas. Aproximadamente 5 ml de solução foram pulverizados por inflorescência. Para o preparo do STS, 40 ml solução de nitrato de prata 0,1M foi adicionada lentamente em 160 ml de solução de tiosulfato de sódio 0,1M, sendo obtido dessa forma 200 ml de STS 20 Mm. Para a diluição, 200 mL da solução STS 20 mM foi adicionado em 800 mL H<sub>2</sub>O, obtendo-se 1000 mL de STS 4 mM (OLUWASANYA, et al. 2020). O STS foi aplicado, via pecíolo a 40 cm abaixo do ápice da planta a cada 14 dias até o término da colheita dos frutos. A aplicação via pecíolo foi realizada através da retirada da folha, com lâmina cirúrgica e inserção de um tubo Falcon (*Falcon Brand*, Corning, NY, USA) cônico de 15 ml contendo 2,5 ml de solução. Os pecíolos permaneciam imersos em solução durante 72 horas.

## 2.3 Coleta e análise de dados fenotípicos

Os dados fenotípicos foram coletados semanalmente em plantas individuais por parcela. As características relacionadas a produção de flores foram: número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM), no 1° e 2° evento de ramificação; as relacionadas ao tempo de florescimento foram: altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de dias para a primeira ramificação (ND1R) e o número de eventos

de ramificação até 240 dias após o plantio (NER) (analisado apenas nas parcelas de controle).

Para todas as características foi realizada uma análise de variância (ANOVA), utilizando o pacote *lme4* (BATES et al., 2015). As análises iniciais foram realizadas apenas na parcela primária (efeito do fotoperíodo), que juntamente com genótipos foram considerados como efeitos fixos. Em seguida, a ANOVA para as características de produção de flores foi realizada considerando genótipo e interação genótipos x tratamentos (combinação de posição de poda e presença ou ausência de RCV) como efeitos aleatórios e o efeito de tratamento como fixo. Portanto, a observação fenotípica  $Y_{ik}$  do genótipo  $i$  dentro do tratamento  $k$  foi modelado pela equação:  $Y_{ik} = \mu + t_k + g_i + (g * t)_{ik} + \epsilon_{ik}$ , em que,  $\mu$  é a média geral,  $t_k$  é o efeito fixo de tratamento;  $g_i$  é o efeito aleatório de genótipo,  $(g * t)$  é o efeito aleatório da interação entre genótipos e tratamentos e  $\epsilon_{ik}$  é o efeito aleatório residual do genótipo  $i$  dentro do tratamento  $k$ .

As diferenças entre as médias dos tratamentos para cada genótipo foram analisadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), por meio do pacote *rstatix* (KASSAMBARA, 2021). Para comparação entre as médias dos tratamentos de forma geral, foi realizado o teste de médias Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) por meio do pacote *ScottKnott* (JELIHOVSCHI et al., 2014). Os pacotes utilizados estão implementados no software R versão 4.1.2 (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

### 3.0 RESULTADOS

#### 3.1 Efeito do fotoperíodo no desenvolvimento de genótipos de mandioca

O tratamento fotoperíodo apresentou efeito significativo para as características número de dias para primeira ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R) e número de eventos de ramificação (NER) (até 240 dias após o plantio) (Tabela 2). Entretanto, para número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM) não houve efeito significativo do fotoperíodo (Tabela 2).

A média geral entre os genótipos para o tratamento fotoperíodo, noite escura (NE - controle) e extensão de fotoperíodo (EF) é apresentada Figura 2. Houve uma redução em aproximadamente 12,8 cm na A1R e de 35 dias para ND1R, demonstrando o efeito benéfico da extensão do fotoperíodo no desenvolvimento precoce da ramificação em mandioca. Plantas submetidas a extensão do

fotoperíodo apresentaram maior NER ao longo das avaliações. Entretanto, não houve aumento para as características NFF e NFM no tratamento EF, de acordo com ausência de significância na ANOVA.

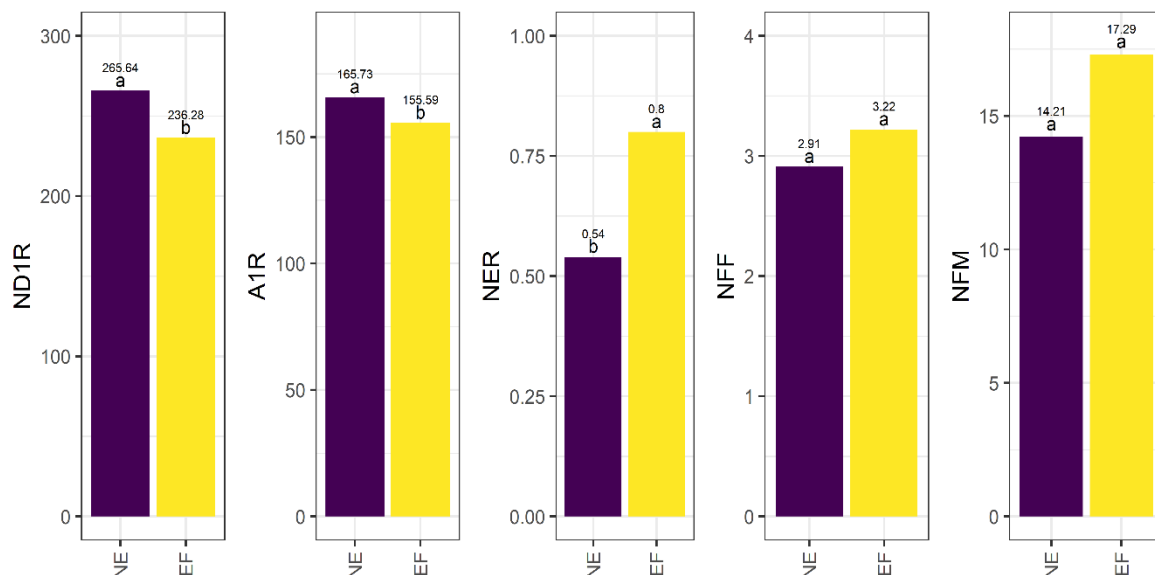
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para os efeitos de extensão do fotoperíodo para as características número de dias para primeira ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R) e número de eventos de ramificação (NER), número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM), avaliados em oito genótipos de mandioca.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		ND1R	A1R	NER	NFF	NFM
Genótipo (G)	7	136042***	23103,10***	6,39***	18,87 <sup>ns</sup>	656,54**
Fotoperíodo (F)	1	26556**	5315,20*	3,48**	14,88 <sup>ns</sup>	647,76 <sup>ns</sup>
F x G	7	13936***	3328,10**	0,94**	12,49 <sup>ns</sup>	167,08 <sup>ns</sup>
Erro	131	2436 <sup>ns</sup>	942,90 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	9,38 <sup>ns</sup>	223,22 <sup>ns</sup>
Média		214,90	146,03	0,87	6,77	30,22
CV		0,48	0,33	1,03	1,71	1,63

GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; \*: Significância: \*\*\*=0,001; \*\*=0,01; \*=0,05; <sup>ns</sup>: Não significativo

Com base no desempenho individual em relação ao efeito da extensão do fotoperíodo verificou-se que os genótipos BRS Novo Horizonte e BRS Kiriris, caracterizados pelo florescimento tardio, apresentaram redução significativa no número de dias para o início do florescimento (90 e 81 dias, respectivamente). Por outro lado, o genótipo BRS CS01, manteve seu comportamento caracterizado como precoce, apresentando redução significativa no número de dias para o início do florescimento em 66 dias (Figura 3). Já para o genótipo BR-14-006-02, caracterizado pelo florescimento ausente, houve um aumento do número de dias para o início da ramificação e da A1R, além de redução do NER quando se utilizou a extensão do fotoperíodo.

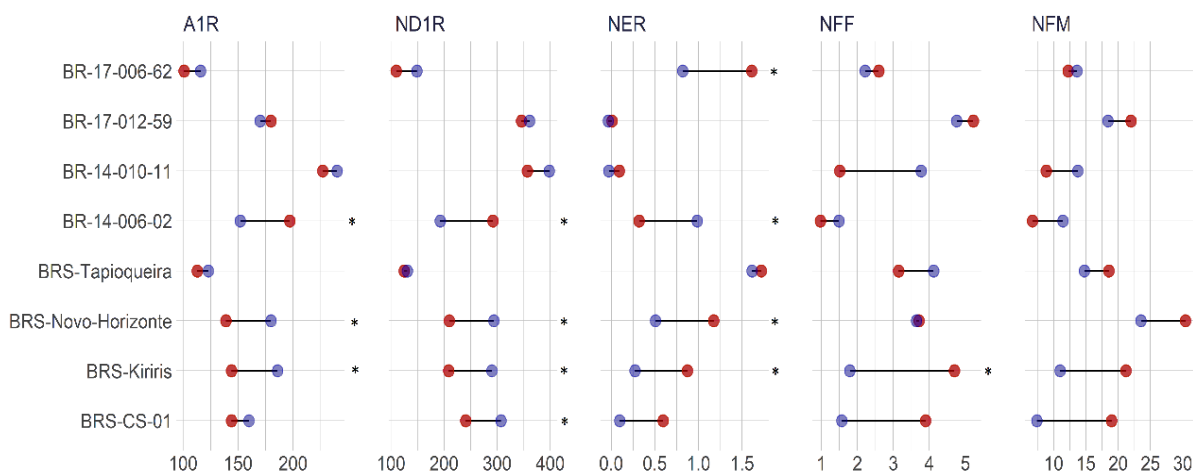
**Figura 2.** Teste de médias de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para número de dias para primeira ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de ramificação (NER) até 240 dias após o de plantio, número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), avaliados em oito genótipos de mandioca sem (NE) e com extensão de fotoperíodo (EF).



O genótipo BR-17-006-62, apresentou um aumento significativo para a característica NER quando submetido à extensão do fotoperíodo, mesmo sendo um genótipo com florescimento baixo e tardio. Além disso, o genótipo BRS Kiriris, que é caracterizado pela média intensidade de florescimento, apresentou o maior aumento de NFF em relação aos demais genótipos nos tratamentos com extensão do fotoperíodo. Por outro lado, o genótipo BR-17-012-59 manteve suas características de florescimento tardio e de baixa intensidade, enquanto os genótipos BR-14-010-11 e BRS Tapioqueira não apresentaram efeitos significativos para as características avaliadas, quando submetidos à extensão do fotoperíodo.



**Figura 3.** Médias ajustadas das características: dias para início de ramificação (ND1R), altura da primeira ramificação (A1R, em cm), número de ramificações (NER – avaliados até 240 dias após o plantio), número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM) em dois tratamentos de fotoperíodos: noite escura (NE), representado pela cor azul, e extensão de fotoperíodo (EF), representado pela cor vermelha; \* representa diferenças significativas a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.



### 3.2 Efeito da poda prematura e aplicação de reguladores de crescimento vegetal

Para determinar os efeitos da poda prematura e dos reguladores de crescimento, bem como seus contrastes foram considerados o número de flores masculinas e femininas nos dois primeiros níveis de ramificação das parcelas do controle (R1 e R2). Inicialmente foi verificado o efeito da poda considerando o número de flores no 1º nível de ramificação dos controles, cujos efeitos para número de flores masculinas e femininas foram significativos ( $p < 0,01$ ) (Tabela 3). Para o 2º nível de ramificação foi observado efeito significativo apenas para a característica número de flores femininas.

O primeiro contraste avaliado (C1) se refere à comparação entre o efeito da poda (desconsiderando nível e aplicação dos reguladores de crescimento) e os controles (1º e 2º nível de ramificação). Os resultados demonstram efeito significativo para número de flores masculinas e femininas considerando os controles na R1. O segundo contraste (C2), refere-se ao efeito da poda entre diferentes níveis avaliados (R1 e R2), desconsiderando o controle. Para esse contraste não houve efeito significativo para aumento do florescimento. O terceiro

contraste (C3), que correspondente à comparação entre a 'Poda' versus 'Poda + RCV', apresentou efeito significativo a 1% de probabilidade para NFF em ambos os níveis R1 e R2.

**Tabela 3.** Análise de variância dos efeitos de extensão do fotoperíodo para as características número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM) avaliadas para dois níveis de ramificação, em oito genótipos de mandioca.

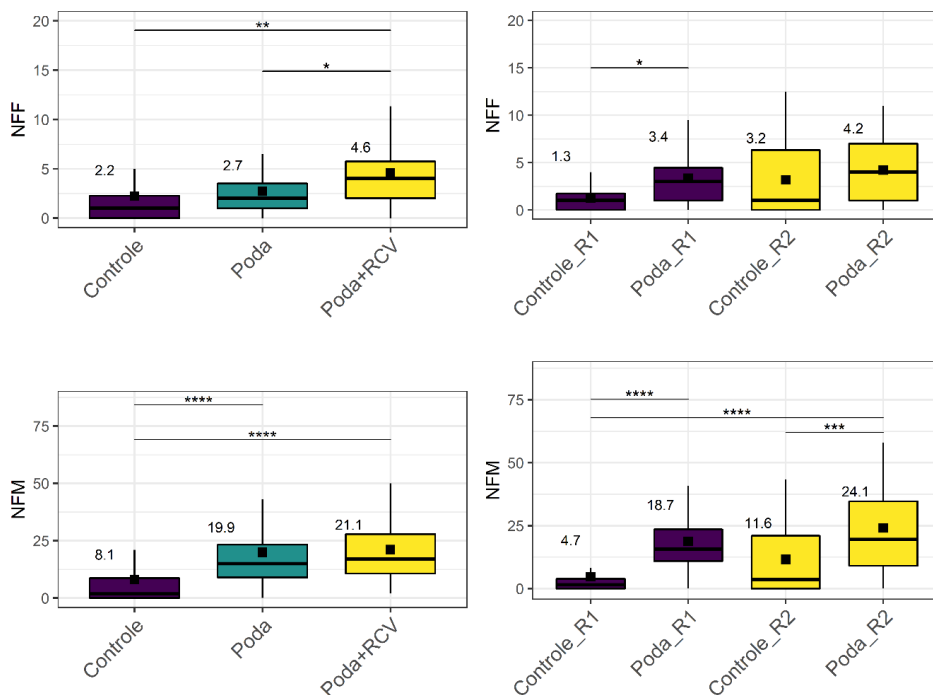
Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Controle R1		Controle R2	
		NFF	NFM	NFF	NFM
Bloco	5	3.16	214.33	4.16	241.50
Genótipos	7	132.4*	652.62***	41.05***	1194.18***
Poda	4	76.05***	1995.02***	36.12**	380.90 <sup>ns</sup>
C1: Controle vs. Poda	1	172.40***	7105***	7.40 <sup>ns</sup>	687.90 <sup>ns</sup>
C2: Poda R1 vs. Poda R2	1	11.06 <sup>ns</sup>	530 <sup>ns</sup>	13.86 <sup>ns</sup>	549.20 <sup>ns</sup>
C3: Poda vs. 'Poda + RCV'	1	120.72***	53 <sup>ns</sup>	123.10***	54.41 <sup>ns</sup>
Resíduos	115	6.85	154.52	8.69	198.35

R1: Primeiro nível de ramificação; R2: Segundo nível de ramificação C: Contrastes; <sup>ns</sup>: Não significativo; Significância: \*\*\*=0.001; \*\*=0.01; \*=0.05

As médias e distribuição dos BLUPs para as características NFF e NFM para os tratamentos 'Poda' e 'Poda + RCV' nas duas ramificações avaliadas são apresentadas na Figura 4. Para NFF o uso apenas da poda não resultou em aumento significativo na produção de flores em comparação com o controle. Entretanto, a combinação 'Poda + RCV', proporcionou um aumento na média de flores de 2,2 (controle) para 4,6. Da mesma forma, o NFM aumentou quando foi utilizado o tratamento Poda + RCV' em comparação com o controle de 8,1 para 21,1. Por outro lado, os tratamentos 'Poda' e 'Poda + RCV' apresentaram resultados similares, sendo o último capaz de proporcionar aumento de aproximadamente 10 flores em média quando comparada com o controle.

Ambos os níveis de ramificação avaliados demonstraram diferenças significativas para NFF e NFM quando submetidos aos tratamentos 'Poda' para R1 (Figura 4). Para NFF, houve diferenças estatísticas quando a poda foi realizada no primeiro nível de ramificação. Já para NFM, houve diferença significativa quando a poda foi realizada em R1 ou R2. Sendo o aumento de NFM da poda em R1 de 4,7 (Controle R1) para 18,7 e da poda em R2 para 24,1.

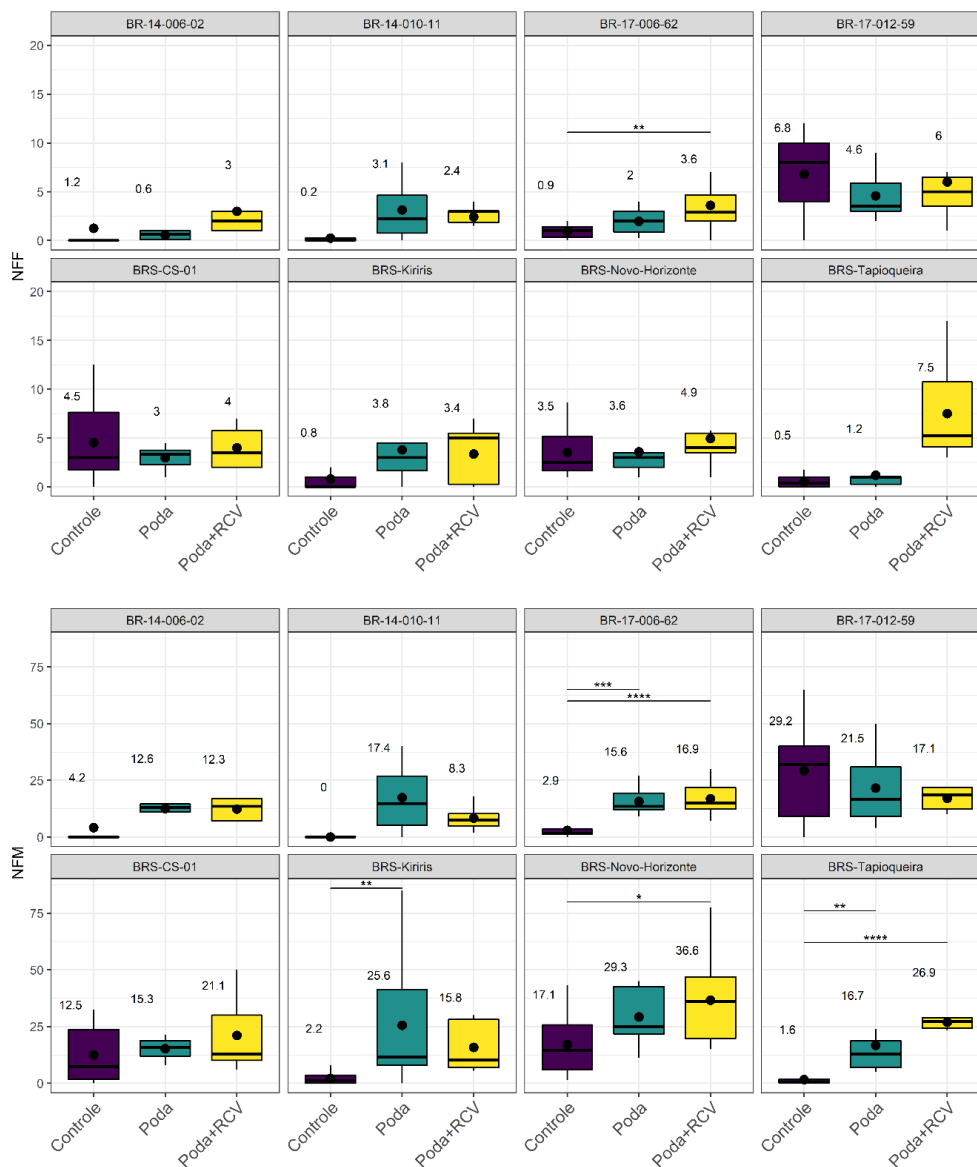
**Figura 4.** *Boxplots* dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), em relação aos tratamentos de poda, poda+ RCV e ao nível de ramificação R1, primeiro nível de ramificação; R2, segundo nível de ramificação avaliados em oito genótipos de mandioca. Linhas superiores representam diferenças estatísticas a 5% de significância obtidas pelo teste Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



Em relação ao desempenho individual dos genótipos nos tratamentos envolvendo o uso da poda, verificou-se que apenas o genótipo BR-17-006-62 apresentou efeitos significativos no aumento do NFF e NFM, quando submetidos ao tratamento Poda + RCV (Figura 5). Para NFF o aumento registrado em média foi de 0,9 (controle) para 3,6 (Poda+RCV), já para NFM a média de flores foi de 2,9 (controle) para 16,9 (Poda+RCV).

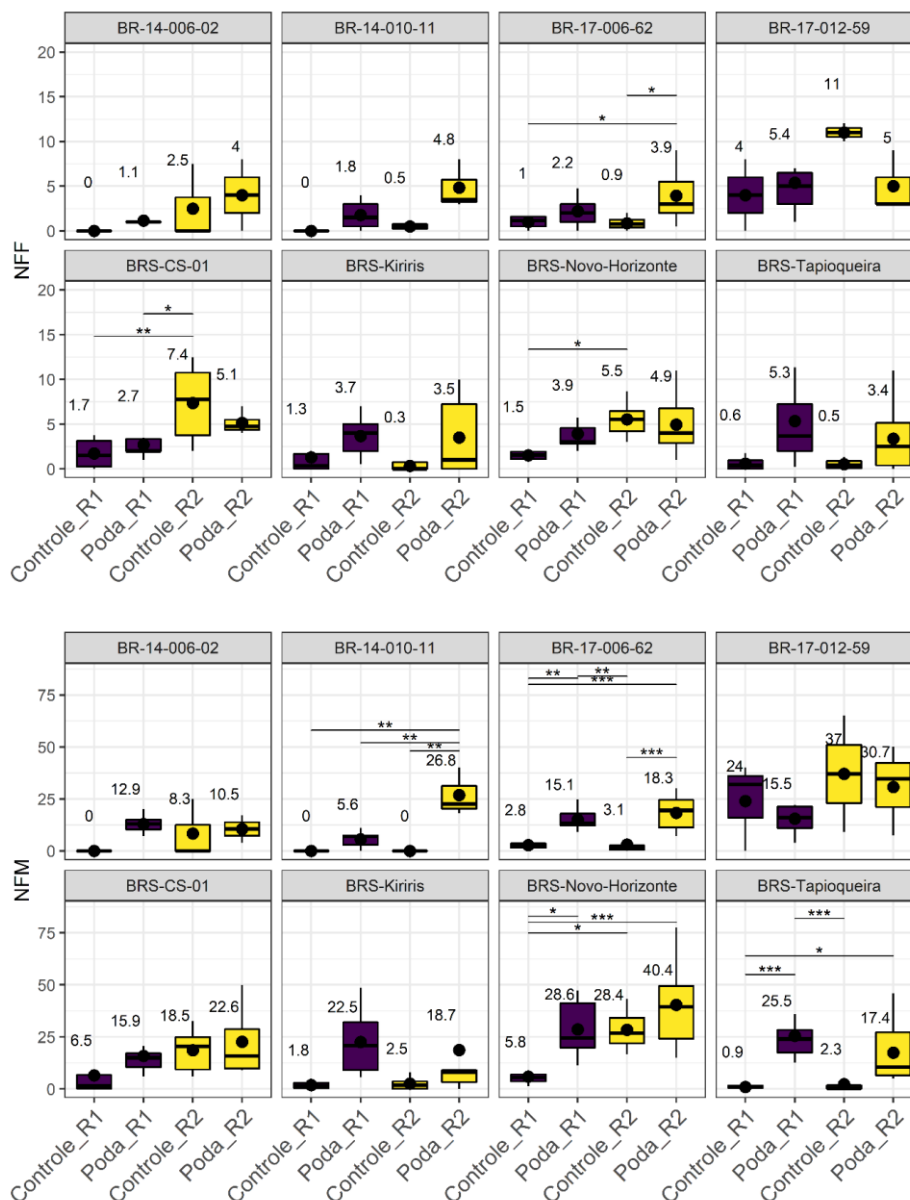
Em relação à BRS Tapioqueira, o tratamento 'Poda + RCV' foi superior ao controle e ao tratamento 'Poda', resultando em aumento médio de 1,6 (controle) para 26,9 flores masculinas (Figura 5). Resultado similar foi obtido para o BRS Novo Horizonte, com um aumento de 17,1 (controle) para 36,6 flores masculinas. Por outro lado, a variedade BRS Kiriris, apresentou efeitos positivos em relação ao aumento do número de flores masculinas apenas com o uso da poda, tendo um aumento médio de aproximadamente 23 flores.

**Figura 5.** *Boxplots* dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores masculinas (NFM), em relação aos tratamentos de poda, poda com uso de reguladores de crescimento vegetal (RCV), avaliados em oito genótipos de mandioca. Linhas superiores representam diferenças estatísticas pelo teste Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



Em relação à avaliação dos genótipos quanto ao nível ideal de ramificação para indução do florescimento, verificou-se que de modo geral o primeiro nível de ramificação (R1) já foi suficiente para promover o aumento de algumas características associadas ao florescimento apenas para NFM para os genótipos BR-17-006-62, BRS Novo Horizonte e BRS Tapioqueira (Figura 6).

**Figura 6.** *Boxplots* dos *best linear unbiased predictors* (BLUPs) para número de flores femininas (NFF) e número de flores femininas masculinas (NFM) para oito genótipos de mandioca avaliados em relação ao tratamento poda e os níveis de ramificação (R1, primeiro nível de ramificação; R2, segundo nível de ramificação). Linhas superiores representam diferenças estatísticas a 5% de significância obtidas pelo teste Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



No segundo nível de ramificação (R2) um dos genótipos com florescimento tardio e baixo (BR-17-006-62) apresentou aumento significativo para NFF com uso da poda, proporcionando um aumento em média de 2,8 (Controle R1) e 0,9 (Controle R2) para 3,9 flores (Poda R2) (Figura 6). Para a característica NFM, a poda em R2 proporcionou ao genótipo BR-14-010-11 que, no geral, não havia

produzido flores nos controles, um aumento de 20% no número de flores quando comparado a poda R1 e R2 (26,8). Comportamento semelhante foi observado nos genótipos BRS Tapioqueira e BR-17-006-62, que passaram de 0,98 (Controle R1) e 2,3 (Controle R2) para 17,4 flores (Poda R2).

## 4.0 DISCUSSÃO

### 4.1 Ação do fotoperíodo na precocidade do florescimento, número médio de eventos de ramificações e número de flores em mandioca

A escolha de diferentes genótipos contrastantes quanto ao florescimento foi a premissa principal deste estudo para observar o efeito da extensão do fotoperíodo para essa característica, pois a sincronização do tempo de florescimento (MULUALEM; BEKEKO, 2015) e o não florescimento de genótipos elites ainda se constituem sérios problemas para a recombinação de parentais de mandioca com características favoráveis. Dentre os genótipos avaliados, 50% apresentaram redução significativa no número de dias para início do florescimento, reforçando que o uso da extensão do fotoperíodo possui influência positiva no florescimento precoce da mandioca. Em um estudo sobre a fenologia do florescimento da cultura, o maior percentual de florescimento (59% dos genótipos) foi encontrado no período da primavera, seis meses após o plantio, momento na qual ocorre fotoperíodos mais longos (12,34 horas) (SOUZA, et al., 2020).

O efeito indutor do fotoperíodo está relacionado à superexpressão de genes e sua atuação no fotoperiodismo, que envolve a resposta da planta ao comprimento do dia e a forma como ela florescerá em resposta a mudanças nos ritmos circadianos na presença de luz (ANDRÉS; COUPLAND, 2012; CHO et al., 2017). O gene do *locus t* (*FT*) está intimamente ligado com a via do florescimento em mandioca, sendo um componente chave, quando regulado por componentes de sinalização como o fotoperíodo e temperatura (ADEYEMO et al., 2019). De fato, estudos prévios em *Arabidopsis* demonstram que a oscilação do fotoperíodo reprime ou ativa os reguladores do gene *FT* (BAO et al., 2019). Além disso, em mandioca a presença de dois homólogos de *FT*, *MeFT1* e *MeFT2* promovem a regulação do florescimento pelo fotoperíodo, já que a expressão de *MeFT2* depende diretamente do fotoperíodo disponível.

O florescimento em mandioca está correlacionado com a presença de ramificação, desta forma, genótipos com muitos níveis de ramificação têm maior número de flores por planta (IBRAHIM et al., 2020). Neste estudo, a extensão do fotoperíodo promoveu um aumento considerável em relação ao número de eventos de ramificações (NER) até os 240 dias avaliados. O genótipo BR-17-006-62, classificado previamente com florescimento tardio de baixa intensidade, apresentou maiores chances de florescimento (em média duas vezes ao controle) quando se utilizou a extensão do fotoperíodo. Isso confirma resultados encontrados anteriormente em mandioca, em que genótipos eretos e de baixa floração foram favorecidos com utilização do fotoperíodo estendido, obtendo aumento no número de eventos de ramificação em relação a noites escuras de 0,58 para 2,60 em 2017/18 (PINEDA et al., 2020).

Embora tenha havido influências positivas em diversos atributos relacionados ao florescimento em mandioca, no presente estudo, a extensão do fotoperíodo não induziu o aumento do número de flores femininas e masculinas, considerando apenas os dois primeiros níveis de ramificação. Este resultado difere de estudos prévios na qual o fotoperíodo induziu maior produção de flores. Na Colômbia, com temperaturas registradas ao longo do ano de  $30,1^{\circ} \pm 2,7^{\circ}$ , um experimento realizado em campo, determinou que plantas de mandioca expostas a  $0,02 \mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durante toda a noite com luz vermelha, apresentam maiores eventos de ramificação e número de flores (PINEDA et al., 2020). Adeyemo et al. (2019) observaram que o fotoperíodo estendido com luzes brancas por 14h e os intervalos de temperatura de  $22^{\circ}$  e  $28^{\circ}$ , possibilitaram maior nível de florescimento nos genótipos de mandioca avaliados. A extensão de fotoperíodo aplicada em plantas de morango cultivadas em estufa por 14h em temperatura de  $18^{\circ}$  e  $24^{\circ}$ , no Canadá, mostrou indução e desenvolvimento de flores com a utilização de LEDs vermelhos e azuis em proporção de 1:5 (SIDHU et al., 2021).

Apesar dos relatos de sucesso da extensão do fotoperíodo na indução do florescimento em mandioca, também existem diversos relatos da inibição do florescimento quando utilizadas estratégias de extensão do fotoperíodo. Em *Vigna subterrânea*, Kendabie et al. (2020) reportaram um atraso na iniciação floral para o genótipo Ankpa4, além de uma inibição do florescimento, no qual o número de flores produzidas por planta foi reduzido em diferentes tratamentos com extensão do fotoperíodo. Adicionalmente, o fotoperíodo apresentou baixa influência no

florescimento em 37 espécies lenhosas cultivadas em áreas subtropicais (SONG et al., 2020) com regime pluviométrico de 1787 mm.

Uma provável explicação para o baixo efeito da extensão do fotoperíodo na produção de flores masculinas e femininas observadas no presente estudo, pode ser atribuída ao controle da umidade ao longo do experimento, sobretudo nos períodos de estiagem, visto que não foi realizada irrigação suplementar. Outros estudos que identificaram o potencial da extensão do fotoperíodo para aumento do florescimento e frutificação em mandioca foram capazes de manter a umidade no solo, por meio de irrigação suplementar (PINEDA et al., 2020). No nosso estudo, procurou-se avaliar os efeitos dos tratamentos (fotoperíodo, poda e RCV) em condições naturais de cultivo na região dos Tabuleiros Costeiros, e nesse caso os maiores períodos de florescimento coincidiram com os maiores índices pluviométricos observados ao longo do ano, nos meses de abril a julho, e nos meses de estiagem (dezembro a fevereiro) a produção de flores foi bastante reduzida (Figura C1).

Oluwasanya et al. (2021), reportaram que a maior taxa de florescimento de mandioca na cidade de Ubiaja (estado de Edo, Nigéria), estava associado também a uma maior presença de chuva em relação a Ibadan (estado de Oyo, Nigéria). Dessa forma, as evidências disponíveis indicam que o regime pluviométrico do local é um fator contribuinte para explicar as diferenças de floração da mandioca em diversos ambientes. O florescimento em mandioca nos trópicos, é descrito, através da hipótese em que a redução da temperatura, decorrente do início das chuvas, estimula o início do florescimento (DICK, 1995). Portanto, estes achados demonstram que além dos tratamentos adicionais para promoção do florescimento em mandioca, é preciso montar os blocos de cruzamentos em regiões/áreas com potencial de irrigação nos períodos mais secos do ano para que os efeitos dos demais tratamentos não sejam suprimidos.

#### **4.2 Efeito da poda e reguladores de crescimento vegetais sobre a produção de flores em mandioca**

A mandioca apresenta variabilidade no número de ramificações entre os genótipos. Nesse estudo, foi observado que a poda promoveu aumento do florescimento nas duas primeiras ramificações. A poda prematura atua na indução



do florescimento, por meio da inibição do crescimento desenfreado dos ramos vegetativos que inibem o crescimento das inflorescências e resultam no seu aborto. Além disso, já foi constatado que a poda proporciona um aumento dos níveis de expressão de homólogos da proteína IAA16 (repressor de respostas à auxina) e TIFY10b (fator de transcrição para regulador de ácido jasmônico), reforçando uma interação entre genes de sinalização hormonal e a poda (OLUWASANYA et al., 2020). Os resultados apresentados no presente estudo, demonstraram que para as características NFF e NFM, a poda na segunda ramificação proporcionou uma maior produção de flores. Além disso, o genótipo BR17-006-62, caracterizado pela baixa produção de flores, ao ser submetido a poda prematura apresentou um aumento em 23% na quantidade de flores masculinas. Resultados similares foram relatados indicando que a poda proporcionou um aumento da produção de flores em genótipos de florescimento tardio e com baixa produção de sementes (PINEDA et al., 2020). Em outras espécies, como a romã por exemplo, o crescimento vegetativo imediatamente após a poda está associado à ativação do gene PgCENa, um supressor de floração da família da proteína de ligação à fosfatidiletanolamina (PEBP) enquanto uma redução do crescimento está associada ao florescimento imediato (PATIL et al., 2022).

No presente estudo não houve aumento significativo no número de flores femininas apenas com uso da poda. Entretanto, a combinação 'Poda + RCV', proporcionou um aumento de 2,24 (controle) para 5,19 flores femininas. O processo de florescimento é desencadeado através de estímulos por diversos fatores endógenos ou exógenos, possibilitando mudanças do estado de vegetativo para o reprodutivo no meristema apical (ANDRÉS; COUPLAND, 2012; CHO et al., 2017). Além disso, é sabido que a floração sofre alterações desencadeadas pela modulação de vários hormônios como GA (giberelina), ácido jasmonico, etileno, ABA (ácido abscísico) e suas interações com as proteínas DELLA (IZAWA, 2020). Dessa forma, a combinação da poda e da utilização dos reguladores de crescimento vegetais, como benziladenina (BA) + tiosulfato de prata (STS), atuou de forma eficiente no aumento do número de flores femininas. A poda e o STS agem para aumentar o número de flores, enquanto a citocinina sintética (BA) ajuda na promoção da feminização das flores. Vários estudos relataram que os reguladores de crescimento atrasaram ou aceleraram a floração e seu efeito é influenciado principalmente pela espécie, tipo e concentração do regulador de

crescimento. Em *Laelia anceps* o uso de BA e GA3 reduziram significativamente o número de dias para o início do florescimento e promoveram aumento do número de hastes e do número de flores (SARTORIUS et al., 2021). Em mandioca, Hyde et al. (2020) reportaram a eficácia do STS na prevenção do aborto das inflorescências e na maior durabilidade das flores. Além disso, a associação entre poda e reguladores de crescimento, ajudaram no desenvolvimento de flores femininas e de frutos, reforçando as evidências sobre fatores hormonais e vias de sinalização no desenvolvimento floral na mandioca (OLUWASANYA et al., 2020).

Em mandioca, o número de flores tende a aumentar com o aumento no número de ramificações. De fato, Ibrahim et al. (2020), reportaram maior produção de flores masculinas em todas as ramificações, e maior produção de flores femininas na segunda e terceira ramificação. Assim, é necessário analisar o momento ideal para se utilizar métodos invasivos, como a poda, para a indução do florescimento de modo a maximizar o número de flores dentro de um determinado período. Em princípio, parece-nos razoável preconizar que as podas sejam realizadas a partir da segunda ramificação das plantas, mesmo que isso leve mais 60 dias para início dos tratamentos e cruzamentos planejados.

#### **4.3 Perspectivas de aplicação dos resultados no melhoramento da mandioca**

Embora não tenhamos identificado efeito direto da extensão do fotoperíodo no aumento do florescimento e frutificação, os efeitos deste tratamento no aumento da precocidade no florescimento em mandioca permitiram encurtar o início do florescimento em 35 dias. Além disso, o uso de reguladores de crescimento, promoveu um aumento significativo no número de flores femininas. Estudos complementares futuros sobre os mecanismos moleculares que regulam a influência do BA na feminização das flores e do STS no aumento geral do número de flores em mandioca, podem ajudar a compreender genes envolvidos na regulação com maior precisão. Em pesquisas recentes, realizadas por Oluwasanya et al. (2021), o tratamento BA+STS diminuiu a expressão de homólogos de mandioca a exemplo do ABI1 (*Abscisic Acid Insensitive 1*) e HG1 (*Abscisic Acid Hypersensitive Germination 1*). Entretanto, o uso da poda, estimula a expressão dos genes IAA16 e TIFY10b (repressor de respostas à auxina e regulador de

respostas ao ácido jasmônico). Logo, sugere-se uma relação positiva entre esses genes de sinalização hormonal e poda (KORASICK et al., 2014).

A combinação de tratamentos, a exemplo da 'Poda + RCV' e da extensão do fotoperíodo, representam uma alternativa para trazer melhorias significativas na redução da iniciação do florescimento e no aumento da produção de flores. Entretanto, será preciso validar nossos resultados em blocos de cruzamentos com maior número de genótipos elites do programa de melhoramento, que geralmente possuem comportamentos variados quanto ao início do florescimento e número de flores produzidas.

Além disso, a indução e sincronização do florescimento em blocos de cruzamento tem sido um entrave para o melhoramento da espécie, sobretudo quando se almeja a obtenção de progênies com ampla recombinação entre segmentos cromossômicos específicos ou mesmo para quebrar ligações genéticas indesejáveis entre determinadas características. Dessa forma, aumentar a nossa compreensão dos fatores ambientais e endógenos que regulam o tempo de floração da mandioca e o mecanismo molecular subjacente, se torna necessário para acelerar e permitir a sincronização e maximização da floração entre os genótipos de mandioca.

## **5.0 CONCLUSÃO**

O presente trabalho demonstra o potencial de uso de novas abordagens como extensão do fotoperíodo, poda prematura dos ramos e aplicação de reguladores de crescimento para promover a indução do florescimento em mandioca. Com a extensão do fotoperíodo houve maior precocidade no florescimento, além de aumentar o número de ramificações. Por outro lado, o uso da poda e de reguladores de crescimento promoveram um aumento significativo no número de flores.

Os reguladores de crescimento aumentaram o número de flores femininas e induziram a feminilização. Os resultados fornecem indícios de como otimizar a produção de flores necessárias para os cruzamentos, permitindo o aumento na produção de indivíduos por progênies.

## 6.0 REFERÊNCIAS

- ADEYEMO, O. S.; HYDE, P. T.; SETTER, T.L. Of FT family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v. 32, p. 181–191, 2019.
- ANDRADE, L. R. B.; SOUSA, M. B.; OLIVEIRA, E. J.; RESENDE, M.D.V.; AZEVEDO, C. F. Cassava yield traits predicted by genomic selection methods. **PLoS One**, v. 14, e0224920, 2019.
- ANDRÉS, F.; COUPLAND, G. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. **Nature Reviews Genetics**, v. 13, p. 627–639, 2012.
- BANDEIRA E SOUSA, M.; ANDRADE, L.R.B; SOUZA, E.H; ALVES, A.A.C.; DE OLIVEIRA, E.J. Reproductive barriers in cassava: factors and implications for genetic improvement. **PLoS ONE**, v.16, n.11, e0260576, 2021.
- BAO, S.; HUA, C.; HUANG, G.; CHENG, P.; GONG, X.; SHEN, L.; HAO, Y. Molecular basis of natural variation in photoperiodic flowering responses. **Developmental Cell**, v.50, p. 90-101, 2019.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p.1–48, 2015.
- CEBALLOS, H.; KAWUKI, R.S.; GRACE, V.E.; YENCHO, G.C.; HERSHEY, C.H. Conventional breeding, marker-assisted selection, genomic selection and inbreeding in clonally propagated crops: a case study for cassava. **Theoretical and Applied Genetics**, v.128, n. 9, p. 1647–1667, 2015.
- CEBALLOS, H.; RAMIREZ, J.; BELLOTTI, A.C.; JARVIS, A.; ALVAREZ, E. Adaptation of cassava to Changing Climates. In **Crop Adaptation to Climate Change**; YADAV, S., REDDEN, B., HATFIELD, J.L., LOTZE-CAMPEN, H., Eds.; Wiley- Blackwell Publishers: Hoboken, NJ, USA, p. 411–425. 2011.
- CEBALLOS, H; JARAMILLO, J.; SALAZAR, S.; PINELA, L. Induction of flowering in cassava through grafting. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 9, n. 2, p. 19–29, 2017.
- CHO, L.-H., YOON, J.; AN, G. The control of flowering time by environmental factors. **The Plant Journal**, v. 90, p. 708–719, 2017.
- COLLANI, S.; NEUMANN, M.; YANT, L.; SCHMID, M. FT modulates genome-wide DNA-binding of the bZIP transcription factor FD. **Plant Physiology**, v. 180, n. 1, p. 367–380, 2019.
- CORBESIER, L.; VINCENT, C.; JANG, S.; FORNARA F.; FAN Q.; SEARLE I.; GIAKOUNTIS A.; FARRONA S.; GISSOT L.; TURNBULL C.; COUPLAND G. FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of Arabidopsis. **Science**, v.316 (5827), p.1030– 1033, 2007.

DICK, J.M. Flower induction in tropical and subtropical forest trees. **Commonwealth Forestry Review**, v. 74, n.2, p. 115-120, 1995.

EZUI, K. S.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; AHIABOR, B. D. K.; TETTEH, F. M.; SOGBEDJI, J.; GILLER, K. E. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. **Field Crops Research**, v.185, p.69-78, 2016.

FORSTER-CARNEIRO, T.; FONGER, F.; BARBOSA, J.; SANTOS, V. Longevidade de inflorescências de esporinha tratadas com sacarose e tiosulfato de prata. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.9, 2003.

FU, Q.T.; NI, L.J.; CHEN, M.S. De novo transcriptome assembly and comparative analysis between male and benzyladenine-induced female inflorescence buds of *Plukenetia volubilis*. **Journal of Plant Physiology**, v. 221, p.107–118, 2018.

FREITAS, J.P.X.; DA SILVA SANTOS, V.; DE OLIVEIRA, E.J. Inbreeding depression in cassava for productive traits. **Euphytica**, v. 209, p. 137–145, 2016.

FRÖSCHLE, M.; HORN, H.; SPRING, O. Effects of the cytokinins 6-benzyladenine and forchlorfenuron on fruit-, seed- and yield parameters according to developmental stages of flowers of the biofuel plant *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Plant Growth Regulation**, v. 81, p. 293–303, 2017.

HARKULKAR, B.; DALVI, N.; SALVI, B.; DESHPANDE, R. Effects of pruning levels and growth regulators on Jasmine. **Journal of Eco-Friendly Agriculture**, v,17, p. 22-24, 2022.

HOHENFELD, C. S.; SANTANA, M. P.; JUNIOR, L. R. C.; DE OLIVEIRA, E. J.; DE OLIVEIRA, S. S. Modelling growth characteristics and aggressiveness of *Neoscytalidium hyalinum* and *Fusarium solani* associated with black and dry root rot diseases on cassava. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, p. 1-11, 2018.

HOWELER, R.; LUTALADIO, N.; THOMAS, G. Save and grow cassava. A guide to sustainable production intensification. **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO**, p.129, 2013.

HYDE, P.T.; GUAN, X.; ABREU, V.; SETTER, T.L. The anti-ethylene growth regulator silver thiosulfate (STS) increases flower production and longevity in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Growth Regulation**, v. 90, n. 3, p. 441–453, 2020.

IBRAHIM, Y.; BAGUMA, Y.; ABINCHA, W.; GIBSON, P.; EDEMA, R.; BISIKWA, J. Flowering problems and their possible solution in cassava breeding. **Journal of Scientific Agriculture**, v.4, p. 83-89, 2020.

IZAWA, T. What is going on with the hormonal control of flowering in plants. **The Plant Journal**, v. 105, p. 431–445, 2020.

JALA, I.M.; SILVA, C.C.; FILHO, J.S.S.; OLIVEIRA, E.J.; NÓBREGA, R.S.A. Seedlings of cassava varieties are responsive to organic fertilization. **Semina**, v. 40, n. 5, p. 2151-2164, 2019.

JELIHOVSCHI, E.G.; FARIA, J.C.; ALLAMAN, I.B. *ScottKnott*: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. **Tema**, v.15, n.1, 2014.

KASSAMBARA, A. rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/rstatix/> (<https://cran.r-project.org/web/packages/rstatix/>).

KENDABIE, P.; JORGENSEN, S.T.; MASSAWE, F.; FERNANDEZ, J.; AZAM-ALI, S.; MAYES, S. Photoperiod control of yield and sink capacity in Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) genotypes. **Food and Energy Security**, v.9, p. 1002, 2020.

KORASICK, D.A.; WESTFALL, C.S.; LEE, S.G.; NANAQ, M.H.; DUMAS, R.; HAGEN, G.; GUILFOYLE, T.J.; JEZ, J.M.; STRADER, L.C. Molecular basis for auxin response factor protein interaction and the control of auxin response repression. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n.14, p.5427-5432, 2014.

LEELAWIJITKUL S.; KONGSIL P.; KITTIPADAKUL P.; JUNTAWONG P. Correlation Between Relative Gene Expression Patterns of Two *Flowering locus T* (*MeFT1* and *MeFT2*) in Cassava Leaf and Flowering Traits Under Different Flowering Induction Conditions. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.25, n.5, p. 369-379, 2022.

LUO, Y.; PAN, B.Z.; LI, L.; YANG, C.X.; XU, Z.F. Developmental basis for flower sex determination and effects of cytokinin on sex determination in *Plukenetia volubilis* (Euphorbiaceae). **Plant Reproduction**, v. 33, n.1, p. 21-34, 2020.

MCGARRY, R.; KLOCKO, A.; PANG, M.; STRAUSS, S.; AYRE, B. Virus-induced flowering: an application of reproductive biology to benefit plant research and breeding. **Plant Physiology**, v. 173, p. 45-77, 2016.

MERCHANTE, C.; ALONSO, J.; STEPANOVA, A. Ethylene signaling: Simple ligand, complex regulation. **Current Opinion in Plant Biology**, v.16, 2013.

MULUALEM, T.; BEKEKO, Z. Assessment of conventional breeding on cassava and its physiological adaptive mechanisms: implication for moisture stress. **Asian Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 38-54, 2015.

OLIVEIRA, E., J.; DE OLIVEIRA, S., A., S; OTTO, C.; ALICAI, T.; DE FREITAS, J., P., X.; CORTES, D., F., M.; PARIYO, A.; LIRI, C.; ADIGA, G.; BALMER, A.; KLAUSER, D.; ROBINSON, M. A novel seed treatment-based multiplication approach for cassava planting material. **PLoS One**, v. 6, n.5, e0229943, 2020.

OLUWASANYA D.; ESAN O.; HYDE P.T.; KULAKOW P.; SETTER T.L. Flower development in cassava is feminized by cytokinin, while proliferation is stimulated

by anti-ethylene and pruning: transcriptome responses. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 975. 2021.

ONOZAKI T. Breeding of carnations (*Dianthus caryophyllus* L.) for long vase life. **Breeding Science**, v.68, n.1, p.3-13, 2018.

PATIL, H.; CHAURASIA, A.; KUMAR, S.; KRISHNA, B.; SUBRAMANIAM, V.; SANE, A.; SANE, P. Synchronized flowering in pomegranate, following pruning, is associated with expression of the FLOWERING LOCUS T homolog, *PgFT1*. **Physiologia Plantarum**, v.174, e13620, 2022.

PAN, B.Z.; CHEN, M.S.; NI, J. Transcriptome of the inflorescence meristems of the biofuel plant *Jatropha curcas* treated with cytokinin. **BMC Genomics**, v.15, n.1, p.974, 2014.

PERERA, P.I.; QUINTERO, M.; DEDICOVA, B.; KULARATNE, J.D.; CEBALLOS, H. Comparative morphology, biology and histology of reproductive development in three lines of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae: Crotonoideae). **AoB Plants**, v. 5, pp. pls04, 2013.

PINEDA, M.; YU, B.; TIAN, Y.; MORANTE, N.; SALAZAR, S.; HYDE, P.T.; SETTER, T. L.; CEBALLOS, H. Effect of pruning young branches on fruit and seed set in cassava. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.1107, 2020.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available in: <<https://www.R-project.org>> (Accessed on June 10, 2021).

RAMOS ABRIL, L.N.; PINEDA, L.M.; WASEK, I.; WEDZONY, M.; CEBALLOS, H. Reproductive biology in cassava: Stigma receptivity and pollen tube growth. **Communications & Integrative Biology**, v.12, p.96–111, 2019.

SIDDIQUI M.W.; SINGH J.P.; NAYYER M.A.; BARMAN K.; AHMAD M.S.; KUMAR V. 6-Benzylaminopurine affects lipid peroxidation and membrane permeability and thereby preserves curd quality and antioxidants during storage of cauliflower. **Acta Physiologiae Plantarum**. v.37, p.96, 2015.

SILVA, T.S.M.; COELHO FILHO, M.A.; E.F. Boletim Meteorológico Da Estação Convencional De Cruz Das Almas, BA: Variabilidade E Tendências Climáticas. **Embrapa Mandioca E Fruticultura** (INFOTECA-E), 2016.

SONG, Z.; SONG, X.; PAN, Y.; DAI, K.; SHOU, J.; CHEN, Q.; HUANG, J.; TANG, X.; HUANG, Z.; DU, Y. Effects of winter chilling and photoperiod on leaf-out and flowering in a subtropical evergreen broadleaved forest in China. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 1016, 2020.

TEJEDA, S., O.; VAQUERA, H., H.; TREJO, T. L. I., SOTO, H., R. M.; SÁNCHEZ-E., J. Gibberellic acid and 6-benzyladenine reduce time to flowering and improve flower quality of *Laelia anceps*. **Folia Horticulturae**, v.33, n.1, p.121-133, 2021.

VALVERDE, F.; SOPPE W.; RAVENSCROFT D.; SAMACH A.; COUPLAND G. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. **Science**, v. 303, n. 5660, p. 1003–1006, 2004.

VAN ALTVORST, A.C.; BOVY, A.G. The role of ethylene in the senescence of carnation flowers, a review. **Plant Growth Regulation**, v.6, p.43–53, 1995.

VANSTRAELEN, M.; BENKOVÁ E. Hormonal interactions in the regulation of plant development. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 28, p. 463-87, 2012.

SIDHU, V.; ENGLISH, V. B.; LAMONTAGNE, D., M.; GRAVEL, V. Effect of light quality and extended photoperiod on flower bud induction during transplant production of day-neutral strawberry cultivars. **Canadian Journal of Plant Science**, v.102, p.356-367, 2021.

WIGGE, P. A.; KIM, M. C.; JAEGER, K.; BUSCH, W.; SCHMID, M.; LOHMANN, J.; WEIGEL, D. Integration of spatial and temporal information during floral induction in *Arabidopsis*. **Science**, v.309, n. 5737, p. 1056–1059, 2005.

ZHANG, L.; SHI, X.; HOU, H.; LIN, Q.; ZHU, S.; WANG, G. 6-Benzyladenine treatment maintains storage quality of Chinese flowering cabbage by inhibiting chlorophyll degradation and enhancing antioxidant capacity. **Plants**, v. 12, 334, 2023.

ZOU, L.; PAN, C.; WANG, M.X.; CUI, L.; HAN, B.Y. Progress on the mechanism of hormones regulating plant flower formation. **Yi Chuan = Hereditas**, v. 42, n.8, p.739-751, 2020.



## CAPÍTULO 2

### Influência dos fatores ambientais na produção de flores e sementes de mandioca

#### RESUMO

Por ser uma espécie de ampla adaptação, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui importância na segurança alimentar em diversos países. Embora melhorias constantes nos padrões de produtividade da cultura são exigidas pelos agricultores, via melhoramento genético, em muitos casos existem enormes dificuldades para inclusão de alguns parentais em blocos de cruzamentos ou mesmo geração de grandes populações devido ao baixo florescimento da espécie. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diversos fatores ambientais no florescimento de mandioca por meio da realização de plantios em diferentes épocas do ano na região do Recôncavo da Bahia (Brasil). Foram plantados 37 acessos de mandioca com características contrastantes quanto ao florescimento (precoce, médio e tardio). O plantio foi realizado em quatro épocas, com diferença de dois a três meses entre elas. Foram coletados dados climáticos e de florescimento quinzenalmente durante o período de condução do experimento. As características avaliadas foram número de dias para início da primeira ramificação (ND1R), nota de florescimento (NM), nota ponderada pelo florescimento precoce (NP), altura da planta até a primeira ramificação (A1R) e número total de frutos (NTF). Todas características avaliadas apresentaram diferenças significativas entre as épocas de plantio. A herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) e de *Cullis* ( $h_c^2$ ) foram de magnitude mediana (0,31 para NM e NTF) a elevada (0,84 para A1R). A terceira época de plantio (Ep3), plantada em fevereiro de 2021, resultou em florescimento precoce, cerca de 2 meses após o plantio, NP de 10,40, NM de 0,56, superior (52 e 60%, respectivamente) em relação à primeira época (Ep1). Os fatores ambientais correlacionados com o aumento do florescimento foram temperatura e graus dias acumulados. Além disso, a dispersão dos genótipos na análise dos dois componentes principais apresentou diferenças ao longo das quatro épocas de plantio, indicando a influência ambiental na expressão do florescimento nessa espécie. Estas informações podem ajudar os melhoristas na tomada de decisão na montagem dos campos de cruzamento para acelerar a obtenção de progênie melhoradas.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz, fenologia, florescimento, fotoperíodo, temperatura, precipitação.

## Influence of environmental factors on cassava flower and seed production

### ABSTRACT

As a species of wide adaptation, cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is important for food security in many countries. Although constant improvements in crop productivity standards are demanded by farmers, via breeding, in many cases there are enormous difficulties in including some parents in crossing blocks or even generating large populations due to the low flowering of the species. The objective of this work was to evaluate the influence of several environmental factors on cassava flowering by planting at different times of the year in the Recôncavo of Bahia region (Brazil). Thirty-seven cassava accessions, with contrasting flowering characteristics (early, medium and late), were planted. Planting was carried out in four seasons, with a difference of two to three months between them. Climatic and flowering data were collected every other week during the experiment period. The characteristics evaluated were number of days to the onset of the first branch (ND1B), flowering score (FS), early flowering weighted score (FWS), plant height to first branch (H1B) and total number of fruits (TNF). All evaluated characteristics showed significant differences between planting seasons. Heritability in the broad sense ( $h_a^2$ ) and of *Cullis* ( $h_c^2$ ) were of medium magnitude (0.31 for FS and TNF) to high (0.84 for H1B). The third planting season (Ps3), planted in February 2021, resulted in early flowering, about 2 months after planting, FWS of 10.40, FS of 0.56, higher (52 and 60%, respectively) compared to the first season (Ps1). The environmental factors correlated with the increase in flowering were temperature and accumulated degree days. In addition, the dispersion of genotypes in the two main components' analysis showed differences across the four planting seasons, indicating the environmental influence on the expression of flowering in this species. This information can help breeders in decision-making when setting up crossing fields to speed up the obtaining of improved progenies.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz, phenology, flowering, photoperiod, temperature, precipitation.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem ganhado importância nas últimas décadas em função da sua importância socioeconômica e por ser uma importante fonte de energia para aproximadamente um bilhão de pessoas (LATIF; MÜLLER, 2015). Além da alimentação humana, destaca-se também por ser utilizada como matéria-prima em inúmeros produtos industriais e no consumo animal (LATIF; MULLER, 2015). É uma cultura que se adapta a diferentes condições edafoclimáticas, sendo cultivada em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, com destaque para países do continente africano, do sudeste asiático e da América Latina (CEBALLOS; KULAKOW; HERSHEY, 2012). O cultivo de mandioca possibilita a geração de empregos diretos promovendo a geração de renda e favorecendo a economia global (USDA, 2022). O desenvolvimento de genótipos superiores que atendam às demandas específicas dos pequenos produtores e da indústria, é uma demanda constante, tendo em vista que independentemente do nível de tecnificação dos agricultores, a variedade é a principal tecnologia de cultivo adotada.

Para a seleção de genótipos superiores é necessário aumentar e explorar a variabilidade genética da espécie, em busca de combinações mais favoráveis de características que muitas vezes possuem correlações negativas. Para isso, hibridações ou autofecundações artificiais são realizadas visando a produção de populações segregantes. No entanto, uma das grandes barreiras neste processo são os entraves relacionados ao florescimento da cultura. O desenvolvimento de genótipos com arquitetura de planta ereta e com ausência de ramificações, para atender as demandas do plantio mecanizado, tende a selecionar genótipos com ausência ou florescimento tardio. Em mandioca, o potencial de ramificação das hastes está diretamente correlacionado com o florescimento (CEBALLOS et al., 2017).

Outro desafio imposto ao planejamento dos cruzamentos em mandioca refere-se à falta de sincronização do florescimento, pois alguns clones florescem de forma precoce (4-5 meses após o plantio - MAP), enquanto outros florescem mais tardiamente (> 12 MAP) (CEBALLOS et al., 2015; ADEYEMO et al., 2018; CEBALLOS et al., 2017; MCGARRY et al., 2017). Em situações como essa é preciso conhecer a fenologia do florescimento dos progenitores envolvidos nos cruzamentos.

A fenologia floral, pode ser compreendida como o início de desenvolvimento reprodutivo das plantas e uma importante fase da fenologia geral, sendo o ponto chave para a reprodução da espécie (CORTÉS et al., 2017; KÖNIG et al., 2017). Recentemente as mudanças climáticas têm causado alterações em eventos importantes no ciclo de vida das plantas e na biodiversidade (SUN; FRELICH, 2011; DAVIES et al., 2013; WANG et al., 2020). As mudanças ambientais entre diferentes habitats podem fornecer respostas sobre quais características fisiológicas das plantas combinadas com a fenologia floral melhoram ou reduzem o sucesso reprodutivo (FRESCHE et al., 2013; FONTANA et al., 2017). A temperatura foi considerada por muito tempo, o controlador mais consistente e dominante da fenologia floral (WOLKOVICH et al., 2012). Estudos adotaram a sensibilidade à temperatura (mudança em dias por grau Celsius,  $d\ ^\circ C^{-1}$ ) para caracterizar as respostas da fenologia floral às mudanças de temperatura (MENZEL et al., 2006; TOOKE; BATTEY, 2010; DIEZ et al., 2012). Embora alguns outros fatores abióticos, como fotoperíodo e precipitação influenciem na fenologia floral, a temperatura tem sido apontada como o fator dominante especialmente para plantas temperadas (ELLWOOD et al., 2013; JOCHNER; MENZEL, 2015).

Nos últimos anos, estudos vêm sendo realizados para compreensão dos aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e ambientais que regulam o florescimento em mandioca (SOUSA et al., 2021; RAMOS ABRIL et al., 2019; HA, 2014; ADEYEMO et al., 2018; ADEYEMO et al., 2019; PINEDA et al., 2020). Os fatores climáticos, como temperatura e período de insolação, vêm sendo relatados como as principais causas da variação da fenologia de floração entre as espécies (BOYLE; BRONSTEIN, 2012; DAVIES et al., 2013). Conhecer a influência desses fatores, possibilita determinar a melhor época de plantio para obter um maior sucesso na produção de flores e sementes (CEBALLOS et al., 2017; CEBALLOS et al., 2010). Em alguns gêneros como *Arabidopsis*, o plantio em épocas com condições climáticas adequadas, permite uma melhor sincronização do florescimento entre os parentais e consequente realização dos cruzamentos desejados (KIM et al., 2009).

Em mandioca, a temperatura influencia a iniciação floral, com atraso no florescimento em cultivares submetidas a temperaturas variando entre 22 e 34°C (ADEYEMO et al., 2018). Por outro lado, maior florescimento foi observado em temperaturas mais amenas (22 a 28°C) (ADEYEMO et al., 2018). Em um estudo

com aproximadamente 1000 acessos de mandioca, foi relatado que apesar do florescimento ser dependente do material genético, nos meses com maior fotoperíodo (12,19h) foi observado uma maior produção de flores (SOUZA et al., 2020). O fotoperíodo e temperatura estão envolvidos na regulação dos genes relacionados a expressão floral, inibindo ou estimulando o florescimento em determinados genótipos de mandioca (ADEYEMO et al., 2019). Além desses fatores, a umidade relativa do ar também possui importante influência na produção de flores e frutos na mandioca, quando fornecida de forma adequada induz a floração e a produção de frutos, enquanto, altas temperaturas do ar (>30°C) e baixa umidade relativa induzem a redução da umidade do ambiente, reprimindo a produção de flores e frutos (RAVI; RAVIDRAN, 2006).

Estudos sobre a fenologia floral de mandioca são importantes pois permitem a identificação de genótipos que sejam favoráveis ao florescimento e a produção de sementes, além de determinar qual a melhor época do ano para plantio dos blocos de cruzamentos. Assim, será possível um planejamento mais eficiente dos cruzamentos nos programas de melhoramento. Portanto, este estudo teve como principais objetivos: *i*) avaliar a influência de diferentes épocas de plantio no tempo de florescimento; e *ii*) avaliar o efeito de variáveis climáticas no florescimento, e características agronômicas de mandioca.

## **2.0 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material vegetal**

A partir do estudo pioneiro de Souza et al. (2020), sobre a diversidade fenológica de floração e frutificação do germoplasma de mandioca, realizou-se uma análise mais detalhada sobre a influência das variáveis climáticas em diferentes épocas de plantio. Foram avaliados 37 acessos de mandioca oriundos do Banco de Germoplasma (BAG) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, com características contrastantes quanto ao florescimento (Tabela 1).

**Tabela 1.** Lista dos 37 acessos de mandioca avaliados quanto à influência de fatores ambientais no florescimento e produção de frutos, bem como forma de obtenção e local de coleta/geração dos genótipos.

<b>Genótipo</b>	<b>Obtenção</b>	<b>Local</b>
2011-34-41	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
2011-34-45	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
2011-34-69	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BGM-0062	Variedade local	Cruz das almas, BA, Brasil
BGM-0195	Variedade local	Valença, BA, Brasil
BGM-0590	Variedade local	Itambé, BA, Brasil
BGM-0593	Variedade local	Lajeado, RS, Brasil
BGM-0598	Variedade local	São Sebastião do Cai, RS, Brasil
BGM-0630	Variedade local	Pacatuba, CE, Brasil
BGM-0702	Variedade local	AC, Brasil
BGM-0707	Variedade local	Alagoinhas, BA, Brasil
BGM-0935	Variedade local	Maracas, BA, Brasil
BGM-0945	Variedade local	Manacapuru, AM, Brasil
BGM-1118	Variedade local	Brumado, BA, Brasil
BGM-1128	Variedade local	Itiruçu, BA, Brasil
BGM-1511	Variedade local	Capim Grosso, BA, Brasil
BGM-1722	Variedade local	Santo Antônio de Jesus, BA, Brasil
BGM-1760	Variedade local	Chapadinha, MA, Brasil
BRS Caipira	Melhoramento	Cruz das Almas, BA, Brasil
BRS CS-01	Melhoramento	Cruz das Almas, BA, Brasil
BRS Dourada	Variedade local	São Felipe, BA, Brasil
BRS Formosa	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Gema de Ovo	Variedade local	Amazonas, Brasil
BRS Kiriris	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Mulatinha	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Novo Horizonte	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Poti Branca	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Tapioqueira	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
BRS Verdinha	Melhoramento	Cruz das almas, BA, Brasil
Cigana Preta	Variedade local	Amargosa, BA, Brasil
Correntão	Variedade local	Laje, BA, Brasil
Corrente	Variedade local	Oliveira dos brejinhos, BA, Brasil
Equador72	Variedade local	Cali, Colômbia
Eucalipto	Variedade local	Boa vista do Tupim, BA, Brasil
Nega Maluca	Variedade local	Laje, BA, Brasil
Salangor	Variedade local	Laje, BA, Brasil
Vassoura Preta	Variedade local	Santo Antônio de Jesus, BA, Brasil

## 2.2 Condução experimental

Os experimentos foram implantados na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia (12° 40'19" de latitude sul, 39 06'22" de longitude oeste e altitude de 220 m). Para o plantio, foram utilizadas manivas-sementes com 16-18 cm de comprimento e com média de oito gemas foliares, extraídas do terço médio de plantas com 12 meses de idade com boas

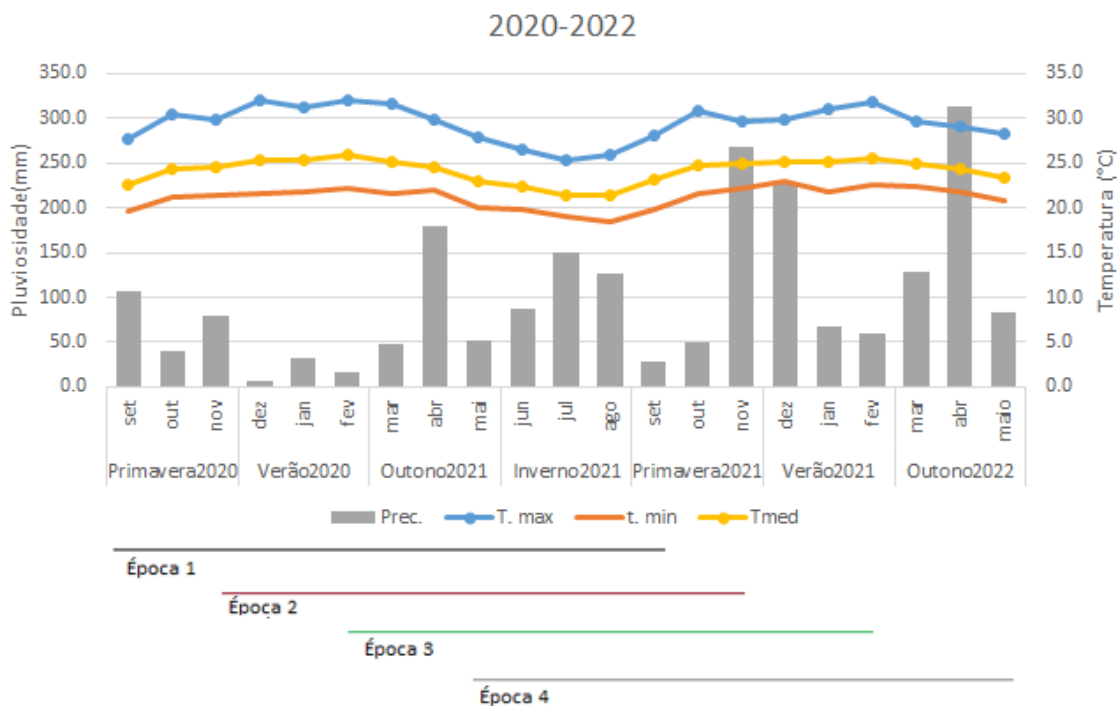
condições fitossanitárias. O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens, seguido de abertura do sulco de plantio a 0,90 m entre linha com uma plantadeira de mandioca. A adubação de plantio foi realizada de acordo com a análise de solo. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações de Souza et al. (2006). O experimento foi implementado em quatro épocas de plantio, com diferença de 2 a 3 meses entre elas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Descrição das datas de plantio para cada época avaliada.

Épocas plantio	Data de plantio	Dias após plantio (DAP)		
		1-120	121-240	241-365
Ep1	18/09/2020	1403,54 °C acumulados	2831,48 °C acumulados	3944,17 °C acumulados
		162,40 mm chuva	477,40 mm chuva	709,50 mm chuva
Ep2	30/11/2020	1501,46°C acumulados	2678,46 °C acumulados	3980,20 °C acumulados
		103,80 mm chuva	560,20 mm chuva	1004 mm chuva
Ep3	09/02/2021	1384,46 °C acumulados	2471,23°C acumulados	3878,07 °C acumulados
		318,8 mm chuva	687,1 mm chuva	1009,5 mm chuva
Ep4	15/05/2021	1090,25 °C acumulados	2482,17 °C acumulados	3976,17 °C acumulados
		377mm chuva	958 mm chuva	1531 mm chuva

Para cada época, foi utilizado o delineamento de blocos completos casualizados, com duas repetições. As parcelas foram compostas por duas linhas com quatro plantas cada, totalizando oito plantas por parcela. O espaçamento de plantio foi de 0,90 m entre linhas e de 0,80 m entre plantas. Os dados climáticos diários relativos às médias de precipitação pluvial, temperaturas máximas, mínimas e médias, e umidade relativa do ar (%), foram coletadas pela estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura durante o período de avaliação do experimento (Figura1). A equação do grau dia acumulado (DDA) foi obtido por  $DD = \left\{ \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right\} - Tb$ , em que DD = grau dia (°C); Tmax = máxima temperatura do dia (°C); Tmin = mínima temperatura do dia (°C); Tb = temperatura base para cultivo da mandioca (°C). O DDA foi estimado considerando um ciclo de 365 dias para o cultivo da mandioca.

**Figura 1.** Precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de setembro de 2020 a maio de 2022 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.



### 2.3 Coleta de dados

Foram realizadas avaliações quinzenais desde o início do florescimento até o momento da colheita (12 meses), para as seguintes características: **i)** Nota de florescimento por nível de ramificação, de acordo com a escala de 0–3 (SOUZA et al., 2020) em que, 0 = plantas sem inflorescências; 1 = acessos com péssima floração, ou seja, até duas flores femininas e / ou 20 flores masculinas; 2 = plantas com floração média, até quatro flores femininas e / ou 20–30 flores masculinas; e 3 = plantas que apresentam floração abundante, mais de quatro flores femininas e mais de 30 flores masculinas; **ii)** Número total de frutos (NTF); **iii)** Número de dias para início da primeira ramificação (ND1R); **iv)** Número de eventos de ramificação; e **v)** Altura da planta até a primeira ramificação (A1R).

Com base nos dados quinzenais de florescimento foi calculado: 1) nota média de florescimento para cada genótipo (NM), de acordo com  $NM = \frac{\sum_{i=1}^q n_i}{q}$ , em que  $n_i$  é a nota de floração atribuída para a quinzena  $i$ ;  $q$  corresponde ao número de quinzenas de avaliação; e 2) Nota ponderada pelo florescimento precoce do



genótipo (NP), calculada por  $NP = N_{24Q}x2 + N_{23Q}x4 \dots + N_{2Q}x42 + N_{1Q}x44$ , em que o peso mais alto (peso 44) foi atribuído ao acesso com florescimento mais precoce, e o menor peso (peso 2) para acesso com florescimento tardio (SOUZA et al., 2020).

## 2.4 Análise estatísticas

Realizou-se inicialmente a análise de variância individual, para cada época, com base na média de parcelas, em blocos ao acaso, visando avaliar a existência de variabilidade genética entre elas e estimação de parâmetros genéticos e não genéticos. Posteriormente, foi realizada uma análise de variância conjunta (genética, época e interação genética x época) considerando as quatro épocas de plantio para obtenção dos componentes de variância. Para a análise, as observações fenotípicas  $Y_{ijk}$  do genótipo  $i$  na repetição  $j$  dentro da época  $k$ , foi modelada pela seguinte equação:  $Y_{ijk} = \mu + s_k + g_i + \left(\frac{r}{es}\right)_{jk} + (g * s)_{ik} + \epsilon_{ijk}$ , em que  $\mu$  é a média geral,  $s_k$  é o efeito fixo da época  $k$ ,  $g_i$  é o efeito aleatório do genótipo  $i$ ,  $(r/es)_{jk}$  é o efeito fixo da repetição  $j$  aninhada a época  $k$ ,  $(g * s)_{ik}$  é o efeito aleatório da interação entre genótipos e época e  $\epsilon_{ijk}$  é o efeito residual aleatório do genótipo  $i$  na repetição  $j$  na época  $k$ . Nas duas análises, os efeitos de genótipos foram considerados aleatórios. Para a análise conjunta, o efeito das épocas foi considerado como fixo.

A estimação dos componentes de variância, foram realizadas pelo método REML (*Restricted Maximum Likelihood*), utilizando o pacote *sommer* (PAZARAN 2016). O pacote utiliza as funções *mmer* (baseadas em matriz) e *mmer2* (baseadas em fórmulas) como uma interface para chamar um dos 4 métodos ML/REML suportados. Depois de avaliar a melhor estrutura de variância, as médias ajustadas BLUPs (*best linear unbiased prediction*) e os parâmetros genéticos foram estimados. Foi estimada a herdabilidade de *Cullis* ( $h_c^2$ ) (CULLIS; SMITH; COOMBES, 2006), na análise de variância individual, e a herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ), pela seguinte equação:  $h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\left(\sigma_G^2 + \frac{\sigma_{GxS}^2}{r} + \frac{\sigma_\epsilon^2}{r x k}\right)}$   $h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\left(\sigma_G^2 + \sigma_E^2 + \frac{\sigma_{GxE}^2}{r} + \frac{\sigma_{RxA}^2}{RxA}\right)}$ , onde

$\sigma_G^2$  é a variância genotípica;  $\sigma_{GxS}^2$  é a variância da interação genótipo x época;  $\sigma_\epsilon^2$  é a variância do erro entre parcelas;  $r$  é o número de repetições e  $k$  o número de

épocas. As diferenças entre as médias gerais dos tratamentos e para cada genótipo foram analisadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), por meio do pacote *rstatix* (KASSAMBARA, 2021). Os dados foram analisados no programa R versão 4.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

## 2.5 Análises de componentes principais

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), com base na matriz de parentesco para cada um dos genótipos. A função *K-means* foi utilizada para agrupar os indivíduos com comportamentos similares em relação às características associadas ao florescimento em cada época de plantio.

## 2.6 Análises das variáveis climáticas

Para cada quinzena de avaliação, foram obtidos os dados climáticos referentes a temperatura média, graus dias acumulados e precipitação. Posteriormente, estes dados foram correlacionados com as médias das notas de florescimento. Para determinar a porcentagem de plantas que floresceram, foram utilizados dados do primeiro evento de florescimento. Todos os dados obtidos foram analisados para cada época individualmente.

Em seguida, a partir das médias dos dados de florescimento quinzenais e variáveis climáticas foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ). Todas as análises foram realizadas no programa R versão 4.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

## 3.0 RESULTADOS

### 3.1 Análise de variância multivariada e herdabilidade

De modo geral, os valores obtidos para a herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) e de *Cullis* ( $h_c^2$ ) foram de médio a altos, com variação de 0,31 (NM e NTF), a 0,84 (A1R) (Tabela 3), o que indica forte efeito genético na expressão dos fenótipos. Por outro lado, com base na análise conjunta os efeitos da  $\sigma_g^2$  e da  $\sigma_s^2$  foram similares para a maioria das características, enquanto a  $\sigma_e^2$  variou de 1.4 (A1R) a

9.0 (NTF) vezes a  $\sigma_g^2$ . A variância da interação genótipo  $\times$  época de plantio ( $\sigma_{gxs}^2$ ) apresentou valores menores, em comparação com a  $\sigma_g^2$  e  $\sigma_e^2$ , sobretudo para as características ND1R, A1R e NP.

As médias das características avaliadas nas quatro épocas de plantio (Ep1, Ep2, Ep3 e Ep4) são apresentadas na Figura 2. Para número de dias para o início da primeira ramificação (ND1R), houve diferença significativa entre as épocas avaliadas com exceção da Ep2 com a Ep3. No geral, a Ep1 apresentou diferenças significativas com as demais épocas, se destacando como a época que propiciou o florescimento mais tardio, florescendo em aproximadamente 260 dias após o plantio (DAP). As Ep2 e Ep3 foram aquelas que permitiram florescimento mais precoce, com média 160 e 150 dias para florescimento, respectivamente. Já a Ep4 foi intermediária, florescendo com aproximadamente 180 dias.

Para a nota ponderada de florescimento (NP) houve diferença significativa entre as quatro épocas avaliadas, com exceção de Ep3 com Ep4 (Figura 2). As Ep3 e Ep4 apresentaram as médias mais elevadas, com valores de 10,4 e 9,5, respectivamente. Esse resultado indica que nestas épocas o florescimento foi mais precoce e constante ao longo do ciclo da cultura. A Ep1 apresentou o menor valor para NP (4,95), sendo considerada a época de florescimento mais tardio. Em relação nota média de florescimento (NM), os valores entre as épocas foram similares, com exceção a Ep1 que apresentou diferença significativa em relação as demais épocas, com valor de 0,35. Os valores médios de número total de frutos (NTF) foram semelhantes entre as Ep1, Ep2 e Ep3 (0,45, 0,37 e 0,31, respectivamente), entretanto apenas Ep4, apresentou menor NTF em relação a Ep2 (0,28).

Como esperado, devido ao florescimento tardio observado na Ep1, as plantas tiveram menor número de ramificações (NER) em relação as outras épocas avaliadas (Figura 2). Ep3 apresentou NER médio de 4,67 e 4,34, respectivamente, diferindo significativamente da Ep4. Os resultados demonstram que apesar do florescimento tardio da Ep1, o desenvolvimento dos genótipos nesta época de plantio foi similar em comparação com as demais para a característica A1R. Com exceção de Ep4, que diferiu significativamente das demais épocas de plantio, apresentando plantas mais baixas, com altura média da primeira ramificação de ~80cm, tendo como possível consequência diminuição no NTF (Figura 2).

**Tabela 3.** Estimativas de herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) e de *Cullis* ( $h_c^2$ ) e resumo da análise de variância por época de plantio e conjunta para características associadas ao florescimento em mandioca, avaliados em genótipos de mandioca em quatro épocas de plantio, no período de setembro de 2020 a maio de 2022.

Componentes de variância / parâmetros	Época	Características					
		ND1R	NER	A1R	NM	NP	NTF
Análise de variância multivariada por época de plantio							
$\sigma_g^2$	Ep1	2548,56	0,50	1359,24	0,01	6,07	0,07
	Ep2	935,24	0,62	1405,05	0,01	6,24	0,06
	Ep3	1469,89	1,29	1384,13	0,02	7,37	0,11
	Ep4	920,36	0,97	647,28	0,02	10,31	0,08
$\sigma_e^2$	Ep1	2349,41	1,68	1795,41	0,04	10,13	0,47
	Ep2	1445,08	2,14	1560,12	0,04	11,64	0,40
	Ep3	1079,71	2,54	803,80	0,04	11,79	0,32
	Ep4	3184,39	2,93	756,21	0,05	21,80	0,31
$h_a^2$	Ep1	0,76	0,47	0,69	0,38	0,64	0,31
	Ep2	0,66	0,47	0,73	0,50	0,62	0,32
	Ep3	0,80	0,60	0,84	0,55	0,65	0,50
	Ep4	0,46	0,50	0,72	0,62	0,59	0,45
$h_c^2$	Ep1	0,88	0,87	0,88	0,86	0,88	0,82
	Ep2	0,68	0,89	0,88	0,92	0,88	0,81
	Ep3	0,79	0,95	0,88	0,93	0,90	0,88
	Ep4	0,67	0,93	0,75	0,96	0,93	0,85
Análise de variância multivariada conjunta							
$\sigma_g^2$	-	917,21	0,42	952,67	0,01	5,19	0,04
$\sigma_s^2$	-	942,42	0,25	771,48	0,01	4,09	0,01
$\sigma_{gxs}^2$	-	658,14	0,42	303,14	0,01	2,50	0,04
$\sigma_e^2$	-	1925,18	2,20	1335,42	0,04	12,97	0,39
$h_a^2$	-	0,69	0,52	0,80	0,50	0,70	0,39
Média	-	178,40	4,06	117,60	0,49	8,57	0,31

ND1R: número de dias para o início da ramificação, NER: número de eventos de ramificação, AIR: altura da primeira ramificação, NM: notas médias, NP: nota ponderadas de florescimento e NTF: número total de frutos



### **3.2 Performance fenotípica de genótipos de mandioca para atributos associados ao florescimento em diferentes épocas de plantio**

Grande parte dos genótipos, como 2011-34-41, BGM-1511, BGM-0707, BGM-0702, BGM-1118, Equador-72, BGM-0598, BRS Verdinha, Salangor, Vassoura Preta, BGM-0593, BGM-0590, BRS Caipira e BGM-0062, apresentaram precocidade de florescimento no cultivo realizado na Ep2 e Ep3. Já os genótipos Correntão e BRS CS01 foram mais precoces na Ep4 (Figura S1). Por outro lado, o comportamento dos genótipos BGM-1128 e Corrente se mantiveram inalterados ao longo das quatro épocas de plantio, apresentando início do florescimento em média aos 130 e 260 DAP, respectivamente.

No geral, grande parte dos genótipos não apresentaram diferenças significativas entre as quatro épocas de plantio para a característica NER (Figura S2). Os genótipos BGM-0195, BGM-0598, Equador-72 e Salangor, apresentaram maior NER quando cultivados na Ep2 (média de 4,40, 6,98 e 3,80 NER, respectivamente). Na Ep3 foram identificados os maiores valores de NER (variação de 5 a 8) para os genótipos BRS Kiriris, BRS Novo Horizonte, BRS Verdinha e Cigana (Figura S2).

A maioria dos genótipos avaliados apresentou NM baixa ao longo do ciclo da cultura. Entretanto, a Ep1 foi a que resultou em mais baixo florescimento, enquanto as épocas Ep2 e Ep3 apresentaram maior florescimento para maioria dos genótipos. Diferentemente da maioria dos demais genótipos o BGM-0707 e BGM-1511 apresentaram alta NM na Ep4 (Figura S3). Em outros casos, como dos genótipos 2011-34-69, BGM-0062, BGM-0590, BGM-0593, BGM-0702, BGM-0935, BGM-1128, BGM-1722, BGM-1760, BRS Dourada, BRS Formosa, BRS CS01, Eucalipto, Nega Maluca, Salangor e Vassoura Preta o efeito de época de plantio não influenciou na NM.

Em média, os maiores BLUPs para NP de florescimento foram atribuídos aos genótipos BGM-1760, BGM-1511 e BRS Kiriris, indicando florescimento mais precoce e abundante (Figura S4). A maior variação para NP entre as quatro épocas de plantio foi observada nos genótipos BGM-0598, BGM-0707, BGM-1760, BRS Kiriris, BRS Novo Horizonte, BRS Verdinha, Cigana e Equador72. Por outro lado, os genótipos 2011-34-69, BGM-0593, BGM-0702, BGM-0935, BGM-1118, BGM-

1128, BGM-1722, Nega Maluca e Vassoura Preta não apresentaram diferenças significativas entre as diferentes épocas avaliadas (Figura S4).

Genótipos como 2011-34-41, 2011-34-45, 2011-34-69, BGM-0062, BGM-0195, BGM-0593, BGM-0630, BGM-1760, BRS Caipira, BRS Dourada, BRS Formosa, BRS Gema de Ovo, BRS Novo Horizonte, BRS CS01, Cigana, Correntão, Equador72 e Vassoura Preta apresentaram diferenças significativas para A1R entre pelo menos duas das quatro épocas avaliadas (Figura S5). Os demais genótipos apresentaram algumas variações entre as épocas de plantio, mas sem variação significativa para A1R.

No geral o número total de frutos (NTF) foi em média baixo, não havendo diferenças significativas entre as épocas para a maioria dos genótipos, à exceção de 2011-34-45, 2011-34-69, BGM-1760, BRS Mulatinha e Equador-72 que apresentaram diferenças significativas entre as épocas de plantio (Figura S6).

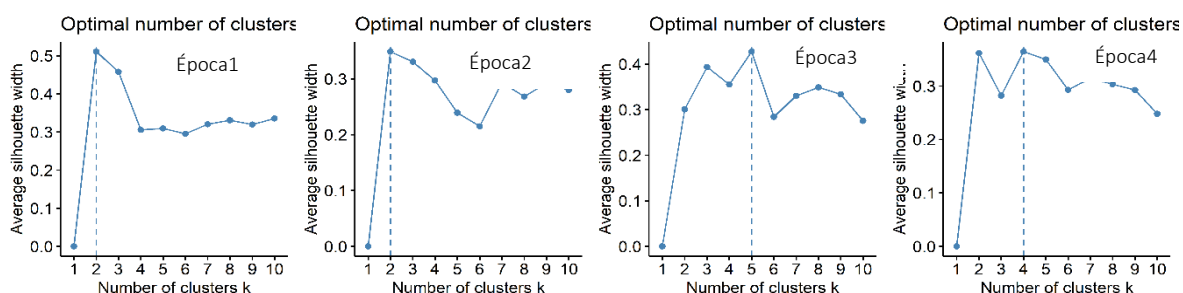
### 3.3 Análise de componentes principais

O método *K-means* sugeriu a classificação dos genótipos de mandioca em dois (Ep1 e Ep 2), cinco (Ep3) e quatro (Ep4) grupos diferentes (Figura 3). Portanto, os clones foram agrupados na análise PCA de acordo com estes agrupamentos prévios (Figura 4). Os dois primeiros componentes principais capturaram 96,11% (Ep1), 86,38% (Ep2), 90,57% (Ep3) e 87,75% (Ep4) da variação total associada aos dados fenotípicos do germoplasma de mandioca (Figura 4). Altas correlações entre as características ND1R e A1R foram identificadas, principalmente para as Ep1 e Ep2. Ambas as características se encontram localizadas no mesmo quartil e fornecem angulação oposta para as demais avaliadas. Além disso, as características NM, NP e NER também estão correlacionados nas quatro épocas avaliadas (Figura 4).

O agrupamento da Ep1 mostrou que os dois clusters ficaram bem separados no biplot, sendo que o Grupo 2 apresentou alta associação com características desejáveis de florescimento, ou seja, florescimento precoce e abundante, com plantas ramificadas em menor altura. Já para a Ep2, que também agrupou os genótipos de mandioca em dois grupos, verificou-se que o Grupo 1 apresentou alta correlação com as características NP, NM, NER e NTF.

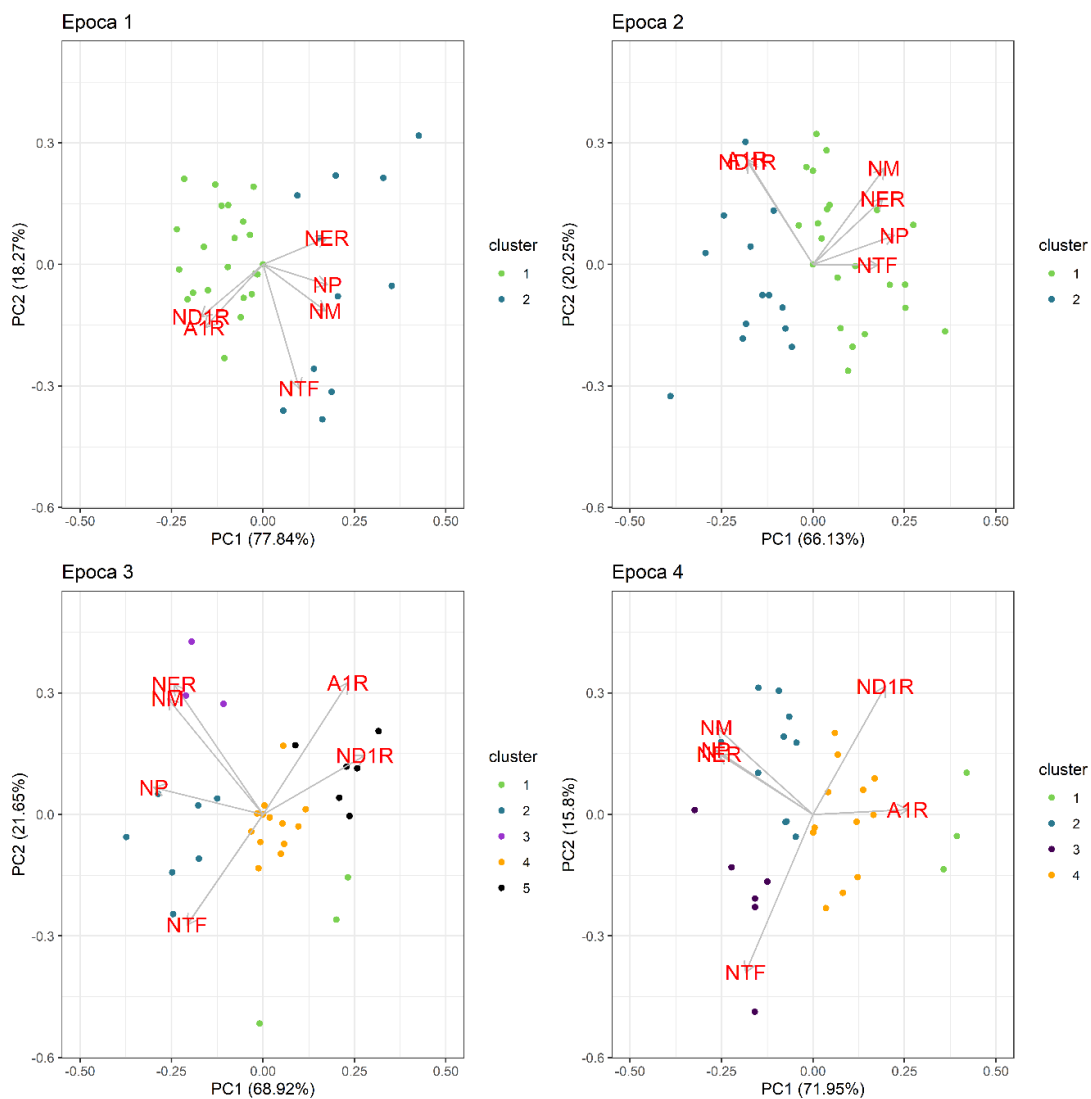
Para a Ep3, o Grupo 1 apresentou menores valores para NP, NM e NER e florescimento tardio (ND1R), enquanto os valores de A1R foram similares entre os cinco grupos. Por outro lado, os Grupos 2 e 3 apresentaram alta NP e ND1R, enquanto que maior NM e NER foram observadas principalmente no Grupo 3 (Figuras 5 e 6). Os Grupos 2 e 3 da Ep4, apresentaram desempenho semelhante para as características NP, NM, NER e ND1R. Para NTF e A1R as Ep3 e Ep4 apresentaram as mais altas variações dos dados.

**Figura 3.** Método *K-means* para as quatro épocas de plantio avaliadas.

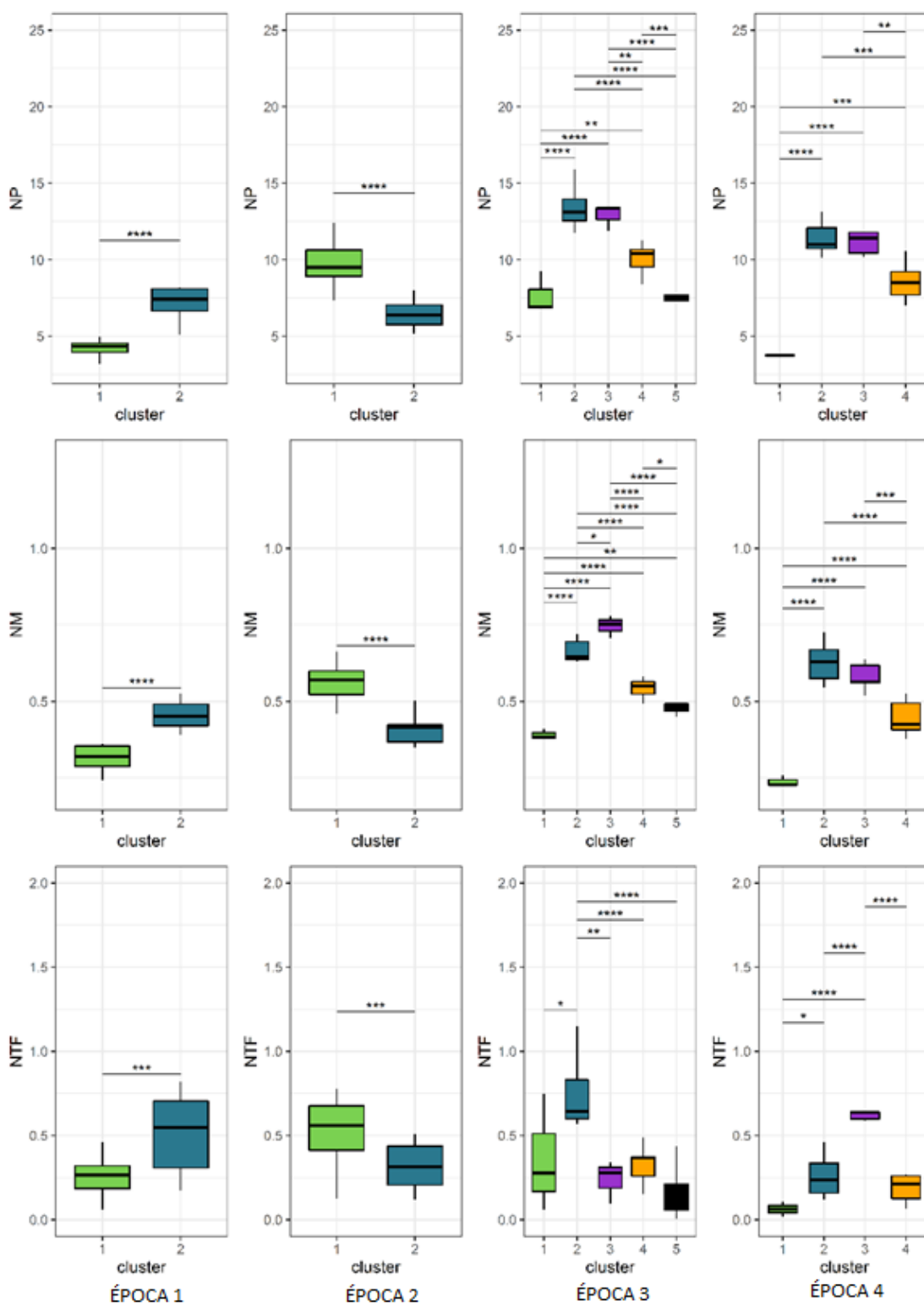




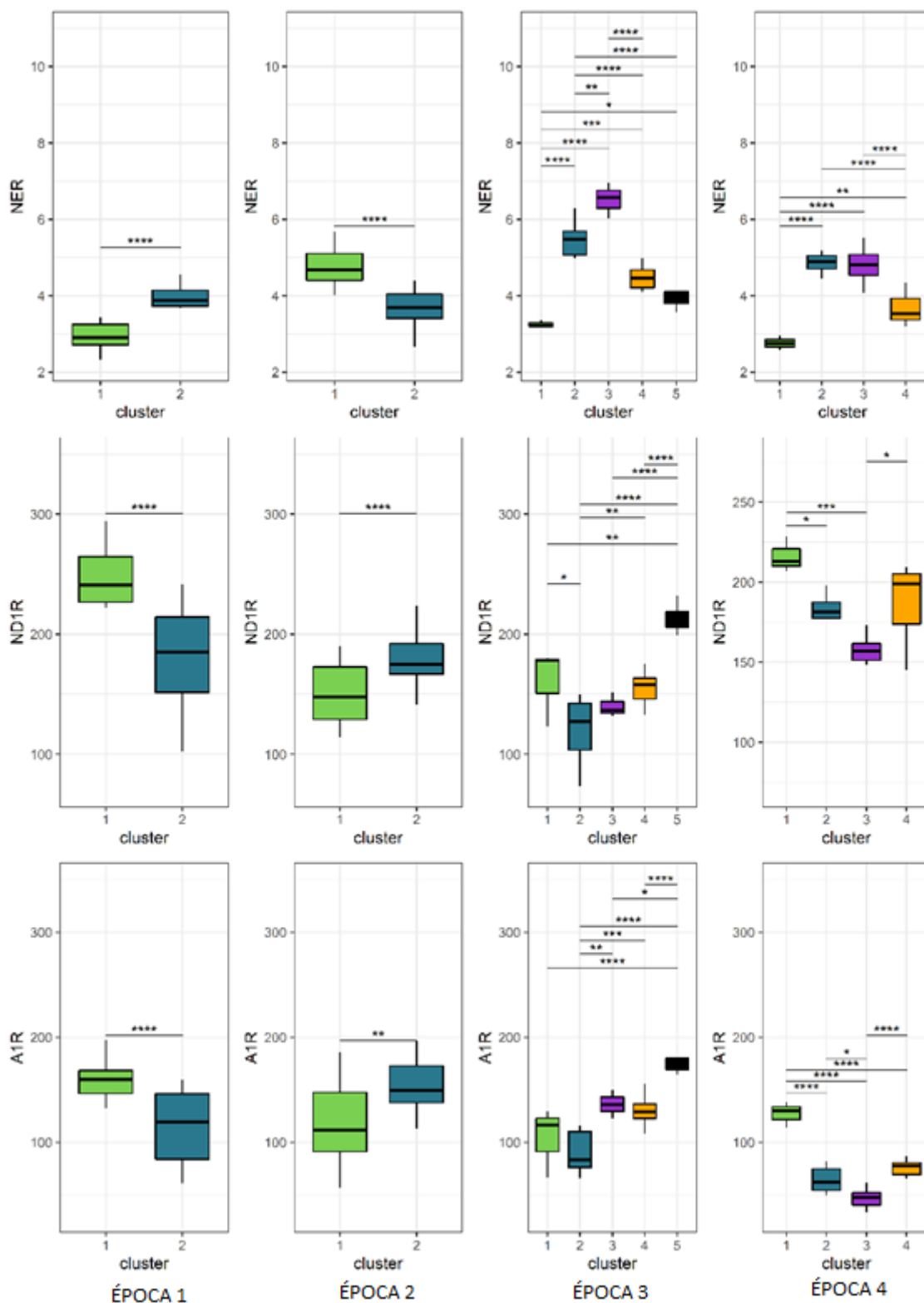
**Figura 4.** Análise de componentes principais (PCA) de características relacionadas ao florescimento de 37 genótipos de mandioca avaliados em quatro épocas de plantio. ND1R: número de dias para início da primeira ramificação; NP: nota ponderada de florescimento; NM: nota média de florescimento; NTF: número total de frutos; NER: número de eventos de ramificação; A1R: altura da primeira ramificação.



**Figura 5.** Boxplots para as características notas ponderadas (NP) e médias (NM) de florescimento, além de número total de flores (NTF) considerando os agrupamentos obtidos pelo método *k-means* a partir da análise de componentes principais (PCA) de 37 genótipos de mandioca, para quatro épocas de plantio.



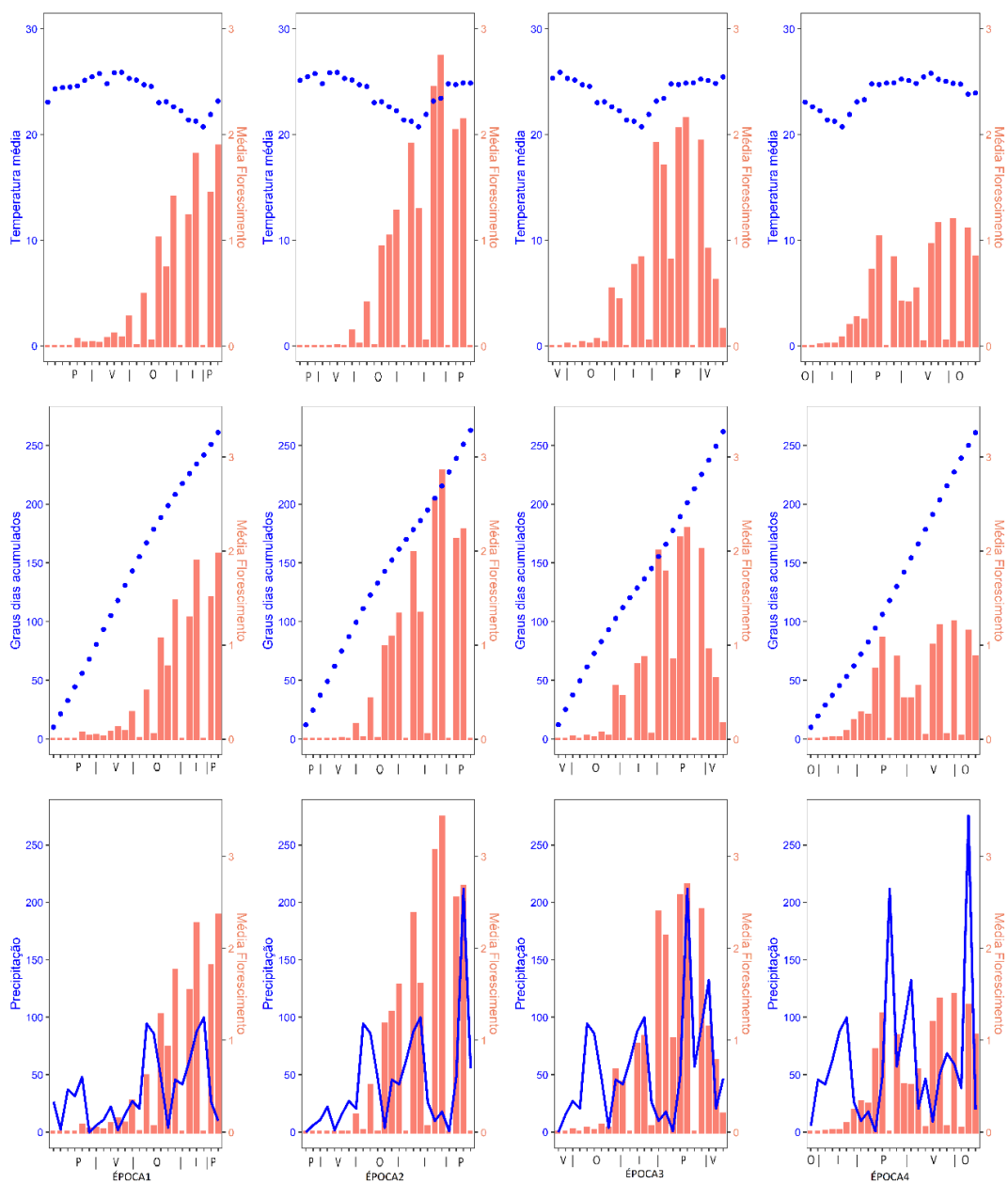
**Figura 6.** *Boxplots* para as características número de eventos de ramificação (NER), número de dias para a primeira ramificação (ND1R) e altura da primeira ramificação (A1R), considerando os agrupamentos obtidos pelo método *k-means* a partir da análise de componentes principais (PCA) de 37 genótipos de mandioca, para quatro épocas de plantio.



### 3.4 Fatores climáticos e indução do florescimento

O padrão do florescimento (média da avaliação quinzenal de florescimento) para as quatro épocas de plantio e as variáveis climáticas de temperatura média (média por quinzena), graus dias acumulados (valor acumulado por quinzena) e precipitação (valor acumulado por quinzena) são apresentados na Figura 7.

**Figura 7.** Desempenho médio de florescimento, em relação a temperatura, graus dias acumulados e precipitação, durante as estações avaliadas, para as quatro épocas de plantio (dados por quinzena). As letras correspondem as estações, P: primavera; V: verão; O: outono, I: inverno.

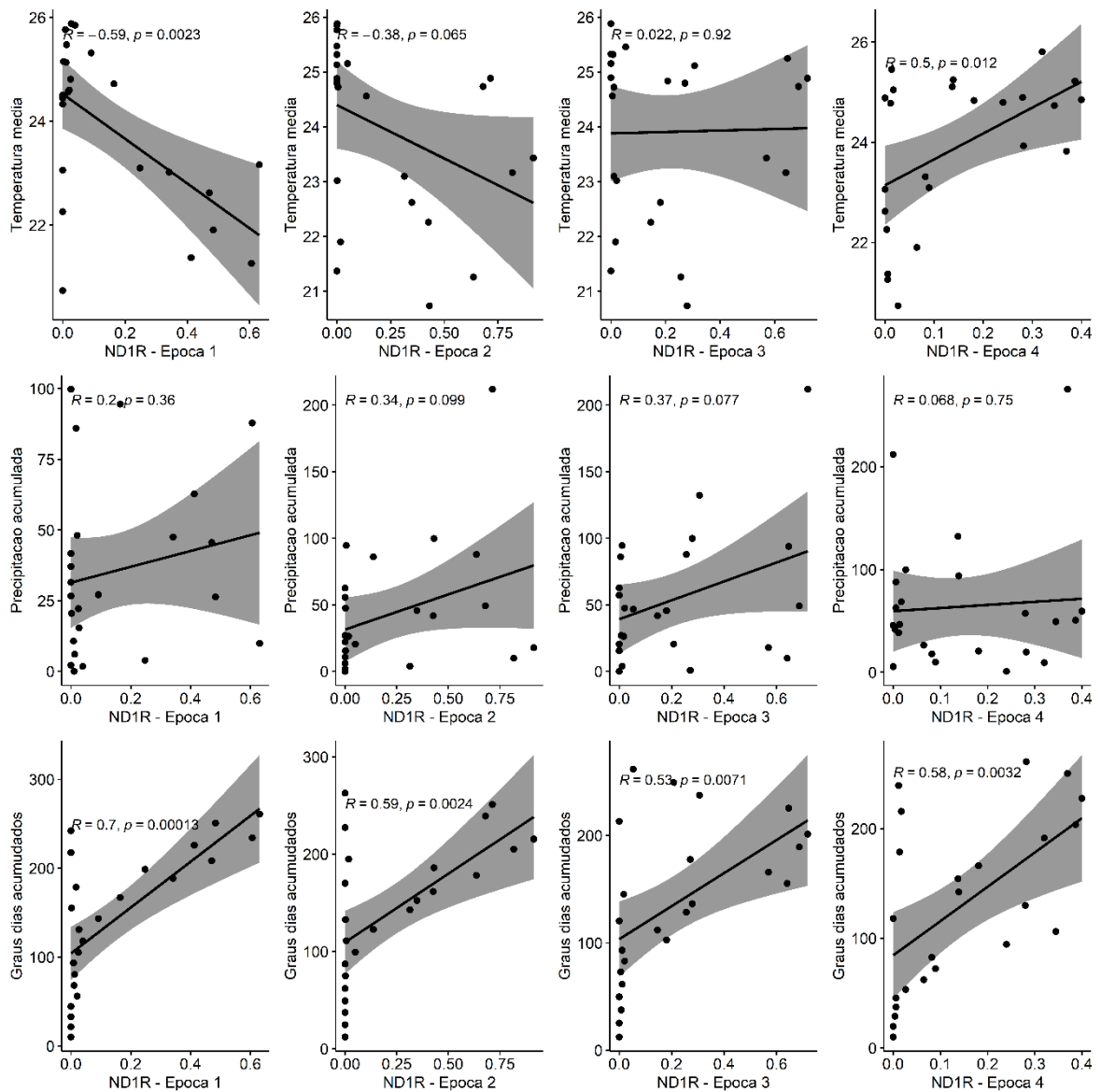


O maior pico do florescimento foi observado no período de aumento da temperatura média até 23,43°C, correspondente a aproximadamente 100 graus dias acumulados, após ou durante período consistente de chuvas entre 100 e 250mm. Para Ep1, Ep2, Ep3 os picos de florescimento foram iniciados no outono, com exceção da Ep4, que apresentou início de florescimento a partir do inverno. Em ambos os períodos, as chuvas foram bastante intensas (Figura 7). Apesar de ter proporcionado florescimento tardio (aproximadamente quatro meses) a Ep2 apresentou maiores índices de florescimento em comparação com as demais.

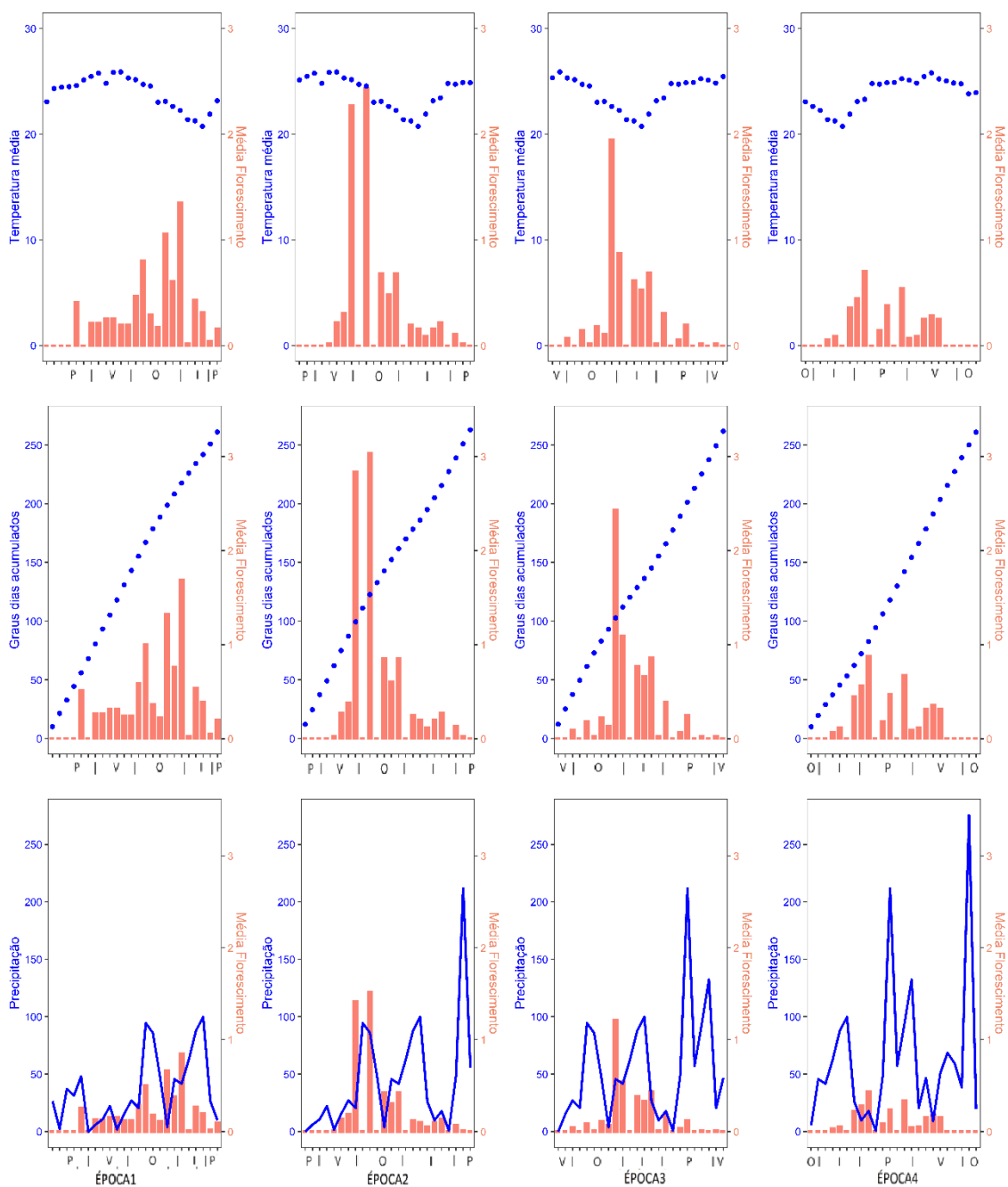
As correlações do ND1R com a temperatura média foram significativas e de magnitude mediana ( $r = -0,59$  e  $0,50$  para Ep1 e Ep4, respectivamente) indicando que a temperatura pode afetar a precocidade do florescimento em função da época de plantio. Não houve correlação significativa entre a precipitação e o início do florescimento, enquanto para graus dias acumulados, foram obtidas correlações significativas e positivas ( $r = 0,7$ ;  $0,59$ ;  $0,53$  e  $0,58$ , para Ep1 até Ep4, respectivamente).

A porcentagem de plantas que floresceram foi calculada com base no primeiro evento de ramificação das plantas avaliadas. Para a maioria dos genótipos, a Ep1 apresentou florescimento na décima nona quinzena após o plantio, período marcado pela transição entre o outono e o inverno (Figura 9). Houve uma diminuição da temperatura no período, em média 140 graus dias acumulados e um leve aumento da precipitação. No caso da Ep2 e Ep3 os picos de florescimento foram bastante semelhantes. Entretanto, se mostraram mais precoces, com primeiro florescimento marcado na quinta e terceira quinzena após o plantio, respectivamente (Figura 9). Para os graus dias acumulados, a Ep3 demonstrou uma pequena diminuição em relação as outras épocas no maior período para o início do florescimento. A Ep4 apresentou menores proporções de florescimento em relação as outras épocas. Entretanto, o ápice do florescimento foi semelhante, na nona quinzena após o plantio, período da primavera, após um maior índice de chuvas registradas.

**Figura 8.** Correlação entre a temperatura, precipitação e graus dias acumulados em relação ao número de dias para início da primeira ramificação (ND1R).



**Figura 9.** Porcentagem de florescimento, em relação a temperatura, precipitação e graus dias acumulados avaliados quinzenalmente em quatro épocas plantio. As letras correspondem as estações, P: primavera; V: verão; O: outono, I: inverno.



## 4.0 DISCUSSÃO

### 4.1 Influência das épocas de plantio no florescimento de mandioca

Em geral, foi observado que o início e a intensidade do florescimento de mandioca foram afetados pela época de plantio. Nesse estudo foram avaliadas quatro épocas de plantio, nos meses de setembro (final ciclo chuvas), novembro (período seco), fevereiro (período seco) e maio (início período chuvoso). O plantio dos acessos de mandioca na Ep1 (início da primavera) resultou em menor intensidade de florescimento e ainda de forma tardia, em média 260 dias após o plantio (DAP). Portanto, o plantio de mandioca no início da primavera é desfavorável, quando se busca florescimento precoce. As demais épocas, plantadas no final da primavera (Ep2), final do verão (Ep3) e final do outono (Ep4) apresentaram um início de florescimento mais precoce, com média de 160, 150 e 180 dias para o início do florescimento, respectivamente. Além disso, destaca-se que as Ep3 e Ep4 apresentaram uma maior intensidade de florescimento ao longo do ciclo.

A definição da melhor época de plantio para determinar o padrão do florescimento em função das diferentes condições climáticas em determinados ambientes alvos, é uma estratégia que pode maximizar as chances de obtenção de progênes numerosas e ainda permite que parentais com tímido florescimento possam participar dos cruzamentos. De modo geral, as épocas mais favoráveis para o florescimento em mandioca estão relacionadas com dias mais longos, pela estimulação de dois homólogos de FT, MeFT1 e MeFT2 (ADEYEMO et al., 2019) e temperaturas mais baixas (22°C) (OLUWASANYA et al., 2021). Neste experimento, as Ep2, Ep3, Ep4 apresentaram valores semelhantes para a média de florescimento, embora a Ep2 com temperaturas médias em torno de 23°C tenha resultado em maior aumento do florescimento. Geralmente o período ideal de florescimento também é influenciado por fatores endógenos e exógenos tais não captados neste estudo como fotoperíodo, presença de nitratos e reguladores de crescimento vegetal (SRIKANTH et al., 2011; ROMERA et al., 2014; OLAS et al., 2019, OLUWASANYA et al., 2021).



## 4.2 Fatores climáticos e nível de florescimento

A influência das variáveis climáticas no florescimento de mandioca foi verificada com base nas correlações entre os dados de temperatura, graus dias acumulados (GDA) e pluviosidade acumulada obtidas nas avaliações quinzenais de florescimento. Houve maior florescimento em quinzenas antecedidas por altos índices pluviométricos (100-220mm). Por exemplo, a Ep2 apresentou maiores índices de florescimento no período posterior ao outono, período no qual houve grande acúmulo de precipitações. Em contrapartida, menor intensidade e início tardio de florescimento pode ser verificado na Ep1, em que houve menor precipitação acumulada em toda a avaliação (~160 mm, 1-120 DAP). Resultados semelhantes foram encontrados por Zhang et al. (2018), que demonstraram que a precipitação foi mais eficaz em alterar a data de floração do que a temperatura, especialmente entre as espécies de floração tardia na região da Colina da Guia, Macau. Semelhante resultado foi reportado por Lambert et al. (2010), em que a indução do florescimento em *Erythronium grandiflorum*, ocorreu após maiores volumes de precipitação.

Em regiões tropicais ou subtropicais a variação da precipitação é maior do que a da temperatura, com isso, a chuva tem sido apontada como um fator importante para induzir o florescimento (BAI et al., 2009; BREARLEY et al., 2007). Além disso, o período de estiagem após altas índices de chuvas, permite que a umidade relativa do ar favoreça o desenvolvimento de frutos e sementes (OLANI; FIKRE, 2010). A importância das condições hidrotérmicas nas atividades fisiológicas das plantas e seu efeito na determinação do tempo de floração já foram relatadas em discussões sobre o comportamento da floração. Uma temperatura ideal e a presença de luz solar, facilita a polinização cruzada e, conseqüentemente, a formação de sementes (OLANI; FIKRE, 2010).

Em mandioca, as condições climáticas são relatadas como fatores importantes na indução a respostas adaptativas dos genótipos, demonstrando a variabilidade genética existente para características relacionadas ao florescimento (SOUZA et al., 2020). Neste estudo, a Ep1 apresentou menores índices de florescimento nos períodos de maiores temperaturas ao longo das avaliações, o que certamente coincidiu com período mais prolongado de seca, já que o experimento foi montado sem irrigação complementar. Sousa et al. (2021) reforçam

a atuação dos fatores ambientais na eficiência da reprodução sexuada da mandioca, indicando que a temperatura ideal para produção de sementes varia entre 22,5 e 24°C, acima dessa faixa é relatado redução de 21% na produção de sementes. Em relação ao desenvolvimento vegetativo, temperaturas abaixo de 17°C ou acima de 37°C inibem o crescimento foliar da mandioca, enquanto temperaturas abaixo de 20°C diminuem a taxa fotossintética (KEATING; EVENSON, 1979, EL SHARKAWY, 2012).

Em relação às estações avaliadas, o maior percentual de plantas que floresceram ocorreu após outono e inverno na região do Recôncavo da Bahia, que são períodos que coincidem com aumento pluviométrico e diminuição das temperaturas em relação ao resto do ano. Logo, o impacto de temperaturas mais elevadas afeta espécies que produzem múltiplas inflorescências, como é o caso da mandioca, ao contrário de espécies que possuem uma única inflorescência (LIU et al., 2012).

#### **4.3 Perspectivas do agrupamento de genótipos para otimização da floração no melhoramento da mandioca**

A indução e sincronização do florescimento em blocos de cruzamento de mandioca ainda é um grande problema para a espécie, principalmente para inclusão de parentais com florescimento reduzido, bem como para geração de numerosas populações de melhoramento. A compreensão das influências de determinadas épocas de plantio e suas variações ambientais na regulação do tempo de floração pode ajudar a melhor compreender a fenologia floral da cultura, além de permitir a sincronização e otimização da floração entre os diferentes parentais de mandioca.

Especificamente na região do Recôncavo da Bahia, a Ep3 caracterizada pelo período seco (1-120DAP) resultou em florescimento mais precoce (~ aos 2MAP), com NP de 10,40 e NM de 0,56, bastante superior (52,40; 60%, respectivamente) em comparação com a Ep1 que apresentou NP de 4,95 e NM 0,35.

Considerando a equação de ganho genético dos melhoristas como sendo  $R_t = \frac{ir\sigma_a}{t}$ , na qual  $R_t$  é o ganho genético ao longo do tempo,  $i$  é a intensidade de seleção,  $r$  é a acurácia de seleção,  $\sigma_a$  a variância genética da população e  $t$  o

número de anos por ciclo de melhoramento, verifica-se que a redução do tempo necessário para geração das progênes pode afetar o ganho genético. De acordo com alguns autores, o impacto da redução do ciclo de melhoramento é potencialmente muito maior do que a busca pelo aumento da herdabilidade ou da intensidade de seleção (COBB et al., 2019). Embora o aumento da taxa de florescimento não tenha relação direta com a redução de ciclo de melhoramento, a geração de progênes em número suficiente para avanço dos ciclos de melhoramento e no menor tempo possível faz com que seja possível avançar os ciclos de seleção das populações segregantes de forma mais precoce ou mesmo fora da estação normal de plantio.

## 5.0 CONCLUSÃO

Na região do Recôncavo da Bahia, a melhor época de plantio dos blocos de cruzamentos deve ser feita em fevereiro (Ep3), visto que as médias de florescimento foram similares a Ep2 e, além disso, a Ep3 foi capaz de fornecer um florescimento mais precoce. Apesar de ser caracterizada como tempo seco (1-120DAP) o plantio em fevereiro possibilita o desenvolvimento das plantas no período de outono/ inverno, período marcado pelo aumento de chuvas (121-365 DAP).

Portanto, os resultados representam uma importante ferramenta para que os programas de melhoramento de mandioca possam planejar os campos de cruzamentos de forma a reduzir o tempo necessário para atingimento de metas quanto ao número de progênes cruzadas e número mínimo de sementes por progênie.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMO, O. S.; HYDE, P. T.; SETTER, T.L. Of FT family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v. 32, p. 181–191, 2019.

BAI, J.; GE, Q. S.; DAI, J. H. Response of woody plant phenophases to climate change for recent 30 years in Guiyang. **Geographical Research**, v.28, p. 1606–1614, 2009.

BOYLE, W. A.; BRONSTEIN, J. L. Phenology of tropical understory trees: patterns and correlates. **Tropical Biology Journal**, v.60, p. 1415–1430, 2012.

BREARLEY, F. Q.; PROCTOR, J.; NAGY, L.; DALRYMPLE, G.; VOYSEY, B. C. Reproductive phenology over a 10-year period in a lowland evergreen rain forest of central Borneo. **Journal of Ecology**, v.95, p. 828–839, 2007.

CEBALLOS, H.; HERSHEY, C. H. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In: CAMPOS, H.; CALIGARI, P. (eds). **Genetic Improvement of Tropical Crops**. Springer, p. 129-180. 2017

CEBALLOS, H.; KULAKOW, P.; HERSHEY, C. Cassava Breeding: Current Status, Bottlenecks and the Potential of Biotechnology Tools. **Tropical Plant Biology**, v. 5, n. 1, p. 73–87, 2012.

COBB, J.N.; JUMA, R.U.; BISWAS, P.S.; ARBELAEZ, J.D.; RUTKOSKI, J.; ATLIN, G.; HAGEN, T.; QUINN, M.; NG, E.H. Enhancing the rate of genetic gain in public-sector plant breeding programs: lessons from the breeder's equation. **Theoretical and Applied Genetics**, v.132, p.627–645, 2019.

CORTÉS, F.J.; HERNÁNDEZ; E.K.B; GONZÁLEZ; R. A.; IBARRA, M. G. Flowering phenology, growth forms, and pollination syndromes in tropical dry forest species: Influence of phylogeny and abiotic factors. **American Journal of Botany**, v.104, n.1, p, 39-49, 2017.

CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; COOMBES, N. E. On the design of early generation variety trials with correlated data. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v.11, n. 4, p. 381–393, 2006.

DAVIES, T. J.; WOLKOVICH, E. M.; KRAFT, N. J. B.; SALAMIN, N.; ALLEN, J. M.; AULT, T. R.; ET AL. Phylogenetic conservatism in plant phenology. **Journal of Ecology**, v.101, p. 1520–1530, 2013.

DIEZ J.M.; IBÁÑEZ I.; MILLER-RUSHING A.J.; MAZER S.J. CRIMMINS T.M.; CRIMMINS M.A.; BERTELSEN C.D.; INOUE D.W. Forecasting phenology: from species variability to community patterns. **Ecology Letters**, v. 15, p. 545-553, 2012.

ELLWOOD, E. R. S. A; TEMPLE, R. B; PRIMACK, N; L BRADLEY; C. C. DAVIS. Record-Breaking Early Flowering in the Eastern United States, **PLoS One**, v. 8, 2013.

EL-SHARKAWY, M. Stress-Tolerant Cassava: The role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 2, p. 162-186, 2012.

FAOSTAT-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Participação dos continentes na produção de mandioca em 2017. FAOSTAT Database Gateway – FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 31 Mar.2021.

FONTANA, V.; KOHLER, M.; NIEDRIST, G.; BAHN, M.; TAPPEINER, U.; FRENCK, G. Decomposing the land-use specific response of plant functional traits along

environmental gradients. **Science of the Total Environment**, v.59, p.750–759, 2017

FRESCHET, G. T.; BELLINGHAM, P. J.; LYVER, P. O.; BONNER, K. I.; WARDLE, D. A. Plasticity in above- and belowground resource acquisition traits in response to single and multiple environmental factors in three tree species. **Ecology and Evolution**, v.3, p.1065–1078, 2013.

JOCHNER, S; A. MENZEL. The phenology of flowers reflects the slowdown of global warming. **Ecology and Evolution**, v. 5, p. 2284-2295, 2015.

KASSAMBARA, A. *rstatix*: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/rstatix/> (<https://cran.r-project.org/web/packages/rstatix/>).

KEATING, B.A.; EVENSON, J.B. Effect of soil temperature on sprouting and sprout elongation of stem cuttings of cassava. **Field Crops Research**, v.2, p.241–252, 1979.

KIM, D.H.; DOYLE, M.R.; SUNG, S.; AMASINO, R.M. Vernalization: winter and the timing of flowering in plants. **Annual Review of Cell and Developmental**, v.25, p.277-299, 2009.

KÖNIG, P.; TAUTENHAHN, S.; CORNELISSEN, J.; KATTGE, J.; BÖNISCH, G.; RÖMERMANN, C. Advances in flowering phenology across the Northern Hemisphere are explained by functional traits. **Global Ecology and Biogeography**, v.27, p, 310-312, 2017.

LAMBERT, A.M.; MILLER-RUSHING, A.J.; INOUE, D.W. Changes in snowmelt date and summer precipitation affect the flowering phenology of *Erythronium Grandiflorum*. **American Journal of Botany**, v. 97, n. 9, p;1431–37, 2010.

LATIF, S.; MÜLLER, J. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 147–158, 2015.

LIU, Y., MU, J., NIKLAS, K. J., LI, G., AND SUN, S. Global warming reduces plant reproductive output for temperate multi-inflorescence species on the Tibetan plateau. **New Phytologist**, v.195, p. 427–436, 2012.

MCGARRY, R.; KLOCKO, A; PANG, M.; STRAUSS, S.; AYRE, B. Virus-induced flowering: an application of reproductive biology to benefit plant research and breeding. **Plant Physiology**, 173. 10.1104/pp.16.01336, 2016.

MENZEL, A.; T. SPARKS; N. ESTRELLA; E. KOCH; AASA R. AHAS. European phenological response to climate change are the warming pattern, **Global Change Biology**, v.12, p. 1969-1976, 2006.

OLAS, J.J.; VAN DINGENEN. J.; ABEL, C.; DZIAŁO, MA.; FEIL, R.; KRAPP, A.; SCHLERETH, A.; WAHL, V. Nitrate acts at the *Arabidopsis thaliana* shoot apical meristem to regulate flowering time. **New Phytologist**, v. 223, p 814-827, 2019.

OLUWASANYA D.; ESAN O.; HYDE P.T.; KULAKOW P.; SETTER T.L. Flower development in cassava is feminized by cytokinin, while proliferation is stimulated by anti-ethylene and pruning: transcriptome responses. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 975, 2021.

PAZARAN, G. C. Genome-assisted prediction of quantitative traits using the R package *sommer*. **PLoS one**, v. 11, n. 6, p. e0156744, 2016.

RAMOS ABRIL, L. N.; PINEDA, L.M.; WASEK, I.; WEDZONY, M.; CEBALLOS, H. Reproductive biology in cassava: stigma receptivity and pollen tube growth. **Communicative and Integrative Biology**, v. 12,1 p. 96-111, 2019.

RAVI, V.; RAVIDRAN, C. S. Effect of soil drought and climate on flowering and fruit set in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Advances in Horticultural Science**, v. 20, p. 147-150, 2006.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2021. URL: <https://www.R-project.org/>

ROMERA-BRANCHAT M.; ANDRÉS F.; COUPLAND G. Flowering responses to seasonal cues: What's new? **Current Opinion in Plant Biology**, v.68, p. 120-127, 2014.

SOUSA, M.; ANDRADE, L.R.B; SOUZA, E.H; ALVES, A.A.C.; DE OLIVEIRA, E.J. Reproductive barriers in cassava: Factors and implications for genetic improvement. **PLoS ONE**, v.16, n.11, 2021.

SRIKANTH A.; SCHMID M. Regulation of flowering time: All roads lead to Rome. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.68, n.12, p, 37, 2011.

SUN, S. C.; FRELICH, L. E. Flowering phenology and height growth pattern are associated with maximum plant height, relative growth rate and stem tissue mass density in herbaceous grassland species. **Journal of Ecology**, v. 99, p. 991–1000, 2011.

TOOKE, F., E N. H. BATTEY. Temperate flowering phenology. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 2853-2862, 2010.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Nutritional nutrient database for standard reference. Disponível em: [www.ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2907?manu=&fgcd=&dsml](http://www.ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2907?manu=&fgcd=&dsml). Acesso em: 10 ago. 2022.

RAVI, V.; RAVINDRAN, C.S. Effect of soil drought and climate on flowering and fruit set in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Advances in Horticultural Science**, v. 20, p. 147-150, 2006.

WANG, J.; GUAN, Y.; WU, L.; GUAN, X.; CAI, W.; HUANG, J. Changing lengths of the four seasons by global warming. **Geophysical Research Letters**, v.48, e2020GL091753, 2021.

WOLKOVICH, E.M.; COOK, B.I.; ALLEN, J.M.; CRIMMINS, T.M; BETANCOURT, J.L.; TRAVERS, S.E.; PAU, S.; REGETZ, J.; DAVIES, T.J.; KRAFT, N.J.; AULT, T.R.; BOLMGREN, K.; MAZER, S.J.; MCCABE, G.J.; MCGILL, B.J.; PARMESAN, C.; SALAMIN, N.; SCHWARTZ, M.D.; CLELAND, E.E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. **Nature**, v.485, p. 494-497, 2012.

ZHANG, J.; YI, Q.; XING, F.; TANG, C.; WANG, L.; YE, W.; NG, I; CHAN, T.; CHEN, H.; LIU, D. Rapid shifts of peak flowering phenology in 12 species under the effects of extreme climate events in Macao. **Scientific Reports**, v.8 2018.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da poda, juntamente com o tiosulfato de prata (STS) e citocinina (BA) melhorou substancialmente o desenvolvimento de flores em mandioca. O uso de reguladores de crescimento, associado ao BA, induziu a feminilização, permitindo aumentar as possibilidades de cruzamentos viáveis para obtenção de sementes. A extensão do fotoperíodo não proporcionou de forma isolada ou combinada a poda, aumento do número de flores nos genótipos avaliados. Entretanto, houve maior precocidade no florescimento na EF de forma isolada, além do aumento do número de ramificação nas plantas avaliadas.

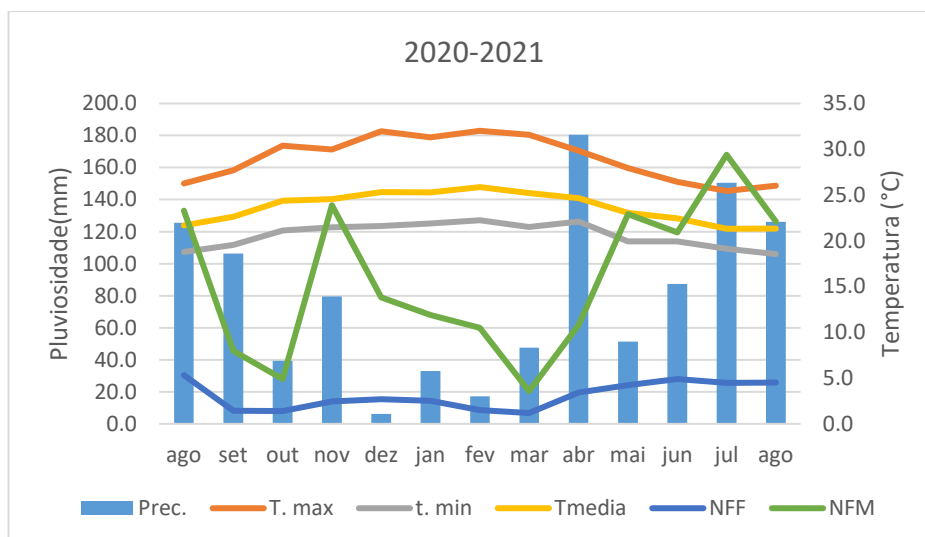
As diferentes épocas de plantio afetaram o desempenho dos genótipos de mandioca avaliados em relação ao florescimento e frutificação. Além disso, a Ep3, caracterizada pelo plantio em fevereiro (~23,8°C e 1289,9 mm durante o período de avaliação) propiciou florescimento mais precoce apesar de NM similar em relação a Ep2 e Ep4. Em relação a influência dos fatores ambientais nas flores e frutos, altas temperaturas (>29°C), combinados a longos períodos de secas não favorecem o florescimento. Entretanto, períodos de estiagens após maiores índices de precipitação, induzem a floração, como observamos nas estações de outono/inverno com indicies pluviométricos superiores a 100mm.

Este estudo contribui para a compreensão da diversidade fenológica da floração em mandioca, fornecendo alternativas para indução do florescimento, buscando a otimização e a obtenção de flores necessárias para cruzamentos eficazes, visando o aumento da produtividade. Além disso, o estudo se caracteriza como um dos pioneiros para o conhecimento da fenologia do germoplasma, fornecendo a compreensão da cultura em relação as mudanças ambientais. As diferentes épocas de plantio, demonstram que a atividade de floração tende a ser fortemente afetada por oscilações na temperatura e precipitação, influenciando no comportamento dos genótipos avaliados. Portanto, os resultados obtidos, se tornam uma alternativa para que programas de melhoramento de mandioca possam otimizar e planejar os campos de cruzamentos, buscando a sincronização da floração entre genótipos e a redução do tempo necessário para obtenção de sementes.

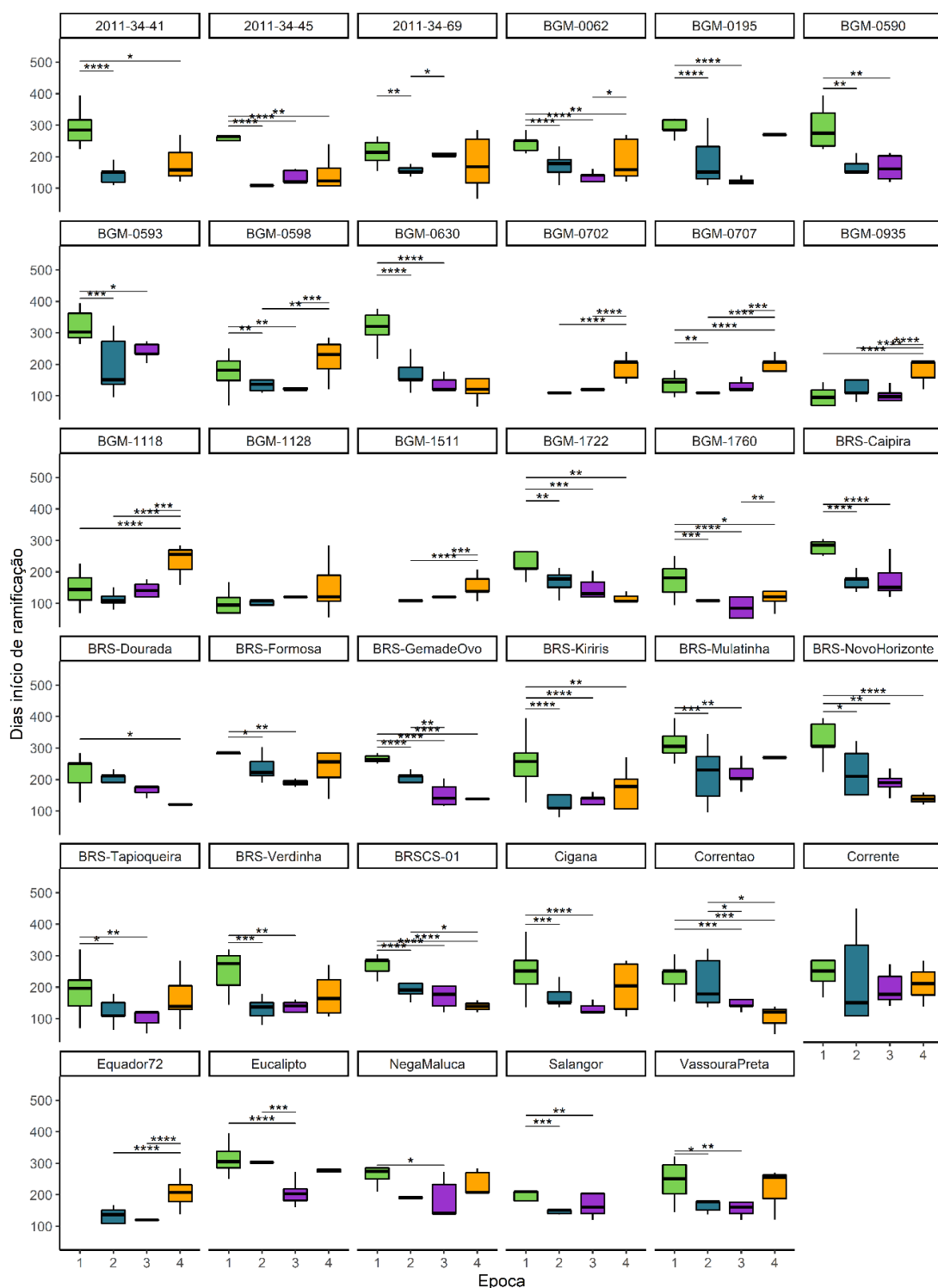


## ANEXOS

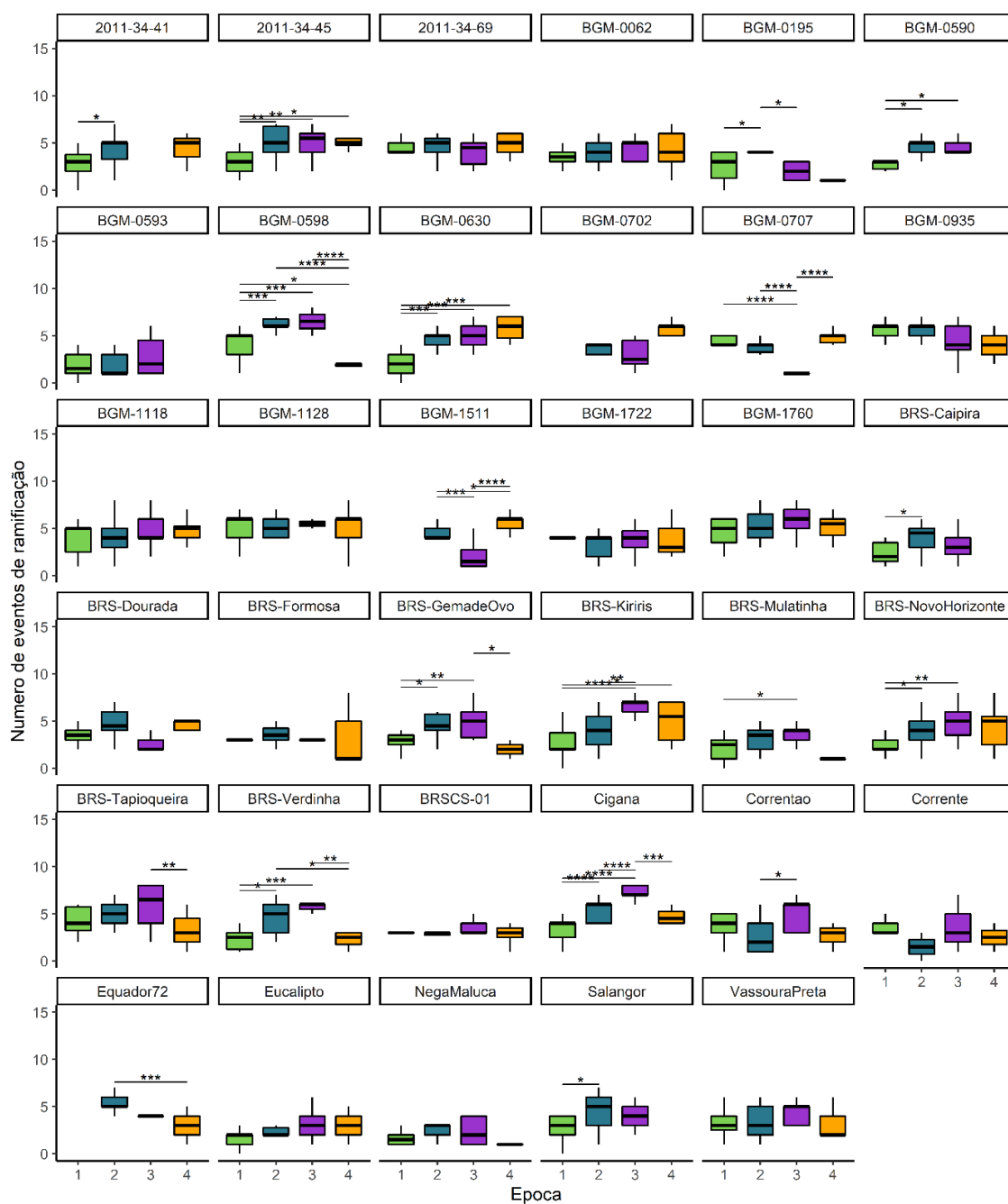
**Figura C1.** Médias do número de flores femininas e masculinas, precipitação e temperatura mínima, máxima e média mensal, registrado de agosto de 2020 a agosto de 2021 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas,BA.



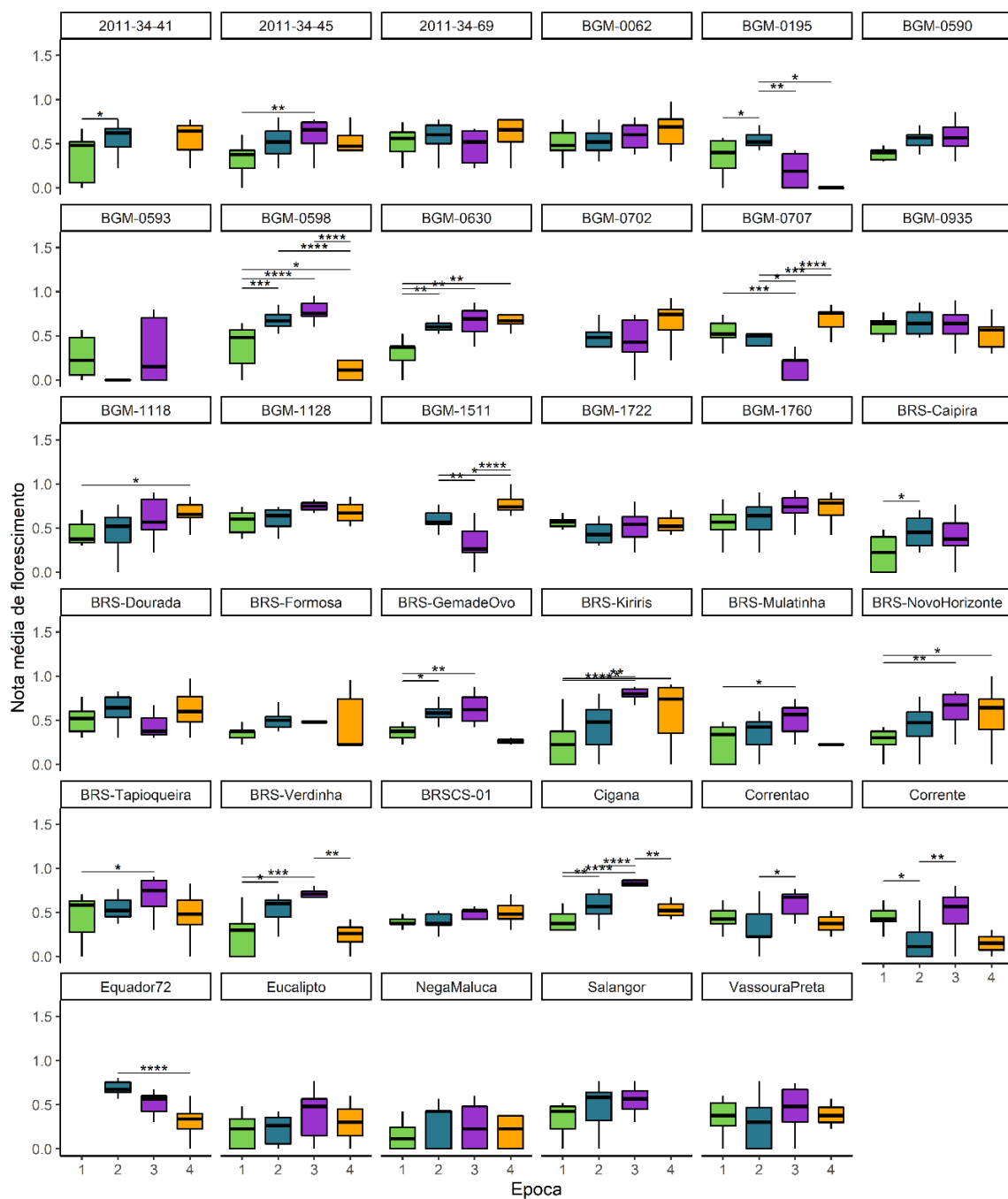
**Figura S1:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número de dias para início da primeira ramificação (ND1R), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.



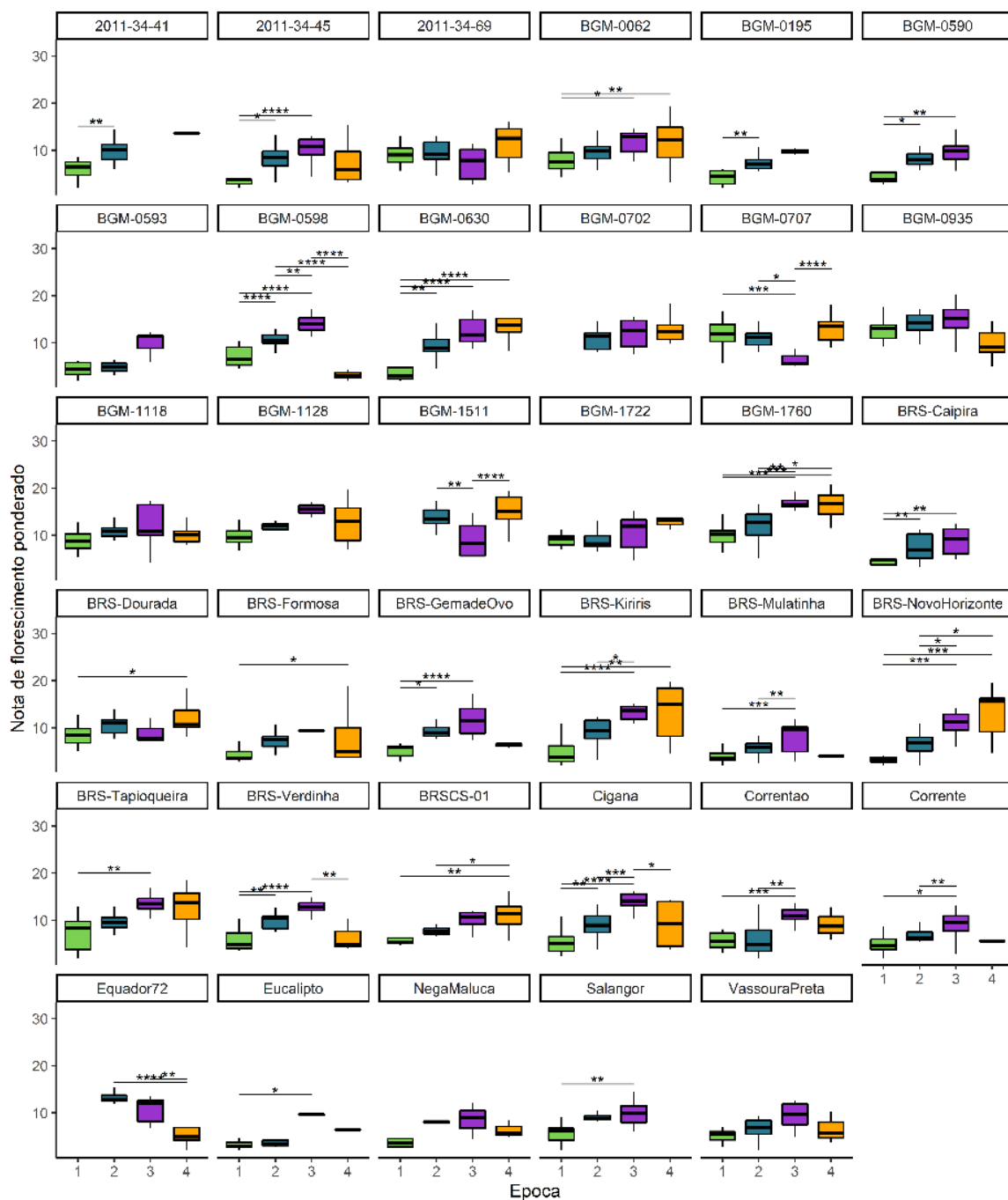
**Figura S2:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número de eventos de ramificações (NER), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.



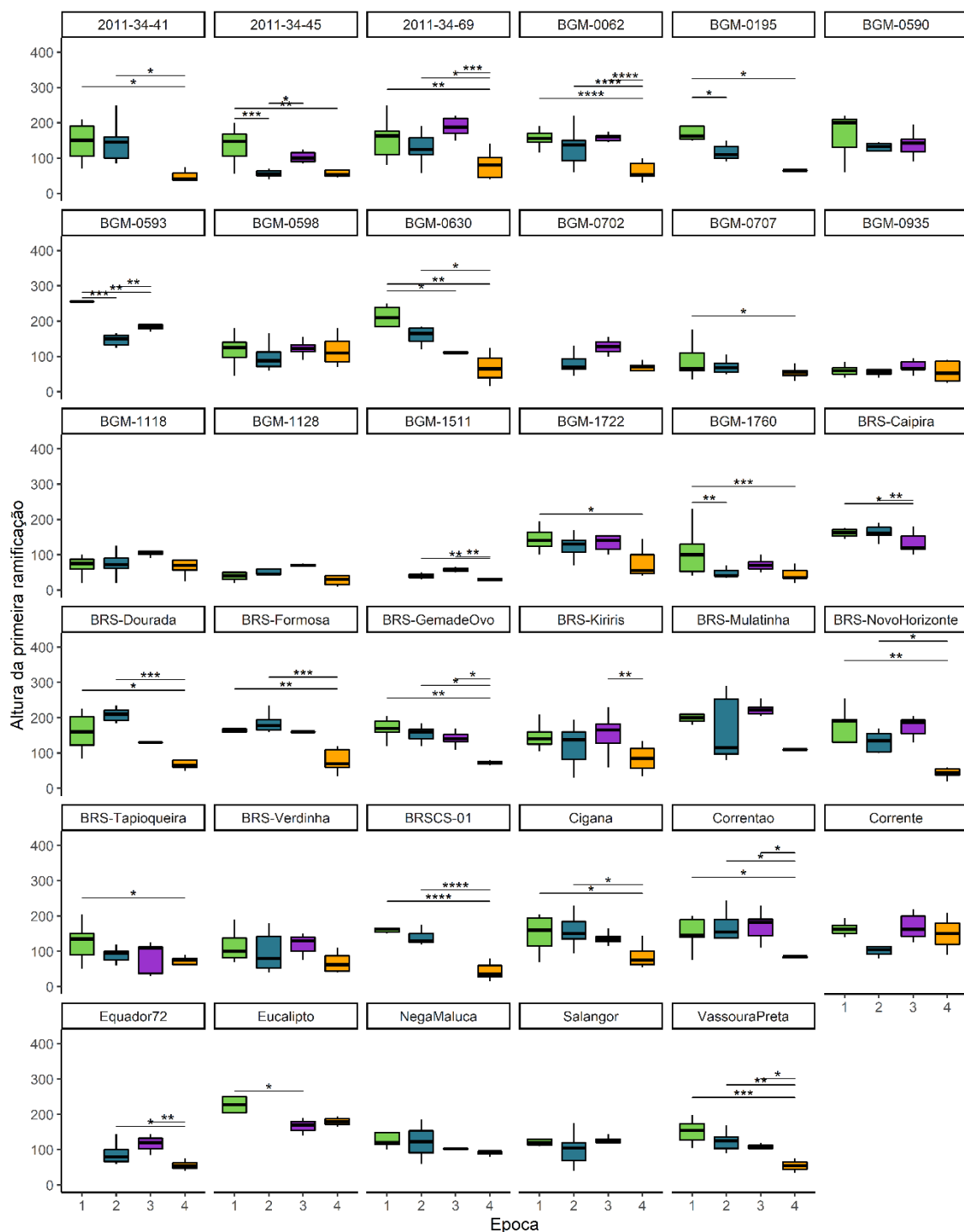
**Figura S3:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da nota média de florescimento (NM), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.



**Figura S4:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da nota ponderada de florescimento (NP), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.



**Figura S5:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) da altura da primeira ramificação (A1R), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.



**Figura S6:** BLUPs (*best linear unbiased prediction*) do número total de frutos (NFT), para quatro épocas de plantio. Linhas superiores representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste *Tukey*.

