

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAFAEL HENRIQUE PERTILLE

INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA HETEROGENEIDADE DE
BROTAÇÃO E FLORAÇÃO DE MACIEIRAS

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RAFAEL HENRIQUE PERTILLE

**INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA HETEROGENEIDADE DE
BROTAÇÃO E FLORAÇÃO DE MACIEIRAS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

RAFAEL HENRIQUE PERTILLE

**INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA HETEROGENEIDADE DE BROTAÇÃO E
FLORAÇÃO DE MACIEIRAS**

**Environment influence on the heterogeneity of leafing and blooming in
apple trees**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área
de Concentração: Produção Vegetal da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Idemir Citadin

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



RAFAEL HENRIQUE PERTILLE

INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA HETEROGENEIDADE DE BROTAÇÃO E FLORAÇÃO DE MACIEIRAS

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 25 de Fevereiro de 2021

Prof Idemir Citadin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Fernando Jose Hawerroth, Doutorado - Embrapa

Prof Juliano Dutra Schmitz, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense (If Catarinense)

Prof Moeses Andriago Danner, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 25/02/2021.

Dedico este trabalho:

À minha Família;

Aos meus Amigos;

Ao meu amigo Gilberto Cesar Carmona Carmona (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Lúcia, as minhas irmãs, Katia e Keli, meu cunhado Ricardo e ao meu sobrinho Arthur. Obrigado por tudo!

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de desenvolver meu mestrado, assim como os professores do curso por todos os ensinamentos passados e pela amizade criada durante esse período. A CAPES pela bolsa de estudos, que me possibilitou dedicação integral ao projeto.

Agradeço o meu orientador, Idemir Citadin, por toda a orientação e ensinamentos durante o período.

Agradeço aos meus amigos Igor e Géssica pelo apoio e acolhimento em diversos momentos durante essa fase.

Agradeço aos meus amigos Alan, Jonatan, Lucas, Cleiton, Felipe, Fino e Fortunato, pela amizade e apoio.

Agradeço a Angélica, Patrícia e Marieli pela amizade que vem de tempos de graduação e pelo apoio em diversos momentos.

Agradeço aos meus amigos Marcos Sachet e Silvia Scariotto por todas as conversas e apoio, além das discussões e ensinamentos provenientes tanto desse trabalho como de muitos outros.

Agradeço a equipe da fruticultura, tanto aos que passaram quanto aos que permanecem, pela ajuda incondicional nas avaliações que percorriam noites, feriados e finais de semana.

Agradeço a todos que de uma maneira ou outra me ajudaram e fizeram-se presentes nesse período.

“Time is like a river that carries us forward into encounters with reality that require us to make decisions. We can't stop our movement down this river and we can't avoid those encounters. We can only approach them in the best possible way”

– *Principles* by Ray Dalio

RESUMO

PERTILLE, Rafael Henrique. Influência do ambiente na heterogeneidade de brotação e floração de macieiras. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

As fruteiras de clima temperado, como as macieiras, apresentam como uma das principais fases no ciclo produtivo a dormência. A principal característica do local de cultivo que influencia diretamente a entrada e saída da dormência é a quantidade e qualidade de frio. Quando cultivada em locais que apresentem frio insuficiente, as plantas apresentam floração e brotação desuniformes, além de redução da área foliar e baixo potencial produtivo pela diminuição da formação e manutenção de estruturas florais. O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento da planta, em relação a dinâmica de dormência e a formação de estruturas florais e vegetativas em diferentes ambientes, e a influência das temperaturas em eventos fenológicos. O estudo foi realizado na região de Palmas – PR, no pomar Lovo, a 1140 m de altitude, com as cultivares Eva, Galaxy e Fuji Suprema, e no pomar Horizonte, a 1310 m de altitude, com as cultivares Galaxy e Fuji Suprema. Foi realizado, durante os anos 2018, 2019 e 2020, quinzenalmente, o teste de nós isolados para determinar o tempo médio de brotação (TMB). Foram utilizados as datas de início de floração dos anos de 2012 a 2020 para correlacioná-las com as temperaturas médias diárias durante o ano, com a metodologia de Partial Least Squares (PLS). No outono de 2019 e 2020 foram avaliadas as brotações de ramos marcados no inverno anterior, para entender os tipos de brotações que ocorrem em cada porção dos ramos, em cada cultivar e local. Foi observado que a cultivar Gala responde a mudança do ambiente em sua dinâmica de dormência, com aumento de profundidade e com maior velocidade de entrada e saída em local com condições mais frias e mais homogêneas de temperatura. A cultivar Eva não demonstrou ter endodormência profunda, ao contrário das cultivares Gala e Fuji. A data de início de floração é controlada tanto pelas temperaturas na fase de resfriamento quanto na fase de forçagem. A produção de brindilas e esporões laterais é maior no pomar Horizonte, pomar com melhor acumulação de frio, porém as plantas do pomar do Lovo, que apresenta menor acúmulo de frio, apresentam maior número total de esporões, pela característica de compensar a baixa brotação lateral com a formação de estruturas bourse-over-bourse, mantendo seu potencial produtivo. Além disso, as plantas no pomar do Horizonte formam brindilas mais longas que no pomar do Lovo.

Palavras-chave: Dormência. Macieira. Modelagem Fenológica. Brotação. Ramificação

ABSTRACT

PERTILLE, Rafael Henrique. Environment influence on the heterogeneity of leafing and blooming in apple trees. 73 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop Production), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

Temperate fruit trees, such as apple trees, present dormancy as one of the main phases in their production cycle. The main characteristics of the cultivation site that directly influences the entry and exit of dormancy are the quantity and quality of chill. When grown in a location with a low quantity and quality of chill, the plants show heterogeneous flowering and budding, and reduced leaf area and productivity, potentially due to decreasing formation and maintenance of floral structures. The objective of the work was to study the behavior of the plant, in relation to its dormancy dynamics and the formation of floral and vegetative structures at different altitudes, and to study the influence of temperatures on phenological events. The study was carried out in the region of Palmas – PR, at the Lovo orchard, altitude of 1140 m, with the cultivars Eva, Galaxy and Fuji Suprema, and at the Horizonte orchard, altitude of 1310 m, with the cultivars Galaxy and Fuji Suprema. During the years 2018, 2019 and 2020, the isolated node test was performed biweekly to determine the mean time of budburst (MTB). The early flowering dates from 2012 to 2020 were used to correlate with the average daily temperatures during the year, using the Partial Least Squares (PLS) methodology. In the fall of 2019 and 2020, shoots of branches marked in the previous winter were evaluated to understand the types of shoots that occur in each portion of the branches, for each cultivar and location. The dormancy dynamics of the Gala cultivar were observed to respond to environmental changes, through an increased depth of dormancy and a greater speed of entry and exit of dormancy, in a location with cooler and more homogeneous temperature conditions. Deep endodormancy was not observed in Eva, unlike the cultivars Gala and Fuji. The early flowering date is controlled by both temperature during the chilling phase and the forcing phase. The production of branches and lateral spurs was higher in the Horizonte orchard, with a better chill accumulation, however the plants of Lovo orchard, which had less chill accumulation, had a higher total number of spurs, due to compensation for low lateral sprouting through the formation of bourse-over-bourse structures, which maintained the productive potential. In addition, the plants in the Horizonte orchard formed longer branches than those in the Lovo orchard.

Keywords: Dormancy. Apple tree. Phenological modeling. Leafing. Branching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Exemplificação do modelo de break-point para análise da curva de TMB de macieiras, com demonstração dos valores de α , θ , C_e (coeficiente de entrada) e C_s (coeficiente de saída). UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....26
- Figura 2 – Representação de um ramo do tipo brindila de um ano de idade, com demonstração das porções estabelecidas para avaliação e com representação de brotações laterais do tipo brindila e esporão. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....30
- Figura 3 – Temperaturas máxima, média e mínima nos pomares Lovo (A) e pomar Horizonte (B) durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....31
- Figura 4 – Porções de frio (FISHMAN et al., 1987) nos pomares Lovo e Horizonte durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....32
- Figura 5 – Modelo *break-point* ajustado ao tempo médio de brotação (TMB) da cultivar Eva (A, B e C), Gala (D, E e F) e Fuji (G, H e I) no pomar Lovo durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....34
- Figura 6 – Modelo *break-point* ajustado ao tempo médio de brotação das cultivares Gala (A, B e C) e Fuji (D, E e F) no pomar Horizonte durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....35
- Figura 7 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Gala cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....41
- Figura 8 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Fuji cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....42
- Figura 9 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Eva cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....43
- Figura 10 – Variação na data de início floração considerando as temperaturas médias durante os períodos de resfriamento e forçagem da cultivar Gala cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....45
- Figura 11 – Variação na data de início floração considerando as temperaturas médias durante os períodos de resfriamento e forçagem da cultivar Fuji cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....46
- Figura 12 – Respostas teóricas da fenologia em função do aquecimento na fase de resfriamento e na fase de forçagem. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....49
- Figura 13 – Proporção entre as frequências absolutas de cada classe de crescimento vegetativo nas porções terminal, distal e proximal de ramos de um ano de idade das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas em locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Tabela de valores dos parâmetros Coeficiente de entrada (C_e), Alpha, Theta, Coeficiente de saída (C_s), data limite estimada para atingir TMB 12 dias (TMB12) obtidos pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB de cultivares de macieira cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....33
- Tabela 2 – Tabela de *p values* para efeitos fixos (Cultivar e Local) obtidos pela análise de Wald, para os parâmetros obtidos pelo modelo de *break-point*, a partir do tempo médio de brotação (TMB) de duas cultivares de macieiras cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021..... 36
- Tabela 3 – Coeficiente de entrada (C_e), parâmetros Alpha e Theta estimados pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB de cultivares Gala e Fuji cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....36
- Tabela 4 – Coeficiente de saída (C_s) e dia do ano para chegada ao TMB 12, estimados pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB da cultivares Gala e Fuji cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....37
- Tabela 5 – Modelos lineares univariados e bivariados, entre datas de início de floração e temperaturas médias durante os períodos de resfriamento (TMR) e forçagem (TMF) das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021..... 44
- Tabela 6 – Percentuais de ramos com crescimento de brindilas e esporões nas porções terminal, distal e proximal, das cultivares Gala e Fuji, cultivadas em duas regiões com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021..... 51
- Tabela 7 – Percentuais de ramos com crescimento de brindilas e esporões nas porções terminal, distal e proximal, das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas no pomar Lovo. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021..... 51
- Tabela 8 – Número de esporões e brindilas por metro linear de ramo, e comprimento médio de brotações do tipo brindila (CB) nas cultivares Gala e Fuji cultivadas em locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.....53
- Tabela 9 – Número de ramos do tipo esporões, brindilas e proporção esporões/brindila (E/B) por área de seção de tronco (AST) nas cultivares Gala e Fuji em diferentes condições de cultivo. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021..... 53

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
PR	Unidade da Federação – Paraná
SC	Unidade da Federação – Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros Quadrados
m	Metros
ha	Hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 DORMÊNCIA.....	17
3.2 MODELAGEM FENOLÓGICA.....	19
3.3 HETEROGENEIDADE DE FLORAÇÃO E BROTAÇÃO.....	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 CULTIVARES ESTUDADAS.....	23
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS DE ESTUDO.....	24
4.3 DINÂMICA DE DORMÊNCIA DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES.....	25
4.3.1 Tempo Médio de Brotação (TMB).....	25
4.3.2 Modelagem da dinâmica do TMB.....	25
4.4 INTERAÇÃO DA TEMPERATURA NA DATA DE INÍCIO DE FLORAÇÃO DE CULTIVARES DE MACIEIRA.....	27
4.4.1 Fenologia.....	27
4.4.2 Interação temperatura x fenologia.....	28
4.5 FORMAÇÃO DE RAMOS DO TIPO BRINDILA E ESPORÃO EM DIFERENTES ALTITUDES.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1 DINÂMICA DE DORMÊNCIA DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES.....	31
5.1.1 Resultados.....	31
5.1.2 Discussão.....	37
5.2 INTERAÇÃO DA TEMPERATURA NA DATA DE INÍCIO DE FLORAÇÃO DE CULTIVARES DE MACIEIRA.....	40
5.2.1 Resultados.....	40
5.2.2 Discussão.....	47
5.3 FORMAÇÃO DE ESTRUTURAS FLORAIS, VEGETATIVAS E SUPERFÍCIE FOTOSSINTETIZANTE DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES.....	50
5.3.1 Resultados.....	50
5.3.2 Discussão.....	54
6 CONCLUSÕES.....	58

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A – Aspecto das plantas de macieira cultivadas no pomar Lovo.....	69
APÊNDICE B – Aspecto das plantas de macieira das cultivares Gala e Fuji cultivadas no pomar Horizonte.....	70
APÊNDICE C – Aspecto das plantas de macieira da cultivar Eva, cultivadas no pomar Lovo.....	71

1 INTRODUÇÃO

A dormência de plantas frutíferas de clima temperado pode ser descrita de duas formas: resultado de um processo adaptativo para resistir/sobreviver às baixas temperaturas hibernais do local de origem; e/ou resultado de um ciclo endógeno controlado por fatores ambientais. As plantas que entram em dormência apresentam redução do teor de água nos tecidos e aumento nas concentrações de açúcares no xilema, principalmente o açúcar-álcool sorbitol, e redução significativa dos seus processos metabólicos. Esse processo faz com que ocorra aumento da tolerância ao congelamento dos tecidos. A dormência cessa, conceitualmente, na primavera, quando ocorre o aumento do teor de água, o reestabelecimento dos processos metabólicos, a síntese e a mobilização de carboidratos não estruturais para os meristemas, possibilitando então a retomada do crescimento vegetativo e a floração.

A principal característica do local de cultivo que influencia diretamente a entrada e saída da dormência é a quantidade e qualidade de frio. Quando fruteiras de clima temperado são cultivadas em locais de baixo acúmulo de frio hibernal ocorre brotação e floração desuniformes (heterogeneidade temporal e espacial), estabelecimento errático da superfície fotossintetizante (formação de ramos e área foliar), além de redução do potencial produtivo, qualidade de frutos e baixa formação e manutenção de órgão florais (formação de ramos produtivos).

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma das principais fruteiras cultivadas no mundo. No Brasil, a principal região produtora está localizada em locais onde o acúmulo de frio é próximo ao ideal. Entretanto, o restante da produção é proveniente de locais onde as condições climáticas para o cultivo não são ideais. Essas regiões, em sua maioria de clima subtropical úmido, apresentam invernos irregulares, com grande amplitude térmica diária, baixo acúmulo de frio e excesso de chuvas. A produção de maçã nessas regiões é feita com o uso de produtos para quebra de dormência e controle de vigor, alguns dos quais não mais aceitos pelos consumidores e por países importadores de maçã do Brasil. Além do fato de não haver locais adequados para expansão do cultivo no Brasil, os iminentes aumentos de temperatura, decorrente das mudanças climáticas, aumentam o risco de

produção e causam incertezas sobre o futuro dos cultivos nas regiões tradicionalmente produtoras de maçã em outros países. Os efeitos das mudanças climáticas, tanto no Brasil como em regiões de clima temperado, forçarão o deslocamento dos cultivos de fruteiras de clima temperado para zonas de altitude, expondo-as a riscos de geadas de primavera.

A falta de modelos de predição da fenologia que seja adaptado a condições de inverno ameno e os decorrentes problemas na formação e manutenção de estruturas fotossintetizantes e reprodutivas (extinção de esporões e formação de ramos não-produtivos) são alguns dos problemas e incertezas enfrentados atualmente nas regiões de inverno ameno.

Com isso, esta pesquisa visa obter detalhes da fenologia da planta, com análises da entrada e saída de dormência (testes biológicos clássicos) e de modelos para predição fenológica, distribuição espaço-temporal da brotação e floração, a análise da formação e extinção de esporões em regiões de inverno ameno.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aprofundar o conhecimento sobre os efeitos do ambiente na dinâmica de dormência e nos processos de floração, brotação e formação de ramos de macieiras cultivadas em região de inverno ameno.

2.2 Objetivos específicos

- investigar os efeitos do ambiente na dinâmica da dormência;
- entender os efeitos da temperatura para a entrada e saída de dormência;
- avaliar a heterogeneidade espacial e temporal de brotação e floração;
- avaliar a formação de estruturas florais e vegetativas em diferentes condições de ambiente;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DORMÊNCIA

A dormência pode ocorrer em todos os órgãos meristemáticos, sendo em fruteiras de clima temperado perenes, a dormência das gemas a que recebe maior importância. A planta pode apresentar vários estádios de dormência, simultaneamente, pela grande diversidade dos estádios fisiológicos entre as gemas de cada planta (FAUST et al., 1997). Embora a planta não apresente crescimento visível nessa fase, suas atividades metabólicas essenciais são reduzidas, mas continuam a ocorrer (PETRI et al., 1996). Assim não é possível afirmar e/ou delimitar o momento de saída e estabelecimento de cada tipo de dormência, mas é possível saber o momento onde há um maior predomínio, na população de gemas, de determinado tipo de dormência (ANZANELLO, 2012).

Até a década de 1980, haviam mais de 50 termos que descreviam cada fase de dormência, não havendo um consenso do termo mais adequado (SAURE, 1985; LANG et al., 1987). Assim, Lang et al. (1987) propuseram uma nova definição, considerando a dormência como uma suspensão temporária do crescimento visível, dividindo-a em três fases distintas: paradormência, endodormência e ecodormência. Essas definições das diferentes fases da dormência são utilizadas até hoje nos estudos da área.

A paradormência é caracterizada por inibições correlativas entre órgãos, quando um órgão da planta impede o crescimento de outro, como por exemplo a dominância da presença de folhas adjacentes sob as gemas laterais (SAMISH, 1954; LANG et al., 1987). A retomada do crescimento do órgão inibido é reestabelecida quando é suprimido o órgão inibidor, como por exemplo, quando da retirada das gemas apicais dos ramos para evitar o estabelecimento de dominância apical. A ocorrência da paradormência é predominante na primavera e verão durante o crescimento e diferenciação dos órgãos, e conceitualmente anterior a endodormência.

A fase da endodormência é intrínseca ao próprio órgão, nesse caso o

meristema. Conceitualmente a endodormência é predominante quando, mesmo em condições favoráveis de ambiente e sem a presença de inibições correlativas (paradormência), o órgão não consegue se desenvolver (LANG et al., 1987).

A endodormência ainda pode ser dividida em duas fases (FAUST et al., 1997): endodormência profunda (*deep* ou *d-endodormancy*) e endodormência superficial (*shallow* ou *s-endodormancy*). A *d-endodormancy* ocorre a partir da paradormência, com sobreposição, até o pico de endodormência.

Nesse período a tentativa de indução de brotação e floração por agentes químicos não possui efeito. A *s-endodormancy* é o período após o pico de dormência, fase em que o uso de agentes químicos é eficiente para “suprir” o restante da necessidade de frio e homogeneizar a brotação e floração da planta.

O tempo médio de brotação das gemas na fase de *d-endodormancy* é máximo, coincidindo com baixo conteúdo de água e baixa brotação. Porém quando se trabalha com cultivares de baixa necessidade de frio e/ou em regiões de baixo acúmulo de frio, há variações nesses parâmetros (ANZANELLO, 2012; MALAGI; LEGAVE, 2012; MALAGI et al, 2015). Teoricamente, quanto mais profunda a endodormência, maior é a necessidade de frio para superá-la. Esse aspecto é importante quando se tenta produzir cultivares de alto requerimento em frio em regiões subtropicais e tropicais, implicando na maioria das vezes no insucesso do cultivo da espécie (EREZ, 2000). A ecodormência caracteriza-se pelo não crescimento visível de um órgão devido a fatores do ambiente limitantes ao desenvolvimento da planta, sendo que após a suspensão desses fatores, ocorre a retomada do crescimento (LANG et al., 1987).

Em clima temperado típico é a última fase da dormência, após a superação da endodormência, sendo que na ecodormência as gemas continuam em repouso até que ocorra um acúmulo de calor suficiente para a retomada do crescimento. A necessidade de calor é dependente geneticamente e também está relacionada com a quantidade de frio acumulado anteriormente (COUVILLON; EREZ, 1985; CITADIN et al., 2001), principalmente em regiões com menor acúmulo de frio.

A ecodormência se refere a um processo adaptativo em que os meristemas aguardam para que as condições sejam favoráveis ao seu

desenvolvimento, mesmo após a saída da endodormência pelo completo acúmulo de frio. A mudança da fase de endodormência para ecodormência, em região de clima temperado típico é gradual, já em clima subtropical esse período é curto (MALAGI et al, 2015). Dessa forma, é utilizado como estratégia no melhoramento genético de fruteiras de clima temperado para cultivos em condições subtropicais, pois cultivares com menor exigência em frio conseguem brotar e florescer em regiões de baixo acúmulo de frio, porém com um aumento no período de ecodormência, seria possível evitar os danos por congelamento das estruturas vegetativas e florais das plantas na ocorrência de geadas tardias (BYRNE; SHERMAN; BACON, 2000; CITADIN et al., 2001; EGEE et al., 2003; ANZANELLO, 2012).

3. 2 MODELAGEM FENOLÓGICA

Os mecanismos envolvidos no controle da dormência de fruteiras de clima temperado ainda não são bem compreendidos, assim uma grande variedade de métodos tem sido criados e testados para o desenvolvimento de modelos capazes de prever a brotação e a floração e explorar as variações entre espécies e cultivares, além do estudo das variações entre regiões de cultivo.

Cada espécie ou genótipo apresenta um requisito de resfriamento e de acúmulo de calor diferente para o estágio de endodormência e ecodormência, respectivamente. Para quantificar e estimar a necessidade de frio e calor de espécies frutíferas de clima temperado são usados modelos que consideram faixas de temperatura ideais ou têm um algoritmo treinado para estimar porções de frio, além de modelos que consideram concentração de açúcares nos meristemas (PERTILLE et al., 2019; FERNANDEZ et al, 2019). Vários modelos são criados com frequência, dependendo da espécie e região de avaliação.

Os modelos clássicos e menos complexos como o modelo Weinberger (1950) e o modelo Growing Degree Hours (GDH) de Richardson et al. (1975), são normalmente os modelos mais usados para explicar as interações do ambiente e as respostas fenológicas das plantas, principalmente devido a sua facilidade de cálculo (PERTILLE et al., 2019). Esses modelos são considerados empíricos, lineares e

baseados em uma concepção de fases únicas e sequenciais (acúmulo de frio ou acúmulo de calor – *one-phase model*), além de que assumem datas fixas pré-estabelecidas para cálculo de acúmulo de frio e calor. Em regiões com grande acúmulo de frio, esses modelos conseguem estimar, com certa precisão, datas fenológicas das fruteiras. Porém em regiões de clima mais ameno e regiões frias afetadas com as mudanças climáticas, esse modelos não apresentam eficácia (LUEDELING, 2012; CHUINE et al., 2016).

Entende-se atualmente que o efeito da temperatura sobre a dormência é de carácter dinâmico com efeito duplo (CHUINE et al., 2016). Temperaturas baixas são necessárias para induzir a transição entre paradormência e endodormência, assim como temperaturas altas são necessárias para a superação da ecodormência. Porém, pode-se encontrar diferentes interações entre essas temperaturas, sendo que uma pode compensar a outra (KAUFMANN; BLAKE, 2019).

Modelos mais atuais são baseados na interação entre as temperaturas no período de resfriamento e temperaturas na fase de forçagem. Esses modelos são, portanto, de efeito duplo (*two-phase model*), e podem ser divididos em alternados, paralelos, sequenciais e flexíveis (MALAGI, 2014).

Modelos sequenciais assumem que, quando acúmulo de frio da planta é satisfeita, a endodormência chega ao fim e a planta entra em fase de acumulação de calor (ecodormência). Portanto, a concepção inicial é de que, caso a exigência de frio não seja satisfeita, a brotação ou floração não ocorrerá. Porém, isso não pode ser considerado como regra, pois em climas amenos, que não apresentam acúmulo de frio suficiente, ocorre floração e brotação no campo, apesar de ser de baixa qualidade. Fu et al. (2012) consideram que os modelos sequenciais são apropriados para prever mudanças fenológicas, pois considera-se os efeitos de frio e calor. Quando ocorre a associação de modelos *one-phase*, pode-se considerar como um modelo do tipo sequencial. Modelos alternados (sobrepostos) também assumem datas fixas pré-estabelecidas para início do acúmulo de frio e calor, porém estes modelos consideram que pode ocorrer acúmulo de frio após o início da fase de forçagem, ocorrendo então sobreposição de efeitos de frio e calor (MURRAY et al., 1989; KRAMER, 1994). Com a combinação de modelos sequenciais e alternados, surgem os modelos flexíveis que apresentam uma estrutura igual aos modelos

sequenciais, porém com transição entre as fases de resfriamento e forçagem mais suave. Os modelos paralelos consideram os efeitos do frio e do calor simultaneamente durante a endodormência (MALAGI, 2014).

Outros estudos indicam a regressão de mínimos quadrados parciais (PLS – *Partial least Squares*) como nova proposta de modelo fenológico, com abordagem estatística (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a, b). A regressão PLS visa construir autovetores (componentes principais) que descrevem a maior parte da variação dos dados. O PLS é muito usado para interpretação de curvas de espectrometria e sensoriamento remoto (LUEDELING et al., 2013a). A análise é útil em situações com dados altamente correlacionados e quando o número de variáveis independentes são excessivamente maiores que as variáveis dependentes. Assim, para a análise entre eventos fenológicos (um evento anual) e temperaturas diárias, a metodologia se torna extremamente útil. Para aplicação da metodologia, os dados de temperatura do ar devem ser submetidos a pré-tratamento, com média móvel de 11 a 15 dias, para garantir o aparecimento de padrões claramente reconhecíveis nas análises de PLS (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a, b; GUO et al., 2015a, b; MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2017; GUO et al., 2019; YAACOUBI et al., 2020). Os coeficientes do modelo são selecionados por meio do valor de VIP (*Variable Importance in Projection*), sendo que valores acima de 0,8 é considerado adequado para avaliação de fenologia em fruteiras de clima temperado (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a, b).

A vantagem da análise de PLS é que não é exigido pré suposição sobre o processo de quebra de dormência (GUO et al, 2014), e permite identificar os períodos onde ocorreram acúmulo de frio e calor sem qualquer tipo de arbitrariedade (LUEDELING et al., 2013a, LUEDELING; GASSNER, 2012; GUO et al. 2015a). Identificando os períodos sensíveis à temperatura, é possível estabelecer modelos e/ou aplicar modelos de cálculo de acúmulo de frio e calor para estudar as necessidades de cada espécie frutífera.

3.3 HETEROGENEIDADE DE FLORAÇÃO E BROTAÇÃO

Quando não há condições adequadas para entrada e saída da dormência, ocorrem vários distúrbios na retomada do crescimento. Um destes distúrbios é a dessincronização de brotação, espacial e temporal, em nível de planta e ramo. Além da falta de sincronia, observa-se baixa brotação total, redução da área foliar por metro linear de ramo, extinção de gemas florais, que levam a diminuição da densidade de esporões laterais, dominância apical (forte crescimento acrótono), período de floração estendido e baixa fixação de frutos (PETRI; LEITE, 2004). As baixas taxas de brotações e dominância apical, podem levar ao desenvolvimento de arquitetura anormal da planta (DENNIS, 1987, LAURI, 2007).

Há ainda uma escassez de informações sobre as causas da heterogeneidade de brotação e floração em regiões de inverno ameno. Em áreas de cultivo tradicionais, como Europa, América do Norte e partes da Ásia, os aumentos na temperatura média global estão causando preocupação, sendo já evidenciado o avanço da brotação (HEIDE, 2003) e floração (GUÉDON; LEGAVE, 2008), a dessincronização da floração entre plantas produtoras e polinizadoras (GLEIZER et al., 2007), aumentos no risco de danos causados pela geada e reduzido acúmulo de frio (LUEDELING et al., 2011).

O prolongamento do período de crescimento da macieira representa dificuldade para manter equilíbrio entre a vegetação e frutificação e também pode causar problemas como o insuficiente lignificação dos tecidos, o que ocasiona vulnerabilidade a danos por congelamento. Além disso a brotação errática constitui um problema para a nutrição do fruto durante o seu desenvolvimento, além do acúmulo de reservas e formação de gemas, para a retomada de crescimento na primavera seguinte.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CULTIVARES ESTUDADAS

As cultivares utilizadas no estudo foram Galaxy (clone de Gala com alterações na epiderme do fruto e estrutura de planta), Fuji Suprema (clone de Fuji, com alteração monogênica na epiderme do fruto) e Eva.

Em 1969 foi encontrada uma mutação estável da cultivar Gala Standard, com melhoria na qualidade de fruto e patenteada em 1977 como 'Royal Gala'. Em 1985, uma mutação em 'Royal Gala' deu origem a cultivar Galaxy. A 'Galaxy' apresenta maior vigor de crescimento das plantas, maior produção acumulada, melhor coloração de epiderme e maior percentual de frutos grandes em relação à 'Gala' original. A cultivar Gala pertence ao grupo de cultivares com dormência profunda de alto requerimento de frio (HAUAGGE; CUMMINS, 1991a), em torno de 1064 ± 61 UF (HAUAGGE; CUMMINS, 1991b).

Em 1986, G. Della Maria, extensionista da EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), encontrou um ramo de 'Fuji' com frutos totalmente vermelhos, no município de Curitiba-SC. Após sucessivas multiplicações assexuadas, ficou comprovada a estabilidade da mutação, com epiderme de frutos com coloração vermelha uniforme cobrindo de 80 a 100% da superfície. Em 1996, essa seleção foi lançada pela EPAGRI e nomeada como 'Fuji Suprema'. A 'Fuji' é considerada uma cultivar com dormência profunda de alto requerimento de frio necessitando 1077 ± 74 (HAUAGGE; CUMMINS, 1991a, b) unidades de frio (UF) seguindo o modelo de previsão da saída de dormência da Carolina do Norte (SHALTOUT; UNRATH, 1983).

A cultivar Eva (IAPAR 75) é o resultado do cruzamento entre as cultivares Anna e Gala realizado em 1979 no IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná). Esta cultivar necessita de 300 à 350 horas de frio (HF), com possibilidades de cultivo em regiões com acúmulo médio de 50 à 500 HF e com baixa probabilidade de geadas tardias (HAUAGGE; TSUNETTA, 1999). Mesmo sem ocorrer temperaturas abaixo de $7,2$ °C, a cultivar Eva é capaz de completar o ciclo com boa produção (LOPES et al., 2012).

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS DE ESTUDO

Os estudos foram realizados em pomar comercial situado no município de Palmas – Paraná (26°31' Sul, 52°00' Oeste e 1.140 metros de altitude) e na região do Horizonte/Palmas – Paraná (26°33' Sul, 51°36' Oeste e 1.310 metros de altitude). O clima dos dois locais é classificado como Cfb, pela classificação de Köppen. As cultivares avaliadas foram Eva, Fuji Suprema e Galaxy no pomar do Lovo; Fuji Suprema e Galaxy no pomar do Horizonte. O pomar do Lovo foi implantado no ano de 1999 em sistema adensado (2.857 plantas ha⁻¹) com tutoramento para 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' sobre porta-enxerto 'M.9' e 'Eva' no sistema adensado (2.631 plantas ha⁻¹), sem tutoramento, com porta-enxerto 'Marubakaido' e inter-enxerto de 15 cm de 'M.9'. A disposição das cultivares no pomar Lovo é de duas filas de 'Gala' intercaladas com uma fila de 'Fuji', e a cultivar Eva apresenta como polinizadora a cultivar Princesa intercalada a cada 10 plantas de 'Eva'. O pomar do Horizonte foi implantado no ano de 2007 em sistema adensado (2.900 plantas ha⁻¹) com tutoramento e sobre porta-enxerto 'M.9', com disposição das cultivares de uma planta de 'Fuji' a cada 12 plantas de 'Gala' na fila. O pomar do Lovo não recebeu aplicação de produtos para quebra de dormência/estimuladores de brotação. O pomar do Horizonte recebeu aplicações de produtos para quebra de dormência e homogeneização de brotação. Foram aplicados: em 2018, 0,5% de óleo mineral, no dia 10 de setembro; em 2019, 0,52% cianamida hidrogenada + 3,5% de óleo mineral, no dia 28 de agosto e 2% de óleo mineral, no dia 9 de setembro; em 2020, 4% de óleo mineral, no dia 29 de agosto.

No período vegetativo da macieira em ambos os pomares, é realizado a aplicação de proexadiona cálcica, como redutor de crescimento, além da utilização de produtos baseados nos princípios ativos etefon, ácido giberélico, benziladenina e ANA, para raleio e melhoria da qualidade dos frutos. Os manejos de ambos os pomares são muito parecidos, embora haja diferenciação nas concentrações, formas e datas de aplicação de produtos. A poda dos pomares é parametrizada em retirada de ramos doentes e com grande crescimento vegetativo, preferencialmente no verão no pomar Lovo.

As temperaturas dos locais foram adquiridas por meio de estações do

Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) e por meio do sistema MERRA-2 (GELARO et al., 2017). Foi realizada a suavização das temperaturas diárias por meio de uma média móvel de 15 dias, reduzindo os ruídos ocasionados pela elevada amplitude de temperatura semanal

4.3 DINÂMICA DE DORMÊNCIA DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES

4.3.1 Tempo Médio de Brotação (TMB)

Nesta avaliação, foi realizado o teste com estacas de nós isolados (RAGEAU, 1978) utilizando ramos do tipo brindila em condição de campo. Foram realizadas coletas de amostras de brindilas nos pomares de abril a outubro, com intervalo de 15 dias entre coletas, nos anos de 2018 a 2020. Em cada data de coleta, 20 ramos foram seccionados em 4 porções equidistantes com 6 centímetros de caule abaixo e 1 cm acima da última gema vegetativa, sendo as demais gemas removidas e os ferimentos isolados com fita parafinada para evitar perda de água. As estacas foram colocadas em espuma fenólica umedecida e mantidas a 25 °C (± 1 °C) em câmara de crescimento com fotoperíodo de 16 horas. Foram registrados os tempos individuais das estacas, decorridos desde a colocação na câmara de crescimento até a brotação, considerado como brotado o estágio de ponta-verde (PV). A média destes tempos é o tempo médio de brotação (TMB).

Os dados de TMB são associados a endodormência pois remove-se a paradormência de longa distância (nó/gema isolada) e é suprimida a ecodormência na câmara de crescimento. Quando o TMB atinge 12 dias, a endodormência é considerada superada. Esse valor, foi previamente determinado por outros autores (RAGEAU, 1978; BONHOMME et al., 2000).

4.3.2 Modelagem da dinâmica do TMB

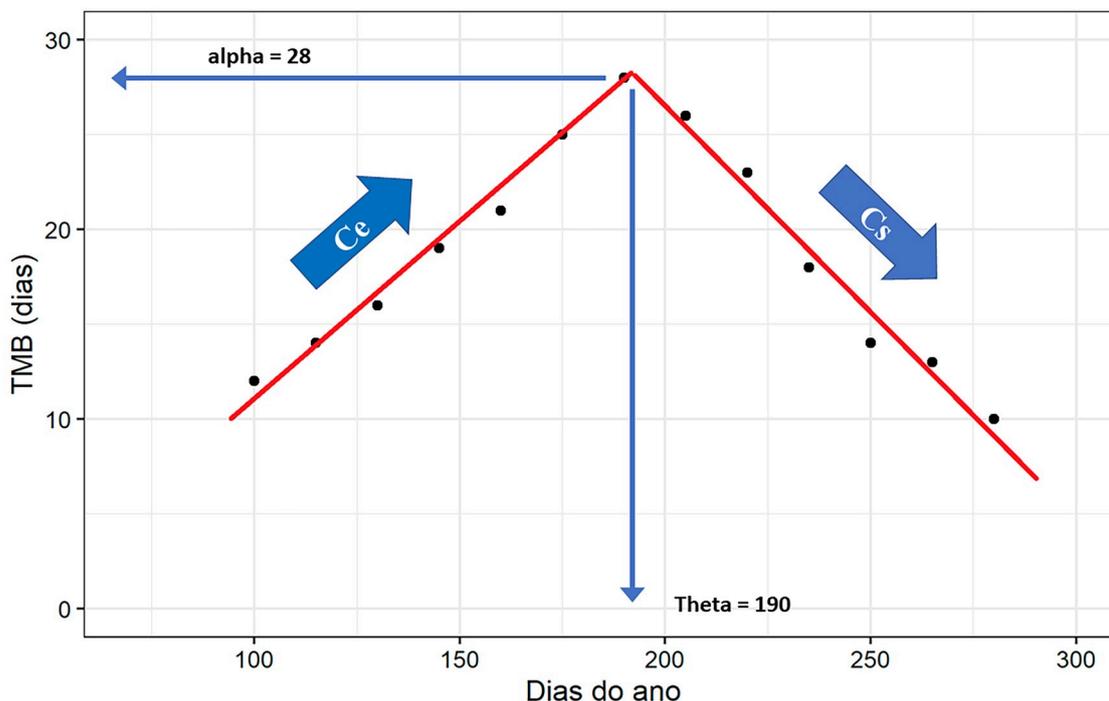
Os valores de TMB foram modelados em formato de sino ou “bell-

shaped” (COOK et al., 2017) (Figura 1). Foi utilizado um modelo linear com ponto de ruptura (break-point), utilizando a razão de verossimilhança condicional (CLR) como ferramenta para encontrar tal ponto na curva de TMB. O modelo geral é descrito como:

$$y = \alpha + C_e * \min(x - \theta, 0) + C_s * \max(x - \theta, 0) + e \quad (1)$$

sendo: y = valor estimado de TMB; α = valor de TMB no ponto de ruptura; C_e = coeficiente à esquerda do ponto de ruptura (Coeficiente de entrada); C_s = coeficiente à direita do ponto de ruptura (Coeficiente de saída); x = variável independente (dias julianos ou dias do ano); θ = valor de x quando y é igual ao α , ou seja, data de ocorrência da ruptura; e = erro residual.

Figura 1 – Exemplificação do modelo de break-point para análise da curva de TMB de macieiras, com demonstração dos valores de α , θ , C_e (coeficiente de entrada) e C_s (coeficiente de saída). UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



A significância do ponto de ruptura foi testada em relação a uma equação linear normal e o ajuste foi feito para se reduzir a soma dos quadrados do erro. Foi realizado a modelagem para cada porção do ramo (Base, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ e Ápice) dentro de contraste (cultivar x local x ano) para serem usados como repetição para

aplicação de comparação múltipla. Repetições com modelos break-point não significativos ($p \text{ value} \geq 0,05$) foram excluídos. Com a obtenção dos parâmetros dos modelos, foi possível, a partir deles, estimar o dia do ano limite para atingir o TMB de 12 dias (TMB12), considerado por alguns autores (RAGEAU, 1978; BONHOMME et al., 2000) como o TMB limite da dormência, ou seja, abaixo disso as gemas estariam aptas a brotar normalmente. A comparação dos parâmetros, extraídos dos modelos break-point e o TMB12, entre as cultivares (Gala e Fuji) e os locais (Lovo e Horizonte) foi realizada com base em um modelo misto, considerando como efeitos fixos as cultivares e os locais, e como efeito aleatório o ano.

Após a construção dos modelos mistos de cada parâmetro dos modelos break-point e o TMB12, estes foram submetidos ao teste de Wald, com a estatística F calculada com grau de liberdade do denominador (GLden) estimado por meio do método de aproximação Kenward-Roger. Posteriormente foram realizadas comparações múltiplas dos efeitos principais (Cultivar e Local) ou de suas interações, quando significativas, por meio de médias marginais estimadas. Quando constatado uma possível violação de pressupostos dos resíduos dos modelos, os dados foram transformados pela função de transformação Box-Cox.

Todas as análises foram realizadas em linguagem de programação R. A aplicação do modelo de break-point foi feita utilizando o pacote “lm.br” (ADAMS, 2017). A construção dos modelos mistos foi feita com o pacote “lme4” (BATES et al., 2015) seguido da análise de Wald por meio do pacote “car” (FOX; WEISBERG, 2019). O cálculo de R^2 marginal e R^2 condicional foram feitos com utilização do pacote “performance” (LÜDECKE et al., 2020). A manipulação, exploração e visualização dos dados foram realizadas com a coleção de pacotes Tidyverse (WICKHAM et al., 2019).

4.4 INTERAÇÃO DA TEMPERATURA NA DATA DE INÍCIO DE FLORAÇÃO DE CULTIVARES DE MACIEIRA

4.4.1 Fenologia

Foi realizado a avaliação fenológica utilizando os estádios da escala

BBCH para macieira (MEIER et al., 1994). A determinação foi realizada visualmente a cada 15 dias, até atingir o estadio de início de floração (BBCH 61).

4.4.2 Interação temperatura x fenologia

Um conjunto de dados de fenologia de 2012 até 2020 foi utilizado para modelagem da fenologia via regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS), no qual são utilizados dados de temperatura horárias anuais como preditores (variável independente) e as datas de início de floração como preditos (variável dependente). A regressão PLS visa construir autovetores (componentes principais) e a partir desses realizar regressão por mínimos quadrados ordinários. O uso de PLS é extremamente útil em situações com preditores correlacionados e com maior dimensão em relação aos preditos. A análise de PLS foi realizada para identificar períodos essenciais diretamente correlacionados com a época de floração, evidenciando as épocas, quando presentes, de resposta ao frio (resfriamento) e calor (forçagem). Para aplicação da metodologia, os dados de temperatura do ar foram submetidos a pré-tratamento (LUEDELING; GASSNER, 2012), cujas temperaturas horárias foram reduzidas às médias diárias e realizado a suavização das temperaturas diárias por meio de média móvel de 15 dias, reduzindo os ruídos ocasionados pela elevada amplitude de temperatura semanal. Esse pré-tratamento dos dados garante o aparecimento de padrões claramente reconhecíveis nas análises de PLS, assim como recomendado e implementado por diversos autores que usaram a metodologia (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a, b; GUO et al., 2015a, b; MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2017; GUO et al., 2019; YAACOUBI et al., 2020). Os coeficientes do modelo foram selecionados com base no valor de VIP (Variable Importance in Projection). Quando o valor de VIP no dia 'x' for superior a 0,8 considera-se que a temperatura média no dia 'x' teve efeito na variação da data de início de floração. Esse valor foi considerado adequado para avaliação de fenologia em fruteiras de clima temperado (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a, b).

Todas as análises foram construídas em linguagem de programação R. Para o cálculo de unidades de frio foi utilizado o pacote 'ChillModels' (PERTILLE et

al., 2019) e para a aplicação da metodologia da regressão PLS os pacotes “chillR” (LUEDELING, 2020) e ‘pls’ (MEVIK; WEHRENS; LILAND, 2018) foram utilizados para as estimativas dos parâmetros do modelo, construção dos gráficos dos coeficientes do modelo e dos gráficos de interação de temperaturas no resfriamento e forçagem com a data de início de floração.

4.5 FORMAÇÃO DE RAMOS DO TIPO BRINDILA E ESPORÃO EM DIFERENTES ALTITUDES

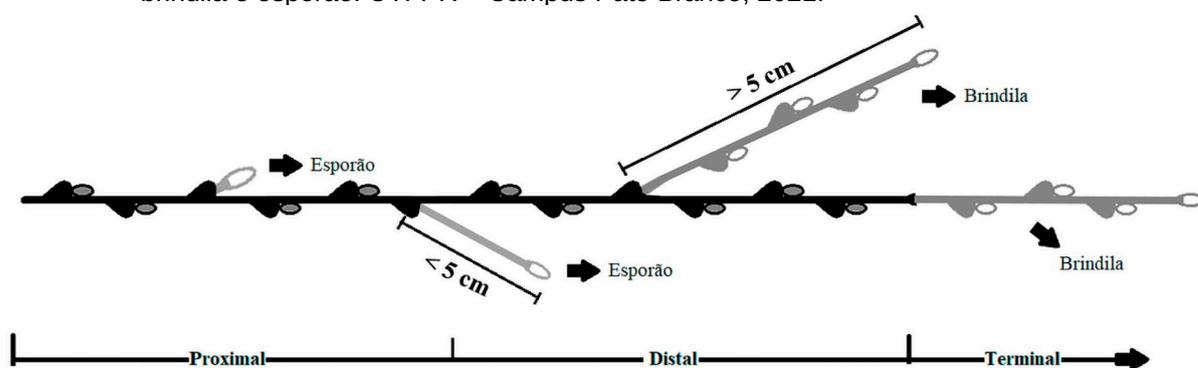
Foram marcados, nos anos de 2018 e 2019, no inverno, 5 ramos do tipo brindila de tamanho médio de 25 cm, em 5 plantas das cultivares Eva, Gala e Fuji no pomar do Lovo e Gala e Fuji no pomar do Horizonte. Nos invernos dos anos 2019 e 2020, os ramos marcados no inverno do ano anterior, foram coletados para realizar avaliação do crescimento de ramos.

Foram avaliados a presença ou ausência, e a quantidade de ramos do tipo brindila e esporões, nas porções terminal, distal e proximal (Figura 2). Foi realizado a mensuração do comprimento de cada brindila brotada. Com as frequências de brotação de cada tipo, foram realizadas estatísticas de qui-quadrado, para estabelecer se há diferenças dos locais e cultivares, entre as distribuições de frequência binárias (presença e ausência) de brotações do tipo brindila e esporões no conjunto de ramos avaliados. Foi realizado uma avaliação isolada do pomar do Lovo, para comparação entre as cultivares Eva, Gala e Fuji. Foi realizado também a proporção entre as frequências relativas de cada tipo de brotação, para cada porção dos ramos, em cada cultivar e local de cultivo. Para comparação do número de brindilas e esporões por metro linear de ramo entre locais para cada cultivar, foi utilizado teste F.

No ano de 2020, durante o inverno, foi realizado a contagem de esporões e brindilas totais de cinco plantas aleatórias das cultivares Gala e Fuji, em cada pomar. No pomar do Lovo foram avaliadas plantas com e sem aplicação de cianamida hidrogenada. O número de esporões e brindilas totais da planta foi dividido pela área de seção de tronco (AST), calculada através do diâmetro do caule aos 20 cm acima do solo.

As análises foram realizadas em linguagem de programação R. O teste F (ANOVA) foi realizado por meio do pacote “car” (FOX; WEISBERG, 2019) e manipulação, exploração e visualização dos dados foram realizadas com a coleção de pacotes Tidyverse (WICKHAM et al., 2019).

Figura 2 – Representação de um ramo do tipo brindila de um ano de idade, com demonstração das porções estabelecidas para avaliação e com representação de brotações laterais do tipo brindila e esporão. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



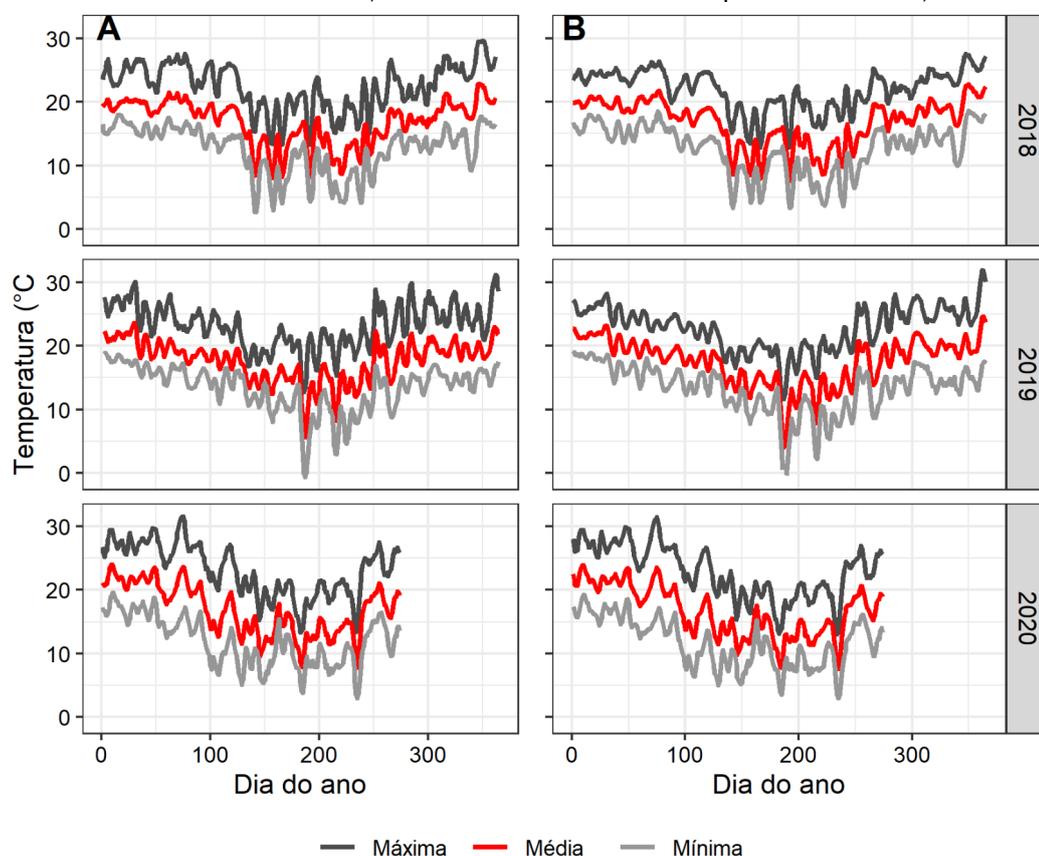
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DINÂMICA DE DORMÊNCIA DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES

5.1.1 Resultados

As temperaturas apresentaram grande variação entre os dias, típico em regiões de clima subtropical (Figura 3). Foi realizado uma média móvel de 15 dias para demonstração clara das temperaturas com menor ruído. Percebe-se que as temperaturas na região do pomar Lovo (Figura 3 – A), onde a altitude é menor, mantiveram-se com médias altas e com grande amplitude entre as máximas e mínimas diárias. No ano de 2019 ocorreu temperaturas elevadas durante todo o inverno, apresentando poucos dias com temperaturas abaixo de 10 °C.

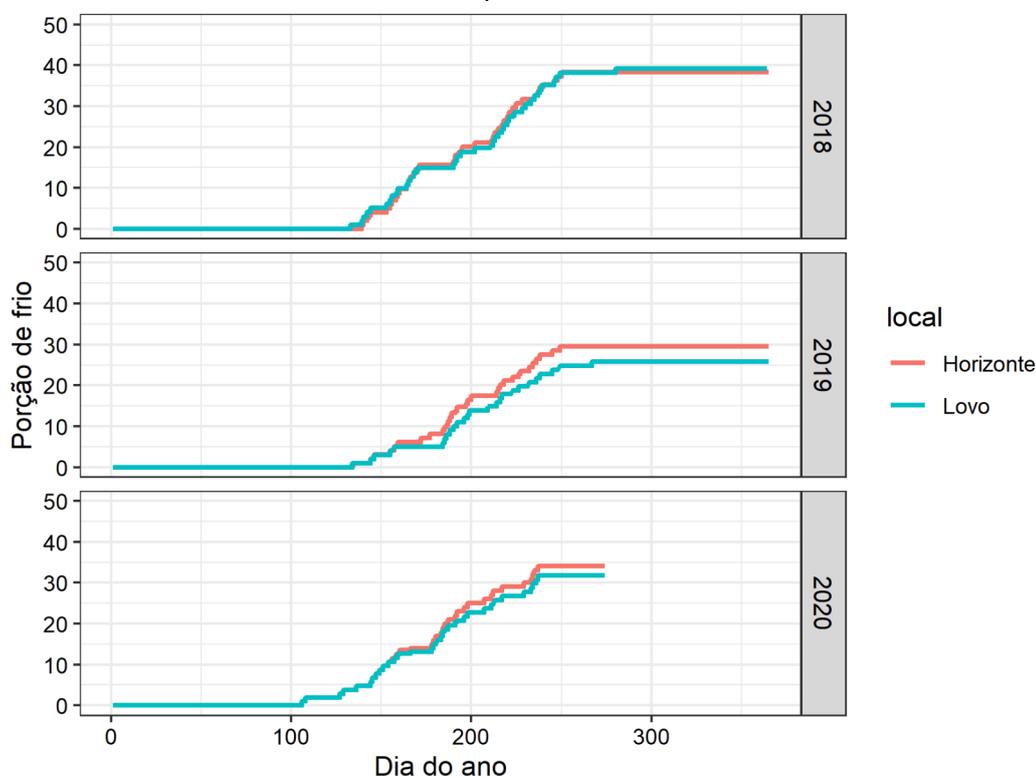
Figura 3 – Temperaturas máxima, média e mínima nos pomares Lovo (A) e pomar Horizonte (B) durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



No pomar Horizonte (Figura 3 – B), as temperaturas nos três anos, principalmente 2019, apresentaram médias pouco menores quando comparado com o pomar Lovo e com menor amplitude térmica, ou seja, temperaturas máximas e mínimas mais próximas. Também é possível visualizar grandes períodos com baixas temperaturas (abaixo de 10 °C), principalmente nos anos de 2018 e 2020, atingindo temperaturas próximas a 0 °C, como no ano de 2019.

As porções de frio calculadas durante os anos tiveram pouca variação entre os locais (Figura 4). O ano de 2019 apresentou menor e mais tardio acúmulo de porções de frio entre os anos, com pequena diferença entre os locais, acumulando aproximadamente 30 porções no pomar Horizonte e 26 porções no pomar Lovo. Essa pequena diferença pode estar associada a fonte de dados de temperatura utilizada, que apresenta pequena precisão espacial. Também, é possível que o modelo dinâmico não tenha sido adequado para identificar diferenças no microclima presente no pomar Horizonte.

Figura 4 – Porções de frio (FISHMAN et al., 1987) nos pomares Lovo e Horizonte durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Os modelos de break-point para avaliação foram eficientes nos ajustes em sua maioria, com R^2 acima de 0,7, com exceção das cultivares Eva, em todos os

anos avaliados (Figura 5 – A, B e C), e Gala do pomar Lovo, em 2018, que apresentaram um baixo ajuste do modelo (Figura 5 – D). Observa-se variação entre os anos, principalmente nos parâmetros: coeficiente de entrada (Ce), Theta e coeficiente de saída (Cs), para maioria das cultivares (Tabela 1). No ano de 2019 o parâmetro Theta teve um distanciamento em comparação com os demais anos em todas as cultivares em todos os locais. Em 2019, as cultivares apresentaram uma distância maior entre a data de desfolha (q) e Theta, indicando que não houve alteração expressiva da data de Theta em função da data de desfolha, pois a desfolha manteve-se próxima às médias dos demais anos.

Tabela 1 – Tabela de valores dos parâmetros Coeficiente de entrada (Ce), Alpha, Theta, Coeficiente de saída (Cs), data limite estimada para atingir TMB 12 dias (TMB12) obtidos pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB de cultivares de macieira cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

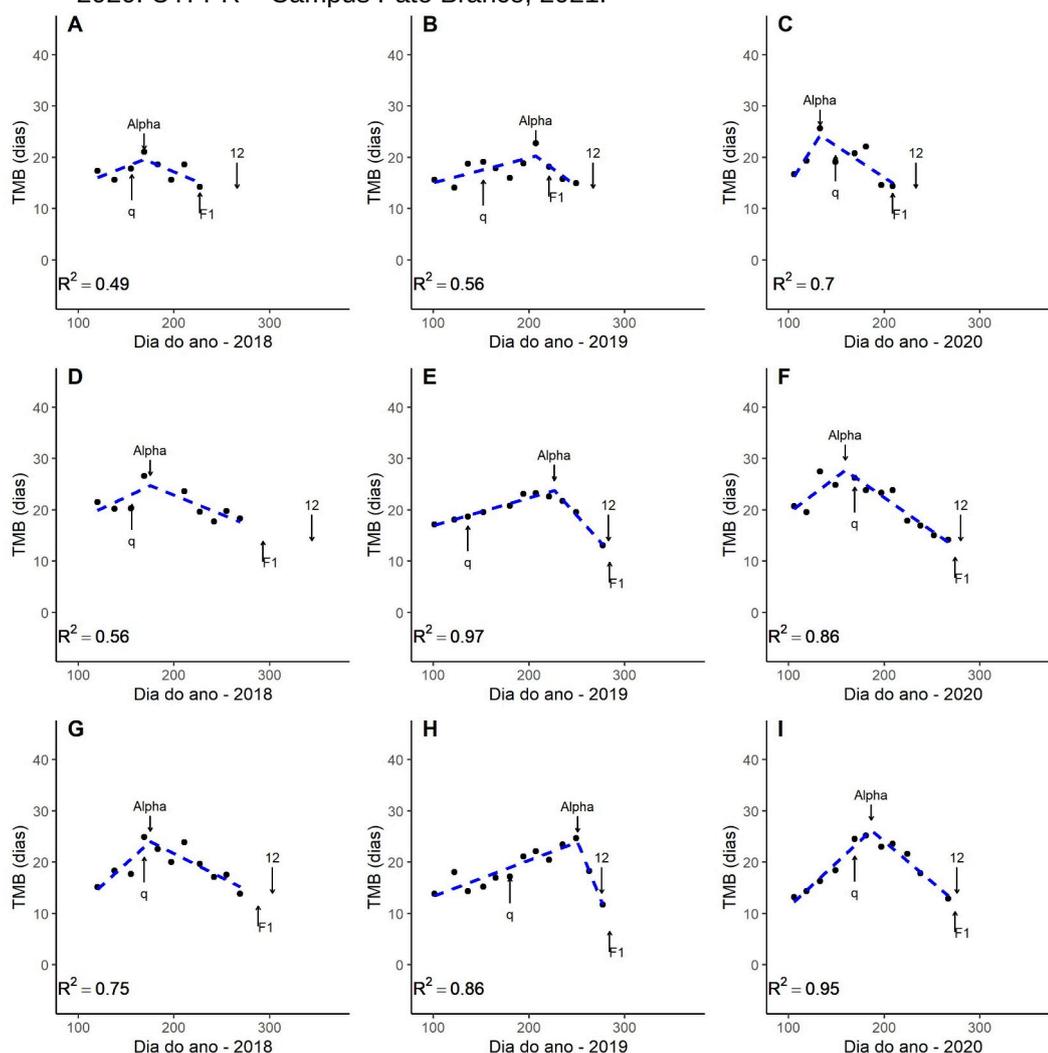
Ano	Ce	Alpha	Theta	Cs	TMB12	<i>p value</i> *
Eva Lovo						
2018	0.0728	19.6	169	-0.0782	266	0.309
2019	0.0486	20.3	207	-0.1381	267	0.073
2020	0.2961	24.3	133	-0.1227	233	0.137
Fuji Lovo						
2018	0.1695	24.0	175	-0.0939	303	0.011
2019	0.0701	23.9	251	-0.4631	276	< 0.001
2020	0.1727	26.2	187	-0.1587	276	< 0.001
Gala Lovo						
2018	0.0874	24.7	175	-0.0753	344	0.278
2019	0.0539	23.7	227	-0.2086	283	< 0.001
2020	0.1404	27.7	159	-0.1304	280	0.004
Gala Horizonte						
2018	0.2811	28.9	158	-0.1482	272	0.002
2019	0.1101	28.7	207	-0.2915	264	0.010
2020	0.7828	34.9	127	-0.1700	261	0.005
Fuji Horizonte						
2018	0.1750	25.5	169	-0.1188	283	0.004
2019	0.1065	29.2	211	-0.4310	251	0.001
2020	0.1379	27.7	190	-0.2652	250	0.001

* *p value* referente a probabilidade de apresentar ou não ponto de ruptura quando comparado a um modelo linear normal.

As datas de brotação em campo (F1) e a estimativa de TMB12 sempre foram muito próximas, independente do ano, para as cultivares Gala e Fuji, independente da altitude de cultivo (Figuras 5 e 6), com exceção da Gala e Eva no pomar Lovo no ano de 2018, que apresentaram distanciamento elevado das duas

datas. O modelo para Gala cultivada no pomar Lovo durante o ano de 2018 (Figura 5 – D) apresentou baixo ajuste aos dados de TMB (R^2 0,56) e não obteve significância relevante no ajuste do modelo, assim como a cultivar Eva, provavelmente ocasionando um maior erro na estimativa de TMB12 (Tabela 1).

Figura 5 – Modelo *break-point* ajustado ao tempo médio de brotação (TMB) da cultivar Eva (A, B e C), Gala (D, E e F) e Fuji (G, H e I) no pomar Lovo durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

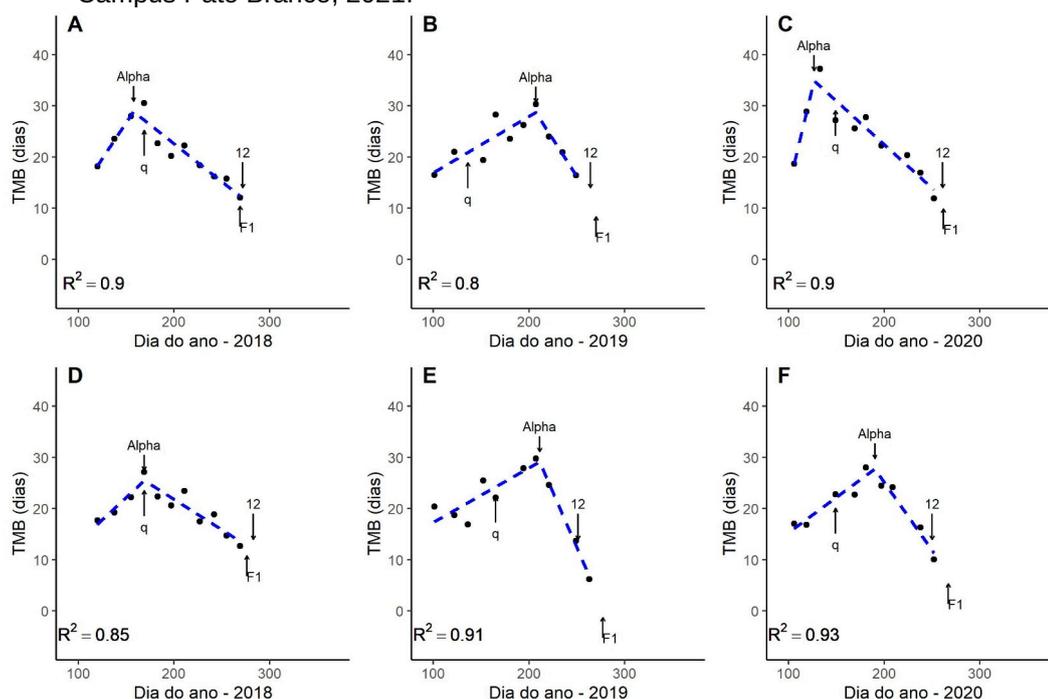


q – Queda de folhas; F1 – data de início de brotação; 12 – data estimada pelo modelo para o TMB atingir 12 dias; Alpha – valor máximo de TMB.

Os valores de Alpha foram também variáveis conforme o ano (Tabela 1). A cultivar Eva apresentou os menores valores de Alpha na média dos anos, e embora apresente curvatura passível de encontrar ponto de ruptura e estimar Alpha, as significâncias dos modelos foram baixas, o que indica baixa probabilidade da curva de TMB apresentar esse ponto de ruptura e conseguir estimar Alpha corretamente,

ou seja, não apresentou um pico de dormência no período avaliado. A não presença de curvatura típica de TMB e a impossibilidade de inferir corretamente sobre os parâmetros ora ajustados para a cultivar Eva, impede a comparação destes com os parâmetros ajustados das demais cultivares e locais.

Figura 6 – Modelo *break-point* ajustado ao tempo médio de brotação das cultivares Gala (A, B e C) e Fuji (D, E e F) no pomar Horizonte durante os anos de 2018, 2019 e 2020. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



q – Queda de folhas; p – Alpha; F1 – data de início de brotação; 12 – data estimada pelo modelo para o TMB atingir 12 dias; Alpha – valor máximo de TMB.

A aplicação do modelo misto e posterior teste de Wald demonstrou interação significativa entre cultivares (Gala e Fuji) e locais (pomares Lovo e Horizonte), nos parâmetros C_e , Alpha e Theta (Tabela 2). O parâmetro C_s e a estimativa de TMB12 não apresentaram interação significativa entre cultivares e locais, mas apresentaram significância para os efeitos principais isolados. As estimativas de R^2 marginal (efeitos fixos) e R^2 condicional (efeitos fixos + aleatório) demonstram que os valores de C_e , Alpha e TMB12 apresentam maior influência dos efeitos fixos nas suas variâncias do que o efeito aleatório, ao contrário de Theta e C_s que apresentam grande influência do efeito aleatório nas suas variâncias (Tabela 2). Os anos tiveram pouca influência na variância de Alpha.

Tabela 2 – Tabela de *p values* para efeitos fixos (Cultivar e Local) obtidos pela análise de Wald, para os parâmetros obtidos pelo modelo de *break-point*, a partir do tempo médio de brotação (TMB) de duas cultivares de macieiras cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

FV	GLnum*	Ce	Alpha	Theta	Cs	TMB12
Cultivar (C)	1	..**	-	-	0,0185	0,0164
Local (L)	1	-	-	-	0,0092	0
C x L	1	0,0001	0,0455	0,034	0,7123	0,2107
CV (%)		6,81	0,16	26,1	11,69	36,79
R ² m [†]		0,361	0,442	0,291	0,128	0,457
R ² c ^{††}		0,620	0,592	0,661	0,623	0,678

* Graus de liberdade do numerador. Os graus de liberdade do denominador, para realização da estatística F, foram estimados com base no método de aproximação de Kenward-Roger. ** Havendo interação significativa entre os efeitos as estimativas de *p value* dos efeitos principais não são interpretáveis. [†]R² marginal: influência de efeitos fixos. ^{††}R² condicional: influência de efeitos aleatórios + fixos.

O parâmetro Ce não apresentou diferença significativa entre as cultivares Gala e Fuji cultivadas no pomar Lovo (Tabela 3). A cultivar Gala apresentou maior valor de Ce quando cultivada no pomar Horizonte, sendo inclusive superior a 'Fuji', cujo valor de Ce não diferiu entre os locais.

Os valores de Alpha não apresentaram diferenças significativas entre as cultivares, nos dois locais estudados. Já na comparação entre locais a cultivar Gala, no pomar Horizonte, apresentou valor superior de Alpha em comparação ao cultivo no pomar Lovo. Já a cultivar Fuji não apresentou diferenças no valor de Alpha entre os locais.

Tabela 3 – Coeficiente de entrada (Ce), parâmetros Alpha e Theta estimados pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB de cultivares Gala e Fuji cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

	Ce		Alpha		Theta	
	Lovo	Horizonte	Lovo	Horizonte	Lovo	Horizonte
Gala	0,1027 [†] Ab*	0,4505 Aa	25,0 Ab	31,18 Aa	192,95 Aa	157,37 Bb
Fuji	0,1290 Aa	0,1076 Ba	24,75 Aa	27,08 Aa	210,49 Aa	207,45 Aa

* Letras diferentes maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem entre si por estimativa de mínimos quadrados médios obtidos a partir de modelo linear misto, utilizando como *p value* referência ≤ 0.05 . Efeitos fixos: Cultivares e Locais; Efeito aleatório: Ano. Valores gerados pela média de parâmetros estimados para quatro porções dos ramos.

As cultivares não diferiram no seu valor de Theta no pomar Lovo. Já no Horizonte, a cultivar Fuji apresentou valor de Theta superior a cultivar Gala. Os valores de Theta diferiram entre locais apenas na cultivar Gala, obtendo maior valor quando foi cultivada no pomar Lovo.

O parâmetro Cs apresentou diferença significativa entre os locais, obtendo menor valor (maior velocidade de decréscimo do TMB) no Horizonte

(Tabela 4). Em relação as cultivares o decréscimo de TMB foi significativamente maior para a cultivar Fuji. O pomar Lovo apresentou estimativa de TMB12 superior ao pomar Horizonte, assim como a cultivar Gala teve valor significativamente superior de TMB12 em comparação a cultivar Fuji.

Tabela 4 – Coeficiente de saída (Cs) e dia do ano para chegada ao TMB 12, estimados pelo modelo de *break-point*, a partir do TMB da cultivares Gala e Fuji cultivadas em dois locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

	Cs		TMB 12	
Horizonte	-0,3614	A*	265,14	B
Lovo	-0,2948	B	293,05	A
Gala	-0,2287	B	282,56	A
Fuji	-0,4026	A	276,50	B

* Letras diferentes maiúsculas na coluna diferem entre si por estimativa de mínimos quadrados médios obtidos a partir de modelo linear misto, utilizando como *p value* referência ≤ 0.05 . Efeitos fixos: Cultivares e Locais; Efeito aleatório: Ano.

5.1.2 Discussão

A dinâmica do TMB é claramente variável entre cultivares, anos e locais. A cultivar Eva não demonstrou curva típica de entrada e saída de dormência, não sendo possível estabelecer o pico de dormência (Alpha) com significância. Por este motivo, não é possível afirmar que a cultivar Eva apresenta endodormência profunda (*d-endodormancy*), além de apresentar brotação rápida na ocorrência de altas temperaturas que normalmente ocorrem durante o inverno. Assim, a planta entra rapidamente em ecodormência após uma ligeira acumulação de frio. Essa ecodormência pode ser curta caso ocorra ondas de calor extensas durante essa fase. Em alguns anos, é possível que a cultivar Eva, cultivada em locais como o pomar Lovo, apresente apenas uma ligeira passagem entre as fases de endodormência superficial (*s-endodormancy*) e ecodormência, e atinja a fase de paradormência, que acaba se tornando predominante no processo de brotação (MALAGI et al., 2015; SCHMITZ et al., 2015; PERTILLE et al., 2021). O fato dessa cultivar não apresentar dormência profunda é fator para considerar como cultivar adaptada a regiões mais quentes. Também a ocorrência de doenças como a mancha foliar de marssonina (*Diplocarpon mali* Harada & Sawamura) fazem com que as folhas de 'Eva' caiam precocemente, principalmente em anos muito chuvosos

e quentes no verão-outono, fazendo com o processo de entrada em *s-endodormancy* e a passagem para a ecodormência sejam ainda mais precoces, e torne a planta mais propensa a brotações e florações antecipadas. As cultivares Gala e Fuji apresentaram dormência pouco mais profunda quando comparada com 'Eva', podendo-se estabelecer os picos de dormência durante o inverno. Embora os modelos demonstrem curvatura típica, os valores de TMB ainda são baixos perto dos valores de TMB das mesmas cultivares em locais de clima temperado (MALAGI et al., 2015; YAACOUBI et al., 2016). A variável Alpha demonstrou grande influência dos efeitos de cultivar e local, sem grande influência dos efeitos aleatórios dos anos, ao contrário da entrada de dormência (C_e) e da saída de dormência (C_s) que apresentaram influência moderada e alta, respectivamente, dos efeitos dos anos em seus valores (Tabela 2). Em outras palavras, a profundidade de dormência não foi alterada nos anos estudados, porém a ocorrência do pico de dormência sim, antecipando ou retardando, conforme a ocorrência do frio acumulado. Isto pode indicar possível plasticidade das plantas em ajustar sua curva de TMB a ponto de que em anos ou locais que apresentem pouco frio no inverno, assim como foi em 2019, atrasem o estabelecimento da dormência, com baixa velocidade de entrada (C_e), e recuperem sua capacidade para brotar rapidamente com alta velocidade de saída (C_s). Esse efeito pode ser atribuído a possível substituição da necessidade do frio pelo acúmulo de calor (KAUFMANN; BLAKE, 2019). Cook et al. (2017) demonstraram que os locais com diferentes altitudes influenciaram pouco na taxa de entrada de dormência, mas tiveram grande influência na taxa de saída de dormência, sendo essa taxa a responsável por determinar o dia da saída de dormência, que foi diferente apenas entre os locais de cultivo. Em anos ou locais com mais acúmulo de frio no final de outono, como 2018 e 2020, o estabelecimento da dormência foi rápido, o que ocasionou um lento decréscimo do TMB posterior ao pico de dormência. O rápido estabelecimento da dormência, com as baixas temperaturas de outono, é necessário para a aclimação da planta ao frio, atingindo o estado máximo de tolerância ao frio em pleno inverno, quando as temperaturas chegam aos seus mínimos anuais (VITASSE et al., 2014; LONDO; KOVALESKI, 2019). Cultivares que apresentam baixa necessidade de frio e que não apresentam dormência profunda, como a cultivar Eva, em momentos de elevação de

temperatura, ainda no inverno, antecipam floração e brotação, tornando a planta susceptível a danos por frio durante a brotação, polinização e fixação de frutos (FERNANDEZ et al., 2020). Também como consequência da falta de aquisição de tolerância ao frio, com tecidos hidratados em pleno inverno, é que diminuições extremas das temperaturas podem ocasionar morte de tecidos dos ramos, gemas ou até severos danos por embolismo do xilema caso não haja uma suficiente concentração de carboidratos na seiva do xilema (CHARRIER et al., 2013; 2018).

O local influenciou nas dinâmicas do TMB principalmente para a cultivar Gala. No Horizonte, a cultivar Gala apresentou rápida entrada em endodormência (Ce), elevação do TMB no pico de endodormência (Alpha) e menor tempo para alcançar o pico de endodormência (Theta), demonstrando ser uma cultivar responsiva à mudança do ambiente de cultivo. A cultivar Fuji não mostrou-se responsiva na dinâmica do TMB em relação a mudança do ambiente de cultivo. Mesmo com necessidades de frio parecidas entre 'Gala' e 'Fuji', outros fatores fisiológicos podem estar influenciando de forma relevante na curva de TMB, desde a percepção do frio e a sua negação por altas temperaturas, até diferenças genótípicas nos processos de controle trófico (COOK et al., 2017). Isso pode ser problema quando esta cultivar é utilizada como polinizadora da cultivar Gala, como é no pomar do Horizonte, pois pode apresentar dessincronia na época de plena floração e brotação entre cultivares, ou ocorrer grande competição entre os processos de brotação e floração, causando diminuição na polinização e fixação de fruto (CAMPOY et al., 2011).

A estimativa de TMB₁₂ pelos modelos demonstrou claramente que o cultivo em locais mais frios, faz com que ocorra adiantamento da brotação das plantas, em ambas as cultivares. O adiantamento da brotação pode ter sido influenciado também pela aplicação de óleo mineral e ou cianamida hidrogenada, utilizados no pomar do Horizonte. A aplicação de estimuladores da brotação pode acelerar a brotação, fazendo com que gemas médias e basais brotem ao mesmo tempo que as gemas apicais, uniformizando a brotação ao longo dos ramos. No ano de 2019, em que houve a utilização de cianamida hidrogenada + óleo mineral em altas concentrações no pomar do Horizonte, percebeu-se um rápido decréscimo do TMB, mesmo com valores de Alpha altos (Figura 6B e 6E).

5.2 INTERAÇÃO DA TEMPERATURA NA DATA DE INÍCIO DE FLORAÇÃO DE CULTIVARES DE MACIEIRA

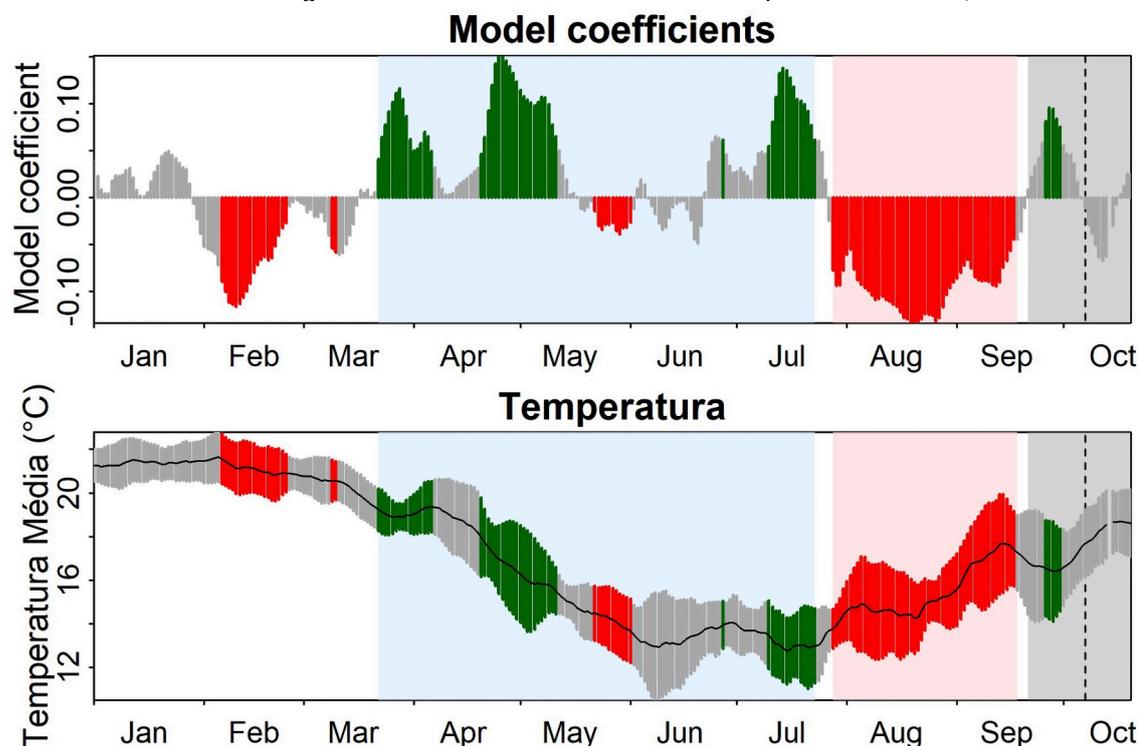
5.2.1 Resultados

Apesar das grandes variações de temperatura durante o ano e entre anos, a análise PLS demonstrou ser eficiente em estabelecer as correlações entre os eventos fenológicos (data de floração) e as temperaturas diárias.

Os coeficientes dos modelos e as temperaturas médias móveis de 15 dias foram apresentadas graficamente (Figuras 7 a 9). A correlação positiva nos coeficientes do modelo, destacado em cor verde, demonstram que a temperatura média nesse período atrasou o início de floração, ou seja, quanto maior a temperatura maior o atraso na floração. A correlação negativa, destacado em cor vermelho, demonstra que as temperaturas médias anteciparam o início da floração, sendo que quanto maior a temperatura, maior a antecipação da floração. Assim é possível, através da análise de PLS, estabelecer o período onde ocorreu possível acúmulo de frio (resfriamento) e o período onde ocorreu acúmulo de calor (forçagem).

Na análise de PLS para a cultivar Gala é possível identificar de forma clara as fases de resfriamento e forçagem (Figura 7). Nos períodos compreendidos de 21 de Março até 10 de Maio, e de 25 de Junho até 22 de Julho, apresentou majoritariamente coeficientes significativos positivos. Entre 21 de Março até 22 de Julho a análise apresentou pequenos períodos sem significância e um período de poucos dias onde houve coeficientes negativos com significância, porém esse período total foi reconhecido como o período de resfriamento. O período de forçagem foi identificado logo após o término do período de resfriamento, apresentando coeficientes negativos e significativos de forma contínua entre os dias 27 de Julho e 17 de Setembro, terminando o período de forçagem pouco antes do início da faixa de variabilidade anual das datas de floração da cultivar Gala. O período de resfriamento e de forçagem tiveram duração de 123 dias e 52 dias, respectivamente.

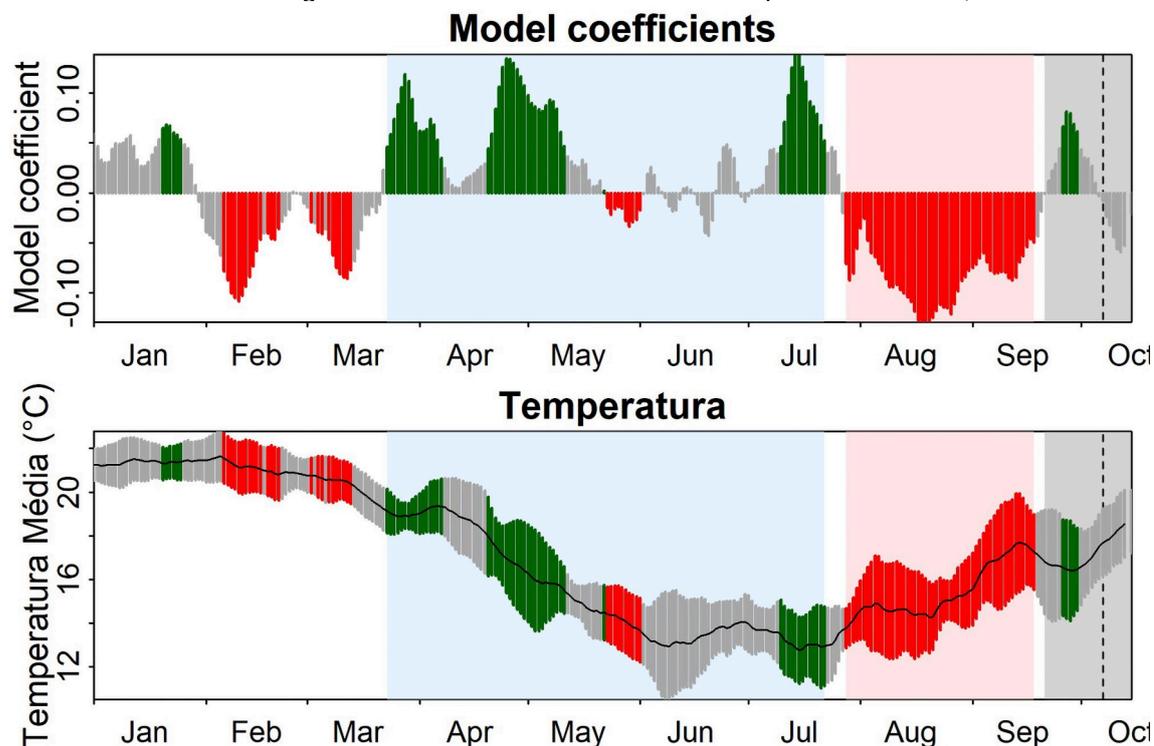
Figura 7 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Gala cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Períodos coloridos de verde ou vermelho indicam valores de VIP acima de 0,8. A cor verde indica correlação positiva da temperatura média com a data de início de floração; A cor vermelha indica correlação negativa da temperatura média com a data de início de floração. Os períodos sombreados com coloração azul e rosa representam os períodos determinados arbitrariamente pelo autor como período de resfriamento (acúmulo de frio) e período de forçagem (acúmulo de calor), respectivamente. As linhas pontilhadas representa a data de início de floração média e a sombra acinzentada representa a variação da data entre os anos avaliados (2012 a 2020).

A análise de PLS para a cultivar Fuji foi parecida com a da cultivar Gala, com pequenas variações entre os anos nas datas de floração (Figura 8). Os períodos compreendidos de 22 de Março até 9 de Maio, e de 26 de Junho até 21 de Julho, apresentaram majoritariamente coeficientes significativos positivos, sendo essa fase compreendida por esses dois períodos, considerada como período de resfriamento, com 121 dias de duração. O período de forçagem identificado, com coeficientes negativos de forma contínua, foi entre os dias 27 de Julho e 17 de Setembro, com duração de 52 dias.

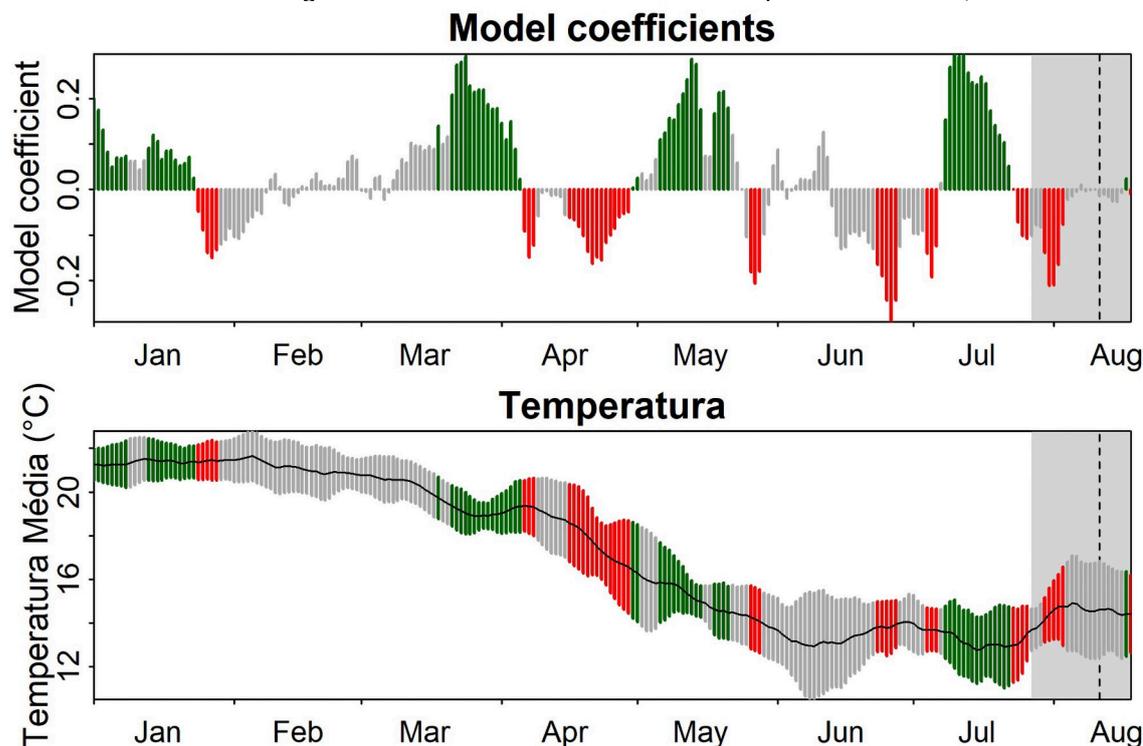
Figura 8 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Fuji cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Períodos coloridos de verde ou vermelho indicam valores de VIP acima de 0,8. A cor verde indica correlação positiva da temperatura média com a data de início de floração; A cor vermelha indica correlação negativa da temperatura média com a data de início de floração. Os períodos sombreados com coloração azul e rosa representam os períodos determinados arbitrariamente pelo autor como período de resfriamento (acúmulo de frio) e período de forçagem (acúmulo de calor), respectivamente. As linhas pontilhadas representa a data de início de floração média e a sombra acinzentada representa a variação da data entre os anos avaliados (2012 a 2020).

Na cultivar Eva (Figura 9), o período compreendido entre 17 de Março até 21 de Julho apresentou, descontinuamente, coeficientes positivos significativos ($VIP > 0,8$). Essa correlação positiva dos coeficientes demonstra que as temperaturas altas atrasaram o início da floração da cultivar. Durante esse grande período responsivo a temperaturas, tiveram pequenos períodos onde as temperaturas médias tiveram correlações negativas e significativas. Estes períodos foram durante os meses de Abril, final de Maio, fim de Junho, início e final de Julho. Embora os coeficientes nesses períodos tenham sido significativos, eles apresentaram-se em um pequeno período e com pouca magnitude dos coeficientes. O período quando as correlações foram positivas é considerado, neste caso, como o período de resfriamento, ou seja, período quando a planta apresenta-se responsiva ao frio e ao seu acúmulo.

Figura 9 – Coeficientes do modelo de PLS e temperatura média durante a dormência da cultivar Eva cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Períodos coloridos de verde ou vermelho indicam valores de VIP acima de 0,8. A cor verde indica correlação positiva da temperatura média com a data de início de floração; A cor vermelha indica correlação negativa da temperatura média com a data de início de floração. As linhas pontilhadas representa a data de início de floração média e a sombra acinzentada representa a variação da data entre os anos avaliados (2012 a 2020).

O período de resfriamento, aqui considerado, teve duração de 126 dias. O período com coeficientes negativos após esta fase de resfriamento, considerando um modelo linearizado, seria o período de forçagem. O período compreendido entre 22 de Julho e 2 de Agosto apresentou coeficientes negativos e com significância. Embora esteja inserido dentro da faixa de variabilidade anual das datas de floração, foi considerado como o período de forçagem, com duração de 11 dias. O período com coeficientes significativos e positivos observado durante o mês de Janeiro não apresentou ter efeito biológico claro.

Os modelos lineares entre as datas de floração e as temperaturas médias nos períodos de resfriamento e de forçagem (Tabela 5) tiveram bons desempenhos para explicar as interações dos acúmulos de frio e calor na alteração da data de floração. As cultivares Gala e Fuji apresentaram bons ajustes, principalmente no modelo conjunto, com os efeitos das temperaturas médias do período de resfriamento e de forçagem. A cultivar Gala apresentou um R^2 de 0,9515 no modelo conjunto, enquanto a cultivar Fuji apresentou um R^2 de 0,8985. Nos

modelos isolados, o efeito das temperaturas médias no período de resfriamento não foi significativo, e portanto não apresentou influência isolada na alteração das datas de floração de ambas as cultivares. Já o modelo com apenas a temperatura de forçagem, em ambas as cultivares Gala e Fuji, apresentou significância, porém com porcentagem de explicação menor, com valores R^2 de 0,7822 para a cultivar Gala e 0,7223 para a cultivar Fuji. Pode-se afirmar assim que as temperaturas médias no período de forçagem apresentaram influência significativa na alteração da data de floração com mais de 70% do efeito total. Porém quando as temperaturas de forçagem foram associadas com as temperaturas no período de resfriamento, obteve-se grande explicação do modelo. Portanto as mudanças nas datas de floração foram, predominantemente, causadas pela interação entre as temperaturas nos períodos de resfriamento e forçagem.

Excepcionalmente, a cultivar Eva apresentou baixa significância dos modelos, tanto nos modelos isolados, com apenas temperaturas no período de resfriamento ou no período de forçagem, quanto no modelo conjunto com as temperaturas de ambos os períodos. Esta baixa significância impede de estimar a data de floração da cultivar Eva utilizando as temperaturas médias no período de resfriamento e forçagem, de forma linear.

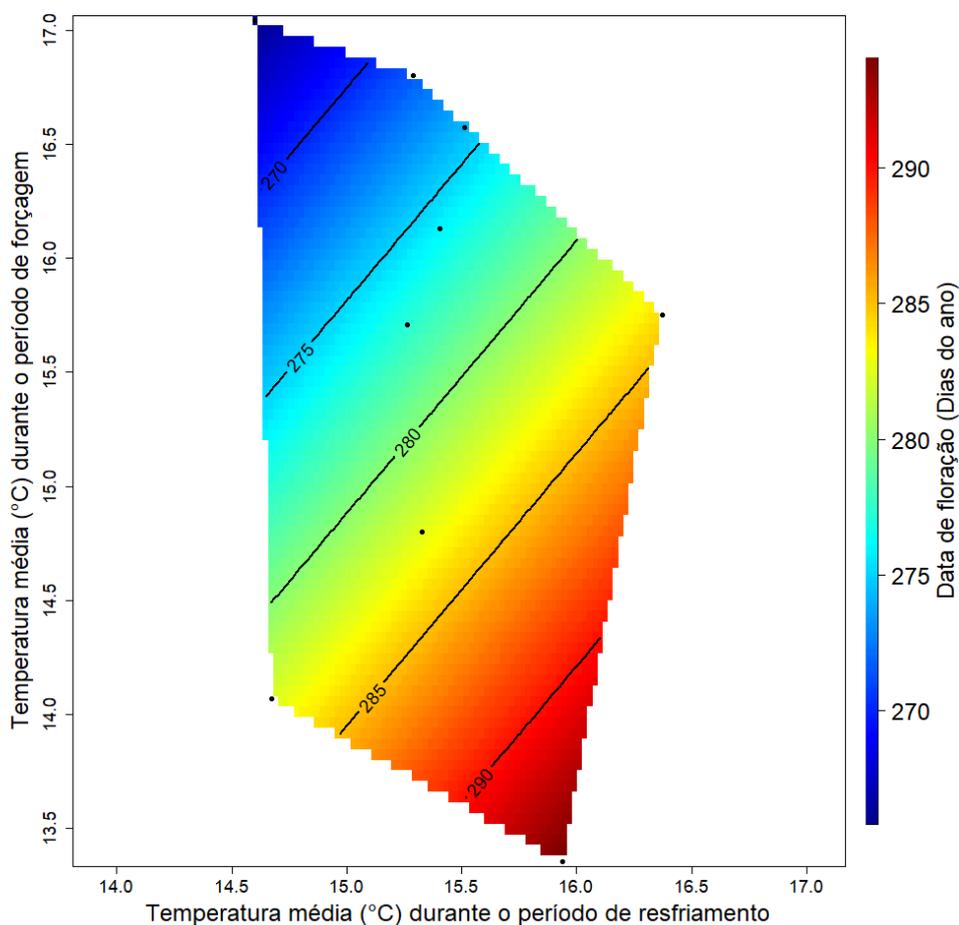
Tabela 5 – Modelos lineares univariados e bivariados, entre datas de início de floração e temperaturas médias durante os períodos de resfriamento (TMR) e forçagem (TMF) das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

Cultivar	Coeficientes			p value	R^2
	Intercepto	TMR	TMF		
Gala	143,745	8,775	-	0,1058	0,3298
	370,632	-	-5,902	0,0015	0,7822
	263,7028	6,4074	-5,3627	<0,001	0,9515
Fuji	155,161	8	-	0,0962	0,3452
	356,537	-	-5,033	0,0037	0,7223
	258,4768	5,8439	-4,5042	0,0010	0,8985
Eva	142,346	5,034	-	0,4009	0,1025
	235,82	-	-1,11	0,8212	0,0078
	159,809	7,412	-3,955	0,5539	0,1788

As datas de início de floração foram plotadas em função das temperaturas médias durante os períodos de resfriamento e forçagem (Figura 10 e 11). A cultivar Eva, devido a não significância dos modelos lineares das

temperaturas, não apresentou resultado claramente interpretável. As cultivares Gala e Fuji apresentaram relações importantes entre as temperaturas nos períodos de forçagem e resfriamento. As linhas de contorno, em diagonal, demonstram claramente a influência conjunta das temperaturas em ambas as fases.

Figura 10 – Variação na data de início floração considerando as temperaturas médias durante os períodos de resfriamento e forçagem da cultivar Gala cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

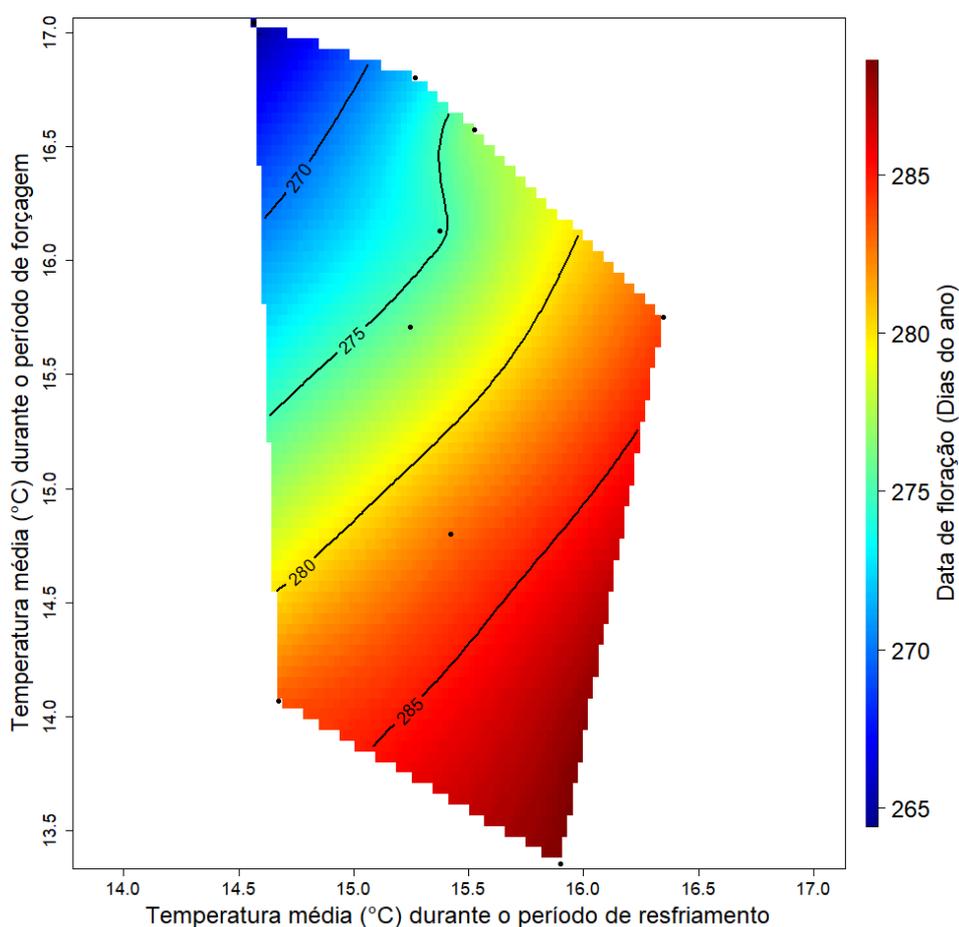


Período de resfriamento: 21 de Março – 22 de Julho Período de forçagem: 27 de Julho – 17 de Setembro. As cores e as linhas de contorno representam as datas previstas de floração em dias do ano.

Quando as temperaturas no período de resfriamento são baixas, ou seja, com maior acumulação frio, e as temperaturas no período de forçagem são altas, obtendo acúmulo de calor mais rápido, as cultivares apresentaram antecipação da floração. Nos momentos que as temperaturas de resfriamento e de forçagem foram baixas, as plantas apresentaram data de floração intermediária, devido ao menor acúmulo de calor. Da mesma forma quando ambas as

temperaturas foram mais altas, a data de floração também foi intermediária, neste caso, devido ao menor acúmulo de frio. Em anos em que as temperaturas médias no período de resfriamento foram mais altas e no período de forçagem foram mais baixas (2013), as cultivares Gala e Fuji tenderam a ter atraso no início da floração, devido a falta de acúmulo de frio e o retardo no acúmulo de calor necessário para tentar compensar a falta de frio. Por um lado, a falta de acúmulo de frio, ou seja, temperaturas altas, tenderam a atrasar a floração, porém essas mesmas temperaturas altas, no período de forçagem, podem compensar em parte a falta de frio e podem antecipar o processo de início de floração em alguns dias.

Figura 11 – Variação na data de início floração considerando as temperaturas médias durante os períodos de resfriamento e forçagem da cultivar Fuji cultivada em região de inverno ameno. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Período de resfriamento: 22 de Março – 21 de Julho Período de forçagem: 27 de Julho – 17 de Setembro. As cores e as linhas de contorno representam as datas previstas de floração em dias do ano.

5.2.2 Discussão

A regressão de mínimos quadrados parciais (PLS) provou-se eficiente em relacionar os efeitos das temperaturas durante o ano com eventos fenológicos. Além disso, existe a vantagem de que os resultados da análise de PLS não exigem pré suposição sobre o processo de quebra de dormência, ou seja, se os efeitos das temperaturas de resfriamento e forçagem são sequenciais, paralelos ou sobrepostos, fazendo assim com que os resultados sejam apresentados sem subjetivismo (GUO et al, 2014). A metodologia da análise de PLS permitiu identificar os períodos onde ocorreram acúmulo de frio e calor durante a dormência, sem qualquer tipo de arbitrariedade (LUEDELING; GASSNER, 2012; LUEDELING et al., 2013a; GUO et al. 2015a).

Apesar do conjunto de dados pequeno, a variabilidade entre os anos avaliados ajudou nas identificações de padrões de resposta da fenologia em função da temperatura. Mínima variabilidade é considerada necessária para o modelo demonstrar claramente potenciais padrões entre os anos (LUEDELING; GASSNER, 2012). A pouca ou muita variabilidade nos eventos fenológicos e nas temperaturas, podem não tornar claros os momentos de transição entre períodos, assim como aconteceu com a cultivar Eva, que apresentou pouca variabilidade nas datas de início de floração. Além disso, a falta de período contínuo de efeito do acúmulo de frio (coeficientes positivos) pode ser devido à existência de fases da endodormência qualitativamente diferentes em relação a percepção do frio e devido a diferentes processos fisiológicos que ocorrem nas gemas durante diferentes estágios (LUEDELING et al., 2013a; GUO et al., 2014, BENMOUSSA et al., 2017).

Nas cultivares Gala e Fuji, os resultados da análise de PLS demonstraram efeito sequencial da temperatura. Visualiza-se período inicial responsável à temperatura, em que ocorreu acúmulo de frio, e um período subsequente com acúmulo de calor. A cultivar Eva não apresentou esse mesmo padrão, e pode ser devido a sua baixa necessidade de frio, que é rapidamente satisfeita, ou até mesmo pela inexistência de endodormência típica, passando rapidamente da fase de paradormência para ecodormência. As correlações das temperaturas observadas na análise de PLS da cultivar Eva (Figura 9) demonstram

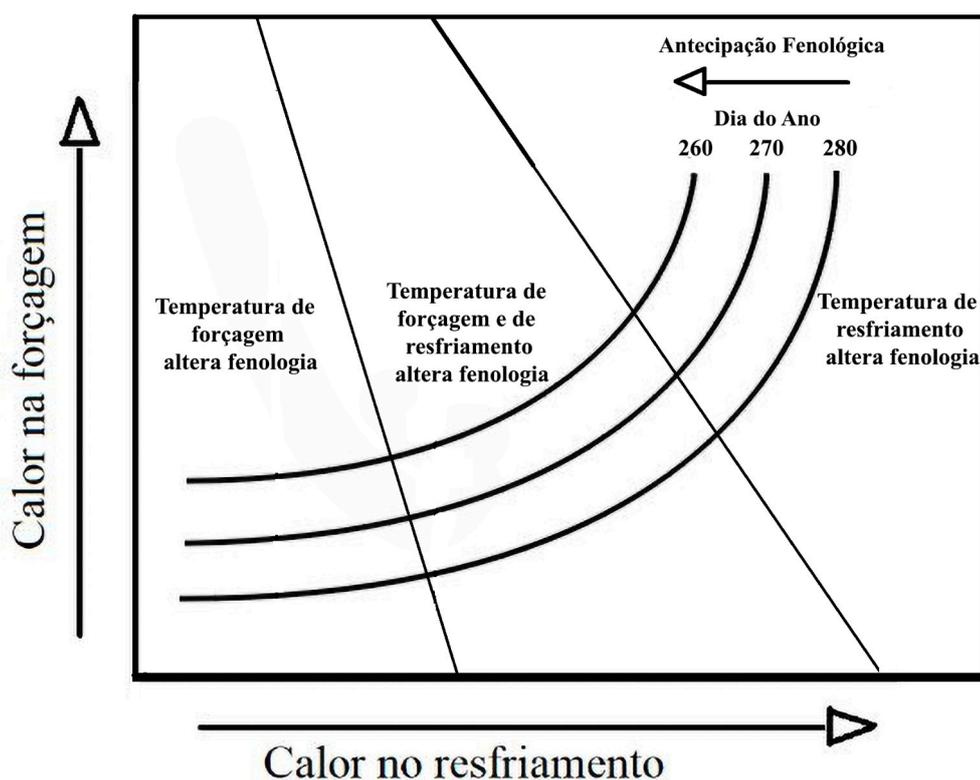
claramente sobreposição de efeitos das temperaturas de resfriamento e forçagem, sugerindo que o início da floração da cultivar Eva não pode ser modelada por um modelo sequencial, mas por modelos não-lineares sobrepostos (DARBYSHIRE et al, 2016). Dessa forma, fica claro a falta de ajustes dos modelos lineares para a cultivar Eva, tanto no modelo com os efeitos isolados para cada fase, quanto no modelo conjunto com a inserção das temperaturas médias das duas fases relevantes.

As respostas fenológicas em função das temperaturas nos períodos de resfriamento e forçagem, demonstraram a alta dependência do efeito conjunto das temperaturas de resfriamento e forçagem, com influência relevante principalmente das temperaturas de forçagem (Tabela 5, Figuras 10 e 11). Em locais de clima temperado, as alterações encontradas nos eventos fenológicos são em sua maioria associadas ao acúmulo de calor (forçagem), com menor influência das temperaturas na fase de resfriamento, já que nessas regiões a maioria da necessidade de frio das culturas é suprida durante o inverno (GUO et al. 2014, GUO et al, 2015a, YAACOUBI et al. 2014; BENMOUSSA et al., 2017, MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2017, LEGAVE et al., 2013). Assim as antecipações dos eventos fenológicos observados em diversas espécies em clima temperado é associada principalmente pelo aumento da temperatura a partir do final do inverno, na saída da endodormência, fazendo com que a fase de acúmulo de calor (ecodormência) seja rápida. Porém em regiões de clima quente, a importância das temperaturas durante o período de resfriamento aumenta (GUO et al. 2015a; BENMOUSSA et al., 2017; LEGAVE et al.; 2013; LUEDELING et al, 2013b; GUO et al, 2019; DÍEZ-PALET et al, 2019). Em casos onde a necessidade de frio da planta não é suprida até o início da primavera, a planta acumula calor além do comumente necessário, conseguindo brotar, porém com atraso em relação a época normal de ocorrência da floração (LUEDELING et al., 2013a; BENMOUSSA et al. 2017). Essa plasticidade permite a planta adaptar-se a possível falta de frio no inverno, porém há um limite em que a planta consegue substituir essa necessidade de frio por calor (KAUFMANN; BLAKE, 2019). A brotação nesse caso ocorre ao longo de um período possível, normalmente mais extenso, de acordo com as combinações de requerimento de frio e calor (KAUFMANN; BLAKE, 2019; LUEDELING et al., 2013a; HARRINGTON et al., 2010). Esse processo faz com que as temperaturas durante a fase de forçagem, no final do

inverno, também influenciem nas mudanças nas datas fenológicas, assumindo então um modelo de efeito conjunto em regiões de clima quente (GUO et al, 2019, DÍEZ-PALET et al, 2019).

Em regiões de clima temperado, embora os efeitos do aumento da temperatura no final do inverno e primavera, dominem a alteração fenológica das plantas, o aquecimento contínuo nos próximos anos pode aumentar a importância das temperaturas no inverno (diminuição do acúmulo de frio), fazendo com que ocorra desaceleração da antecipação ou reverta para o atraso dos eventos fenológicos (GUO et al., 2015a; MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2017, GUO et al., 2019, LEGAVE et al., 2013).

Figura 12 – Respostas teóricas da fenologia em função do aquecimento na fase de resfriamento e na fase de forçagem. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



Adaptado de Guo et al. (2015a)

Esses resultados corroboram com o modelo teórico de Guo et al. (2015a), que demonstra as respostas fenológicas em função das temperaturas de resfriamento e forçagem (Figura 12). Esses efeitos podem, nesse momento, ser

verificados no clima subtropical da região de Palmas-PR, justificando assim a importância dos estudos das interações das temperaturas nos eventos fenológicos da macieira, em regiões de inverno ameno, para prever os possíveis impactos das mudanças climáticas no sistema produtivo de regiões tradicionalmente produtoras com clima temperado. Além disso, fica claro a importância do melhoramento da macieira para criação de cultivares de baixa necessidade de frio.

A primeira fase relevante demonstrada pela análise de PLS, no período compreendido entre final de Março e início de Abril para todas as cultivares, a qual apresentou coeficientes positivos significativos, demonstra importante influência do frio na entrada do período de dormência (MARTÍNEZ-LÜSCHER et al., 2017). As temperaturas altas nesse período desaceleram a entrada em endodormência, fazendo com que ocorra alongamento do período de resfriamento com objetivo de atingir um mínimo de frio acumulado, para só então entrar na fase de forçagem.

5.3 FORMAÇÃO DE ESTRUTURAS FLORAIS, VEGETATIVAS E SUPERFÍCIE FOTOSSINTETIZANTE DE CULTIVARES DE MACIEIRA CULTIVADAS EM DIFERENTES ALTITUDES

5.3.1 Resultados

A cultivar Gala, quando cultivada no pomar Lovo, apresentou 51,35% de ramos com crescimento de brindila na porção terminal, e no pomar Horizonte apresentou 48,64%, sem diferença significativa entre os locais (Tabela 6). Por outro lado, a porcentagem de ramos com brindilas crescidas na porção distal dos ramos foi maior para 'Gala' cultivada no pomar Horizonte que no pomar Lovo. As porcentagens de ramos com brindilas na porção proximal foram baixas e sem diferença significativa entre locais. As porcentagens de ramos com crescimento de esporões, em todas as porções, tiveram diferenças significativas entre os locais. A formação de ramos tipo esporões a partir da gema terminal teve maior frequência no pomar Lovo em comparação com o pomar Horizonte. Já nas gemas laterais das porções distal e proximal a porcentagem de ramos com formação de esporões foi maior nas plantas do pomar Horizonte do que no pomar Lovo.

A cultivar Fuji não apresentou diferenças significativas entre os locais nas porcentagens de ramos com brindilas e esporões ao longo dos ramos.

As diferenças significativas entres os locais, nas médias das cultivares, foram encontradas para a frequência de ramos com brindilas na porção distal e com esporões na porção proximal, sempre maior para plantas cultivadas em maior altitude (Horizonte). Entre cultivares, só foi observado diferença significativa na frequência de ramos com brindila na porção distal.

Tabela 6 – Percentuais de ramos com crescimento de brindilas e esporões nas porções terminal, distal e proximal, das cultivares Gala e Fuji, cultivadas em duas regiões com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

Cultivar	Local	BT	BD	BP	ET	ED	EP
Gala	Lovo	51,35%	5,40%	8,11%	24,32%	56,76%	32,43%
	Horizonte	48,64%	48,64%	8,11%	5,40%	81,08%	64,86%
	*p value – X ²	1	<0,0001	1	0,0499	0,0445	0,0105
Fuji	Lovo	56,75%	8,10%	5,40%	24,32%	83,78%	40,54%
	Horizonte	64,86%	16,21%	13,51%	16,21%	64,86%	54,05%
	*p value - X ²	0,6339	0,4769	0,4269	0,563	0,1103	0,3517
**p value – X ²							
Cultivar		0,2470	0,0384	0,7633	0,517	0,5844	1
Local		0,8687	0,0002	0,7633	0,0519	0,8553	0,0085

* Valores de *p* value referente ao teste de qui-quadrado de Pearson para determinar a significância das distribuições de ramos entre locais em cada uma das cultivares. ** Valores de *p* value referentes ao teste de qui-quadrado de Pearson para determinar a significância das distribuições de ramos entre cultivares e entre locais. BT – Brindila terminal; BD – Brindila porção distal; BI – Brindila porção proximal; ET – Esporão terminal; ED – Esporão distal; EP – Esporão proximal.

Entre as cultivares presentes no pomar Lovo, com adição das frequências de crescimento de brindila e esporão da cultivar Eva, apenas a porcentagem de ramos com esporões na porção distal apresentou diferença significativa, com valores de 75,68%, 56,76% e 83,78%, respectivamente para Eva, Gala e Fuji (Tabela 7).

Tabela 7 – Percentuais de ramos com crescimento de brindilas e esporões nas porções terminal, distal e proximal, das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas no pomar Lovo. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

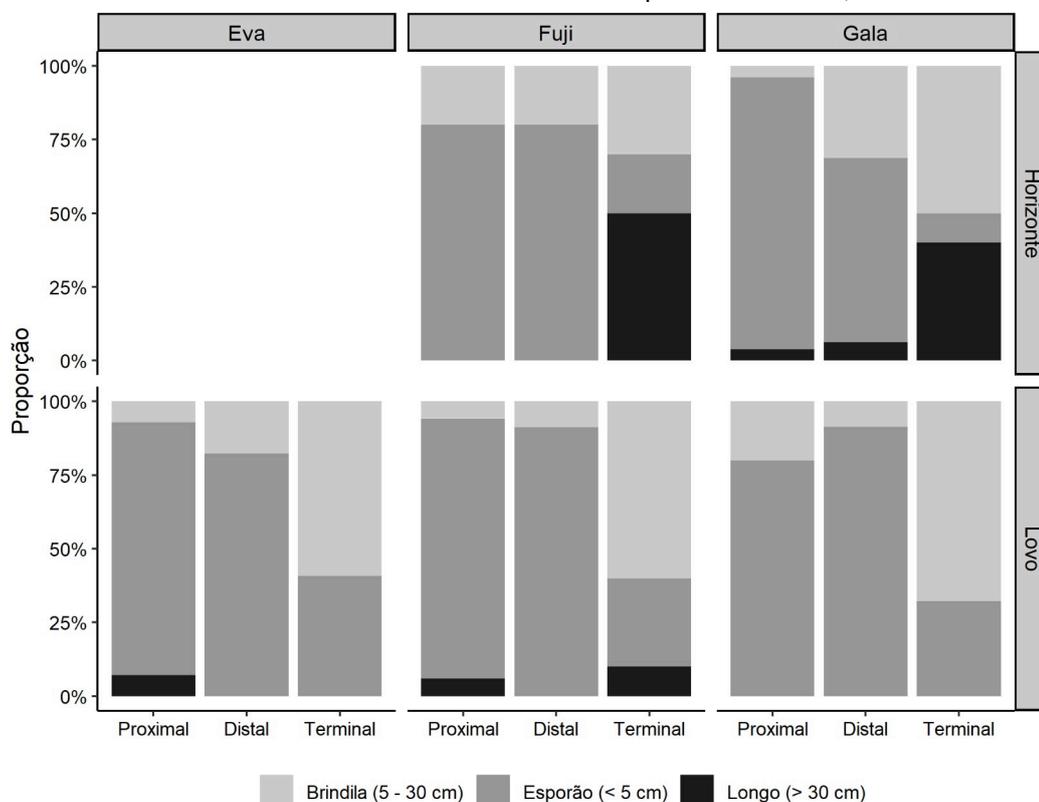
Cultivar	BT	BD	BP	ET	ED	EP
Eva	43,24%	16,21%	5,40%	29,73%	75,68%	32,43%
Gala	51,35%	5,40%	8,11%	24,32%	56,76%	32,43%
Fuji	56,75%	8,10%	5,40%	24,32%	83,78%	40,54%
*p value - X ²	0,5042	0,2693	0,8586	0,8297	0,0291	0,7006

* Valores de *p* value referente ao teste de qui-quadrado de Pearson para determinar a significância das distribuições de ramos entre cultivares. BT – Brindila terminal; BD – Brindila porção distal; BP – Brindila porção proximal; ET – Esporão terminal; ED – Esporão distal; EP – Esporão proximal.

As proporções de crescimento do tipo brindila (Figura 13) foram apresentadas separando-se as brindilas com tamanho superior a 30 cm e reclassificando-as como crescimentos longos. Foram considerados apenas as ocorrências de crescimento (presença de crescimento vegetativo no ramo avaliado), sem considerar o número real de brindilas e esporões.

A cultivar Fuji no pomar Horizonte apresentou, nas porções distal e proximal, proporção igual entre brindilas e esporões, com 80% das ocorrências com presença de esporão e 20% das ocorrências com presença de brindilas. A porção terminal apresentou proporção de ocorrência de 50% com ramos longos, 30% com brindilas e 20% com esporões. No pomar Lovo, observou-se aumento na porcentagem de ocorrências de esporões nas três porções. As porcentagens de ocorrências com brindilas diminuiu nas porções distal (8,82%) e proximal (5,88%), porém teve aumento na porção terminal (60%). As porcentagens de ocorrências com ramos longos foram menores na porção terminal.

Figura 13 – Proporção entre as frequências absolutas de cada classe de crescimento vegetativo nas porções terminal, distal e proximal de ramos de um ano de idade das cultivares Eva, Gala e Fuji, cultivadas em locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.



A cultivar Gala, no Horizonte, apresentou, na porção distal, 62,50% de ramos com esporões, 31,25% com brindilas e 6,25% com ramos longos. Já na porção proximal houve grande acréscimo de esporões (92,31%) e diminuição de brindilas (3,85%) e ramos longos (3,85%). Na porção terminal aumentaram as porcentagens de ocorrências com brindila (50%) e ramos longos (40%), e diminuiu a quantidade de ocorrências com a presença de esporões (10%). No pomar Lovo a cultivar Gala não apresentou ramos longos, em quaisquer das porções. A porcentagem de ocorrência com esporões na porção distal aumentou em comparação com o pomar Horizonte, atingindo o valor de 91,30%, porém observou-se diminuição não muito expressiva na porção proximal (80%). Já na porção terminal constatou-se a ocorrência de 32,14% de esporões, superior a porcentagem observada no pomar Horizonte.

Tabela 8 – Número de esporões e brindilas por metro linear de ramo, e comprimento médio de brotações do tipo brindila (CB) nas cultivares Gala e Fuji cultivadas em locais com diferentes altitudes. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

Cultivar	Local	Esporão m ⁻¹	Brindila m ⁻¹	CB (cm)
Gala	Lovo	9,3	2,8	17,2
	Horizonte	13,8	5,7	24,5
	<i>p</i> value	0,0177	0,0031	0,0112
Fuji	Lovo	11,2	3,5	18,8
	Horizonte	12,8	4,6	28,3
	<i>p</i> value	0,411	0,299	0,0163

Tabela 9 – Número de ramos do tipo esporões, brindilas e proporção esporões/brindila (E/B) por área de seção de tronco (AST) nas cultivares Gala e Fuji em diferentes condições de cultivo. UTFPR – Câmpus Pato Branco, 2021.

Cultivar	Condição	Esporão/AST (nº cm ⁻²)		Brindila/AST (nº cm ⁻²)		E/B	
Gala	Lovo SD **	8,86	a*	1,02	b	8,81	a
	Lovo CD ***	9,48	a	0,82	b	12,25	a
	Horizonte	6,28	a	2,40	a	2,62	b
Fuji	Lovo SD	18,70	a	0,49	b	41,53	a
	Lovo CD	23,16	a	0,55	b	42,46	a
	Horizonte	8,03	b	2,63	a	3,14	b

* Letras diferentes na coluna, dentro de cada genótipo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$.) ** SD – Sem aplicação de cianamida hidrogenada. *** CD – Com aplicação de cianamida hidrogenada. N = 5.

A cultivar Eva, cultivada apenas no pomar Lovo, apresentou porcentagens de ocorrências com presença de esporões acima de 80% nas porções distal e proximal, porém ocorreu diminuição na proporção de esporões na porção

terminal. Apresentou porcentagem de ocorrências com brindila na porção distal de 17,65% e na porção terminal 59,26%. Na porção proximal, a porcentagem de ocorrências com ramos do tipo brindila e longo foi de 7,14%.

A quantidade de esporão por metro linear de ramo, na cultivar Gala, foi significativamente superior no pomar Horizonte (Tabela 8). A cultivar Gala também obteve acréscimo na quantidade de brindilas por metro linear de ramo quando cultivada no pomar Horizonte, atingindo valor de 5,7 brindilas/metro, em comparação com 2,8 brindilas/metro no pomar do Lovo. Também houve acréscimo no comprimento médio das brindilas quando a Gala foi cultivada no pomar Horizonte, atingindo valor médio de 24,5 cm de comprimento. A cultivar Fuji apresentou apenas diferença significativa entre os locais no comprimento médio das brindilas, atingindo valor de 28,3 cm no pomar Horizonte e 18,8 cm no pomar Lovo.

O número de esporões por área de seção de tronco manteve-se sem alteração entre os locais para a cultivar Gala (Tabela 9). Já para a cultivar Fuji as plantas cultivadas no pomar Horizonte apresentaram baixo número de esporões, quando comparado com a quantidade de esporões no pomar Lovo com e sem aplicação de cianamida hidrogenada. O número de brindilas por área de seção de tronco foi maior, para 'Gala' e 'Fuji', no pomar Horizonte. A quantidade de brindilas não teve alteração com ou sem aplicação de cianamida hidrogenada no pomar Lovo. A relação esporão/brindila apresentou-se maior no pomar Lovo, tanto para Gala quanto para 'Fuji', sem variação em relação a aplicação ou não de cianamida hidrogenada.

5.3.2 Discussão

A cultivar Gala teve alteração de comportamento entre pomares, aumentando significativamente o percentual de brindilas na porção distal e esporões ao longo de todas as porções dos ramos no pomar Horizonte. O aumento do percentual de ramos com brindila distal foi suficiente para influenciar nas diferenças entre os locais, embora a cultivar Fuji não tenha mudado seus percentuais de ramos com qualquer tipo de crescimento (brindila ou esporão) e em qualquer porção do ramo (terminal, distal ou proximal). No pomar Lovo a cultivar Eva (como referência

de cultivar de baixa necessidade de frio), no geral, não apresentou crescimento diferenciado das demais cultivares. Assim, as diferentes necessidades de frio das cultivares não tiveram grande influência nas porcentagens de brotações ao longo dos ramos.

A proporção de ramos longos na porção terminal, de 'Gala' e 'Fuji', foram as mais alteradas entre pomares passando de zero para 40% na 'Gala' e na cultivar Fuji de 10% para 50%. Esse crescimento vigoroso é relacionado a não diferenciação floral nas gemas terminais, que resulta em dois ou mais surtos de crescimento no ciclo, formando anéis de paralisação, com internódios curtos. O forte crescimento vegetativo e essa falta de diferenciação floral pode ter sido estimulado também pela diminuição da carga frutal das plantas no ciclo anterior. Ao contrário dos resultados de Maguylo et al. (2012), a presença de gemas vegetativas no ápice impactou fortemente a brotação e o vigor de ramos laterais.

No entanto, mesmo com a grande quantidade de brindilas e ramos longos, a cultivar Gala no pomar Horizonte conseguiu produzir mais esporões e brindilas por metro linear de ramo do que no pomar Lovo (Tabela 8), o que garante uma quantidade razoável de gemas florais. O impacto da produção excessiva de brindilas e ramos longos é principalmente a elevação da necessidade de poda (Tabela 8) (Apêndice B). A cultivar Fuji tem demonstrado pouca variação nos crescimentos laterais dos ramos em diferentes condições do ambiente de cultivo, porém apresenta aumento significativo no tamanho dos ramos no pomar Horizonte, o que também pode causar elevação da necessidade de poda. A maior presença de ramos nos ápices e o maior tamanho também apresentam influência das temperaturas no verão, assim como ocorreu no verão de 2018-2019, que apresentou elevadas temperaturas médias e máximas no verão, aliado a baixa produtividade principalmente no pomar Horizonte, provocando crescimento excessivo dos ramos.

A capacidade de produção de esporões laterais nos ramos no pomar Horizonte, principalmente da cultivar Gala, pode ser associada ao maior acúmulo de frio, devido ao microclima, pelas altas temperaturas diurnas no verão, pela aplicação de estimuladores de brotação, como cianamida hidrogenada e/ou óleo mineral, apesar deste último fator não ter sido observado no Lovo (Tabela 9). Além disso, o efeito do forte crescimento apical primário acaba por afetar as brotações ao longo

dos ramos, causando um efeito de acrotonia, diminuindo o vigor das brotações laterais secundárias, formando então esporões e poucas brindilas de menor comprimento.

É possível, em uma análise isolada, dizer que as plantas no pomar Horizonte apresentam maior número de esporões, principalmente no caso da Gala, do que no pomar Lovo. Porém ao fazer quantificação total de esporões e brindilas das plantas, essa informação não é verdadeira (Tabela 9). Em ambas as cultivares a aplicação de indutor de brotação não altera a quantidade de esporões ou brindilas por AST das plantas. Na cultivar Fuji, o efeito do ambiente é demonstrado no número de esporões e brindilas por AST, apresentando considerável aumento no número de esporões e grande redução no número de brindilas quando cultivada no pomar Lovo. Na cultivar Gala o efeito do ambiente não altera o número de esporões por AST, porém apresenta grande redução no número de brindilas por AST, afetando assim significativamente a proporção esporões/brindilas.

Essa diferença de resultados nos números de esporões e brindilas laterais (por metro linear de ramo) e por AST das plantas é devido a grande formação de complexos de esporões autônomos, originados dos ramos mais velhos das plantas (Apêndice A). Esses esporões apresentam uma renovação anual, ou seja, forma-se um esporão após o desenvolvimento de uma inflorescência, formando estruturas denominadas *bourse-over-bourse* (BOB) (LAURI, 2002, LESPINASSE; DELORT, 1993). A autonomia de frutificação das BOB é essencial para regulação da frutificação da planta. A grande quantidade de BOB é correlacionada com a não alternância de produção de estruturas florais no nível de ramos (LAURI; LAURENS, 2005; LAURI, 2002; LESPINASSE; DELORT, 1993).

Dessa forma, as cultivares Gala e Fuji apresentaram grande plasticidade de formar estruturas com gemas mistas (esporões) em grande quantidade (Tabela 9) além da redução da quantidade e comprimento de brindilas (Tabela 8 e 9) em condições fora do ideal (menor acúmulo de frio e sem aplicação de indutores de brotação). A presença de plasticidade, tanto na arquitetura de planta quanto em características produtivas, é importante para a expansão do cultivo da macieira para locais atualmente considerados não adequados, além de facilitar a adaptação a diferentes tipos de condução, porta-enxertos e manejos de poda e raleio, que

venham a surgir com o passar dos anos.

As cultivares Gala e Fuji apresentam hábitos de frutificação e arquiteturas diferentes, sendo Gala do tipo III e Fuji do tipo IV, segundo tipologia de Lespinasse (LESPINASSE, 1977). A cultivar Fuji apresenta, geneticamente, hábito de frutificação na gema terminal da brindila, e embora essa condição genética permita uma não alternância de produção, o crescimento excessivo dos ramos, junto da baixa carga frutal em alguns anos, elevam a falta de diferenciação floral apical. Essa condição acabaria por alternar a produção com o passar dos anos, característica já conhecida da cultivar Fuji (LAURI et al., 1995). Porém, o aumento da formação de estruturas como o BOB, relacionado também a elevação da extinção natural, auxiliaram na regularização da produção para Fuji. A regularização de produção devido a formação de BOB e também a alta extinção natural, já foi estudada para outras cultivares do tipo IV em condições de clima temperado, como a 'Granny Smith' e 'Red Winter' (LAURI; LAURENS, 2005).

A cultivar Gala apresenta um tipo de arquitetura e hábito de frutificação equilibrado, frutificando em estruturas florais laterais de brindilas, independentes (esporões e BOB) e em gemas terminais, o que pode contribuir na plasticidade da cultivar em função da alteração do ambiente de cultivo.

Essas características reduzem a necessidade de poda ao mínimo, com apenas retirada anual de ramos doentes e/ou que estão mal localizados no pomar. Além disso, a formação de brindilas de menor tamanho e o alto volume de BOB, implica em uma distribuição mais uniforme da floração na planta, sem afastar a produção do centro da planta, com o passar dos anos. Com a regularidade de produção, a carga frutal tende a manter um ótimo equilíbrio vegetativo-produtivo, diminuindo o vigor dos ramos, melhorando a diferenciação floral, e mantendo as características específicas da cultivar de formação e extinção natural de órgãos florais e vegetativos, características essenciais para adaptação da planta ao ambiente de cultivo.

6 CONCLUSÕES

A cultivar Gala apresentou-se responsiva a alteração das condições do ambiente de cultivo, com maior profundidade de dormência e entrada e saída mais rápida da dormência em local com melhores condições de acúmulo de frio e menor amplitude de temperaturas.

A velocidade de entrada e saída de endodormência é muito influenciada pelo ano, embora a profundidade da dormência seja característica implícita da cultivar e do local.

A cultivar Eva não apresenta endodormência profunda, com apenas uma ligeira passagem entre as fases de endodormência superficial e ecodormência, e atinge uma fase de paradormência que se torna predominante no processo de brotação.

A data de início de floração é influenciada tanto pelas temperaturas no momento de acumulação de frio, quanto no momento de acumulação de calor.

As cultivares estudadas, quando cultivadas nas condições do pomar Lovo compensaram a diminuição da formação esporões laterais com aumento dos esporões espontâneos, formando grande quantidade de *bourse-over-bourse*.

A cultivar Gala, quando cultivada no pomar Horizonte, produziu grande quantidade de brindilas e esporões laterais e apicais, com ocorrência de brindilas mais longas.

A cultivar Fuji, quando cultivada no pomar Horizonte, apresentou baixa produção total de esporões e alta produção de brindilas, predominantemente longas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda há poucas informações sobre a fisiologia da macieira em regiões de inverno ameno. Nestas regiões, a pesquisa e o cultivo da macieira levanta questões importantes e também apresenta soluções para o futuro do cultivo em regiões de clima temperado, pois com o passar dos anos, com o iminente aumento de temperatura, deixará essas regiões com o clima próximo aos encontrados hoje nos locais de inverno ameno. Importante também salientar, que, por mais que a literatura sobre dormência seja muito completa e antiga, ela é baseada em regiões frias, e portanto, os conceitos estabelecidos nessas regiões nem sempre são válidos ou diretamente transferíveis para as regiões de inverno ameno. Uma primícia que vem sendo investigada é que a planta precisa de estímulo para entrar em endodormência. Se não houver o estímulo, simplesmente não entra em endodormência e, se não entra em endodormência, não precisa de frio, principalmente para cultivares de baixa necessidade de frio. Isso é algo que ocorre no Nordeste brasileiro, com a cultivar de macieira Eva ou a cultivar de pereira Princesa, por exemplo.

Existe grande barreira na comunidade científica internacional sobre os estudos em clima subtropical e tropical, não pela região em si, mas pelos conceitos que são quebrados. A tecnologia brasileira de produção de maçãs é uma das mais desenvolvidas no mundo, pois consegue produções competitivas, em volume e qualidade, em clima muitas vezes aquém do adequado para espécie. Estudos recentes, conforme apontado no texto, tem demonstrado que a macieira tem plasticidade, ou seja, ajusta seu comportamento fisiológico, fenológico e reprodutivo procurando adaptar-se ao ambiente. Estas alterações precisam ser melhor compreendida, a fim de transformá-las em ferramentas de manejo.

Como dizia um professor de fisiologia vegetal, “devemos entender que biologia não é matemática, e a planta não tem o relógio igual ao nosso”. As vezes modelos complexos, como os modelos: Dinâmico; Carolina do Norte; Modelo Unificado, entre outros; podem não se adaptar a regiões de clima subtropical e/ou tropical, pois sua criação foi baseada em conceitos pré-estabelecidos em regiões de clima temperado ou em clima subtropical, porém com condições totalmente

diferentes as encontradas no Brasil. Usando comparações simples, como uma regressão com temperaturas médias diárias, e até semanais, pode ser suficiente. A produção é dependente de estimuladores de brotação e redutores de crescimento, que pode se tornar futuramente um risco, pela proibição das principais moléculas existentes no mercado. Apesar das dificuldades, ainda é possível desenvolver mais tecnologias de manejo da cultura no Brasil e no mundo, mesmo com o aumento da temperatura global. Pode-se adaptar formas de condução e poda, formas de adubação, e sem dúvidas adaptar a genética das cultivares produzidas no Brasil, a exemplo do importante trabalho de melhoramento que vem sendo feito pela Epagri, com a criação de cultivares melhores adaptadas, mais produtivas, com resistência às principais doenças e, portanto, mais sustentáveis.

Estudos que ainda faltam nas regiões de inverno ameno são: aquisição de tolerância das plantas ao frio, processos de formação de estruturas florais e um estudo aprofundado sobre transporte de carboidratos. Esses assuntos são ainda muito superficiais em clima subtropical e podem ser usados para elucidar o fenômeno da dormência.

Um estudo interessante a se fazer nos próximos trabalhos é a influência das paradas e retomadas de crescimento dos ramos no verão, no processo de brotação da macieira. Observa-se, constantemente, que a falta de diferenciação floral apical, faz com que surja uma nova onda de crescimento, que causa na primavera/verão seguinte uma quebra da dominância apical e uma facilidade da planta em formas estruturas do tipo esporão nas partes inferiores dos ramos, abaixo do ponto de parada de crescimento.

Por fim, ficam as perguntas:

- Há necessidade realmente de se aplicar estimuladores de brotação? Isso não causa uma falsa necessidade ou dependência da molécula?
- Será que não seria necessário reinventar os processos de condução das plantas ao clima do local de cultivo, especialmente no Brasil?
- As plantas apresentam plasticidade suficiente para sobreviver ao aumento da temperatura, sem mudar sua genética?
- As plantas adquirem resistência ao frio (diminuição da água e concentração de açúcares) por genética ou por estímulo?

REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. Im.br: Linear Model with Breakpoint. R package, **CRAN**, 2017.
- ANZANELLO, R. **Fisiologia e modelagem da dormência de gemas de macieira**, 2012. 281 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015.
- BENMOUSSA, H.; GHRAB, M.; MIMOUN, M. B.; LUEDELING, E. Chilling and heat requirements for local and foreign almond (*Prunus dulcis* Mill.) cultivars in a warm Mediterranean location based on 30 years of phenology records. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 34–46, 2017.
- BONHOMME, M.; RAGEAU, R.; GENDRAUD, M. Influence of temperature on the dynamics of ATP, ADP and non-adenylic triphosphate nucleotides in vegetative and floral peach buds during dormancy. **Tree Physiology**, p. 615–621, 2000.
- BYRNE, D. H.; SHERMAN, W. B.; BACON, T. A. **Stone fruit genetic pool and its exploitation for growing under warm winter conditions**. In: Temperate Fruit Crops in Warm Climates. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 157-230, 2000.
- CAMPOY, J. A.; RUIZ, D.; EGEA, J. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 2, p. 357–372, 2011.
- CHARRIER, G.; AMÉGLIO, T. The timing of leaf fall affects cold acclimation by interactions with air temperature through water and carbohydrate contents. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 72, n. 3, p. 351-357, 2011.
- CHARRIER, G.; COCHARD, H.; AMÉGLIO, T. Evaluation of the impact of frost resistances on potential altitudinal limit of trees. **Tree Physiology**, v. 33, n. 9, p. 891–902, 2013.
- CHARRIER, G.; LACOINTE, A.; AMÉGLIO, T. Dynamic modeling of carbon metabolism during the dormant period accurately predicts the changes in frost hardiness in walnut trees *Juglans regia* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, December, p. 1746, 2018.
- CHARRIER, G.; NGAO, J.; SAUDREAU, M.; AMÉGLIO, T. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1–18, 2015.
- CHUINE, I.; BONHOMME, M.; LEGAVE, J. M.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; CHARRIER, G.; LACOINTE, A.; AMÉGLIO, T. Can phenological models predict tree phenology accurately in the future? The unrevealed hurdle of endodormancy break. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3444–3460, 2016.

CITADIN, I.; RASEIRA, M.C.B.; HERTER, F.G.; SILVA, J.B. Heat requirement for blooming and leafing in peach. **HortScience**, Alexandria, v. 3, n. 2, p. 305-307, 2001.

COOK, N. C.; CALITZ, F. J.; ALLDERMAN, L. A.; STEYN, W. J.; LOUW, E. D. Diverse patterns in dormancy progression of apple buds under variable winter conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 226, August, p. 307–315, 2017.

COUVILLON, G. A.; EREZ, A. Effect of level and duration of high temperatures on rest in the peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, n. 4, p. 579-581, 1985.

DARBYSHIRE, R.; POPE, K.; GOODWIN, I. An evaluation of the chill overlap model to predict flowering time in apple tree. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 142–149, 2016.

DENNIS, F.G. Jr. Producing temperate-zone fruits at low latitudes: an overview. **Hortscience**. n. 22, p. 1226–1227, 1987.

DÍEZ-PALET, I.; FUNES, I.; SAVÉ, R.; BIEL, C.; HERRALDE, F. De; MIARNAU, X.; VARGAS, F.; ÀVILA, G.; CARBÓ, J.; ARANDA, X. Blooming under Mediterranean climate: Estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 1–21. 2019.

EGEA, J.; ORTEGA, E.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, P.; DICENTA, F. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 50, n. 1, p. 79-85, 2003.

EREZ, A. Bud dormancy: **Phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics**. In: EREZ, A. (ed.) *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 17-48, 2000.

FAUST, M.; EREZ, A.; ROWLAND, L. J.; WANG, S. Y.; NORMAN, H. A. Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 623-629, 1997.

FERNANDEZ, E.; CUNEO, I. F.; LUEDELING, E.; ALVARADO, L.; FARIAS, D.; SAA, S. Starch and hexoses concentrations as physiological markers in dormancy progression of sweet cherry twigs. **Trees – Structure and Function**, v. 33, p. 1187-1201, 2019.

FERNANDEZ, E.; WHITNEY, C.; CUNEO, I. F.; LUEDELING, E. Prospects of decreasing winter chill in Chile throughout the 21st century. **Climatic Change**, v. 159, p. 423-439, 2020.

FISHMAN, S.; EREZ, A.; COUVILLON, G. A. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. **Journal of Theoretical Biology**, v. 124, p. 473-483, 1987.

FOX, J; WEISBERG, S. **An R Companion to Applied Regression**, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. 608 p, 2019.

FU, Y. H.; CAMPIOLI, M.; VAN OIJEN, M.; DECKMYN, G.; JANSSENS, I. A. Bayesian comparison of six different temperature-based budburst models for four

temperate tree species. **Ecological Modelling**, v. 230, p. 92–100, 2012.

GLEIZER, B.; LEGAVE, J. M.; BERTHOUMIEU, J. F.; MATHIEU, V. Les arboriculteurs face aux changements climatiques - évolution de la phénologie florale et du risque de gel printanier. **Infos CTIFL**, n. 235, p. 37-40, 2007.

GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANGLES, C. A.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M. G.; REICHLER, R.; WARGAN, K.; COY, L.; CULLATHER, R.; DRAPER, C.; AKELLA, S.; BUCHARD, V.; CONATY, A.; DA SILVA, A. M.; GU, W.; KIM, G.; KOSTER, R.; LUCCHESI, R.; MERKOVA, D.; NIELSEN, J. E.; PARTYKA, G.; PAWSON, S.; PUTMAN, W.; RIENECKER, M.; SCHUBERT, S. D.; SIENKIEWICZ, M.; ZHAO, B. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), **Journal of Climate**, v. 30, n. 14, p. 5419-5454, 2017.

GUÉDON, Y.; LEGAVE, J.M. Analysing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context. **Ecological Modelling**, v. 219, n. 1-2, p. 189-199, 2008.

GUO, L.; DAI, J.; RANJITKAR, S.; YU, H.; XU, J.; LUEDELING, E. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, p. 1195-1206, 2014.

GUO, L.; DAI, J.; WANG, M.; XU, J.; LUEDELING, E. Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: A case study of apricot flowering in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 1–7, 2015a.

GUO, L.; XU, J.; DAI, J.; CHENG, J.; LUEDELING, E. Statistical identification of chilling and heat requirements for apricot flower buds in Beijing, China. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 138–144. 2015b.

GUO, L.; WANG, J.; LI, M.; LIU, L.; XU, J.; CHENG, J. Distribution margins as natural laboratories to infer species' flowering responses to climate warming and implications for frost risk. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, p. 299–307, 2019.

HARRINGTON, C. A.; GOULD, P. J.; ST.CLAIR, J. B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 798–808, 2010.

HAUAGGE, R.; CUMMINS, J. N. Seasonal variation in intensity of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 116, n. 1, p. 107-115, 1991a.

HAUAGGE, R.; CUMMINS, J. N. Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, n. 1, p. 107-115, 1991b.

HAUAGGE, R.; TSUNETTA, M. IAPAR 75-'Eva', IAPAR 76-'Anabela' e IAPAR 77-'Carícia' - Novas cultivares de macieira com baixa necessidade em frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, n. 3, p. 239-242, 1999.

HEIDE, O. M. High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climatic warming. **Tree Physiology**, v. 23, n. 13, p.

931-936, 2003.

KAUFMANN, H.; BLANKE, M. Substitution of winter chilling by spring forcing for flowering using sweet cherry as model crop. **Scientia Horticulturae**, n. 244, p. 75–81. 2019.

KRAMER, K. Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. **Journal of Applied Ecology**, v. 31, p. 172–181, 1994.

LANG, G. A.; EARLY, J. D.; MARTIN, G. C.; DARNELL, R. L. Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 3, p. 371-377, 1987.

LAURI, P. É.; TÉROUANNE, E; LESPINASSE, J. M.; REGNARD, J. L.; KELNER, J. J. Genotypic differences in the axillary bud growth and fruiting pattern of apple fruiting branches over several years – an approach to regulation of fruit bearing. **Scientia Horticulturae**, v. 64, n. 4, 265–281, 1995.

LAURI, P. E. From Tree Architecture to Tree Training – An Overview of Recent Concepts Developed in Apple in France. **Journal of Korean Society for Horticultural Science**, v. 43, n. 6, p. 782–788, 2002.

LAURI, P.E. Differentiation and growth traits associated with acrotony in the apple tree (*Malus domestica*, Rosaceae). **American Journal of Botany**, v. 94, n. 8, p. 1273-1281, 2007.

LAURI, P. E.; LAURENS, F. Architectural types in apple (*Malus x domestica* Borkh.). **Crops: Growth, Quality and Biotechnology**, p. 1300-1313, 2005.

LEGAVE, J. M.; BLANKE, M.; CHRISTEN, D.; GIOVANNINI, D.; MATHIEU, V.; OGER, R. A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, p. 317–331. 2013.

LESPINASSE, J. M.; DELORT, J. F. Regulation of Fruiting in Apple Role of the Bourse and Crowned Brindles. **Acta Horticulturae**, v. 349, p. 239-246, 1993.

LONDO, J. P.; KOVALESKI, A. P. Deconstructing cold hardiness: variation in supercooling ability and chilling requirements in the wild grapevine *Vitis riparia*. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 25, 276–285. 2019.

LOPES, P. R. C.; OLIVEIRA, I. V. D. M.; SILVA-MATOS, R. R. S.; CAVALCANTE, Í. H. L. Caracterização fenológica, frutificação efetiva e produção de maçãs 'Eva' em clima semiárido no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1277-1283, 2012.

LÜDECKE, D.; MAKOWSKI, D.; WAGGONER, P.; PATIL, I. *performance*: Assessment of Regression Models Performance. R package, **CRAN**, 2020.

LUEDLING, E. *chillR*: Statistical Methods for Phenology Analysis in Temperate Fruit Trees. R package. **CRAN**, 2020.

LUEDLING, E.; GIRVETZ, E. H.; SEMENOV, M. A.; BROWN, P. H. Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. **PLoS One**, v. 6, e20155, 2011.

LUEDELING, E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 144, 218–229. 2012.

LUEDELING, E.; GASSNER, A. Partial Least Squares Regression for analyzing walnut phenology in California. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 158–159, p. 43–52, 2012.

LUEDELING, E.; KUNZ, A.; BLANKE, M. M. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees – a statistical approach. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, p. 679–689. 2013a.

LUEDELING, E.; GUO, L.; DAI, J.; LESLIE, C.; BLANKE, M. M. Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 181, p. 33–42. 2013b.

MAGUYLO, K.; COOK, N. C.; THERON, K. I. Environment and position of first bud to break on apple shoots affects lateral outgrowth. **Trees – Structure and Function**, v. 26, p. 663–675. 2012.

MALAGI, G.; LEGAVE, J. M. A comparison between two forcing tests for determining the end of apple bud endodormancy. In: **XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura. Anais**. p. 2652-2655, 2012.

MALAGI, G. **Flowering phenology and dormancy dynamics of apple tree in contrasting climatic conditions: a case study of phenology modeling in the climate warming context**. 2014. 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

MALAGI, G.; SACHET, M. R.; CITADIN, I.; HERTER, F. G.; BONHOMME, M.; REGNARD, J. L.; LEGAVE, J. M. The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. **Trees**, v. 29, n. 5, p. 1365-1380, 2015.

MARTÍNEZ-LÜSCHER, J.; HADLEY, P.; ORDIDGE, M.; XU, X.; LUEDELING, E. Delayed chilling appears to counteract flowering advances of apricot in southern UK. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, p. 209–218. 2017.

MEIER, U.; GRAF, H.; HACK, H.; et al. Phänologische Entwicklungsstadien des Kernobstes (*Malus domestica* Borkh. und *Pyrus communis* L.), des Steinobstes (*Prunus*-Arten), der Johannisbeere (*Ribes*-Arten) und der Erdbeere (*Fragaria ananassa* Duch.)–Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BB. **Nachrichtenbl Dtsch. Pflanzenschutz**, Berlin, v. 46, p. 141-153, 1994.

MEVIK, B-H.; WEHRENS, R.; LILAND, K. H. pls: Partial Least Squares and Principal Component Regression. R package. **CRAN**, 2018.

MURRAY, M. B.; CANNELL, M. G. R.; SMITH, R. I. Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. **Journal of Applied Ecology**, v. 26, p. 693–700, 1989.

PERTILLE, R. H.; SACHET, M. R.; CITADIN, I.; GUERREZI, M. T. ChillModels: Processing Chill and Heat Models for Temperate Fruit Trees. R package. **CRAN**, 2019.

PERTILLE, R. H.; CITADIN, I.; PATTO, L. S.; OLDONI, T. L. C.; SCARIOTTO, S.; GRIGOLO, C. R.; LAURI, P. -É. High-chilling requirement apple cultivar has more accentuated acrotony than low-chilling one in mild winter region. **Trees**. 2021.

PETRI, J.L.; PALLADINI, L.A.; SCHUCK, E.; DUCROQUET, J.P.H.J.; MATOS, C.S.; POLA, A.C. **Dormência e indução da brotação em fruteiras de clima temperado**. 110 p. EPAGRI, Florianópolis, 1996.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. **Acta Horticulturae**, v. 662, p. 53-60, 2004.

POIRIER, M.; LACOINTE, A.; AMÉGLIO, T. A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1555-1569, 2010.

RAGEAU, R. Croissance et débournement des bourgeons végétatifs de pêcher au cours d'un test classique de dormance. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 287, Série D, p. 1119-1122, 1978.

RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. Pheno-climatography of spring peach bud development. **HortScience**, v. 10, n. 3, p. 236-237, 1975.

SACHET, M. R. **Análises biológicas e bioquímicas na dinâmica da dormência de macieiras em Palmas-PR**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

SAMISH, R. M. Dormancy in woody plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 5, n. 1, p. 183-204, 1954.

SAURE, M. C., Dormancy release in deciduous fruit trees. **Horticultural Reviews**, v. 7, p. 237-300, 1985.

SCHMITZ, J. D.; HERTER, F. G.; REGNARD, J. L.; LEITE, G. B.; BONHOMME, M.; COCHARD, H.; LAURI, P. E. Is acrotonic budburst pattern in spring a typical behavior of the low-chilling apple cultivar "Eva" in mild winter conditions? An approach combining ex planta single-node cutting test and in planta bud water content during dormancy. **Scientia Horticulturae**, v. 188, p. 84-88. 2015

SHALTOUT, A. D.; UNRATH, C. R. Rest completion prediction model for "Starkrimson Delicious" apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 108, n. 6, p. 957-961, 1983.

VITASSE, Y.; LENZ, A.; KÖRNER, C. The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 1-12. 2014.

WICKHAM, H. et al. Welcome to the Tidyverse. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 43, p. 1686, 2019.

YAACOUBI, A. EI; MALAGI, G.; OUKABLI, A.; HAFIDI, M.; LEGAVE, J. M. Global warming impact on floral phenology of fruit trees species in Mediterranean region. **Scientia Horticulturae**, v. 180, p. 243-253, 2014.

YAACOUBI, A. EI; MALAGI, G.; OUKABLI, A.; CITADIN, I.; HAFIDI, M.; BONHOMME, M.; LEGAVE, J. M. Differentiated dynamics of bud dormancy and growth in temperate fruit trees relating to bud phenology adaptation, the case of apple and almond trees. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 11, p. 1695-1710, 2016.

YAACOUBI, A. EI; JAOUHARI, N. EI; BOURIOUG, M.; YOUSSEFI, L. EI; CHERROUD, S. Potential vulnerability of Moroccan apple orchard to climate change – induced phenological perturbations: effects on yields and fruit quality. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 377–387, 2020.

YU, D. J.; HWANG, J. Y.; CHUNG, S. W.; OH, H. D.; YUN, S. K.; LEE, H. J. Changes in cold hardiness and carbohydrate content in peach (*Prunus persica*) trunk bark and wood tissues during cold acclimation and deacclimation. **Scientia Horticulturae**, v. 219, p. 45–52, 2017.

ZHANG, M. I. N.; WILLISON, J. H. M. An improved conductivity method for measurement of frost hardiness. **Canadian Journal of Botany**, v. 65, p. 710-715, 1987.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Aspecto das plantas de macieira cultivadas no pomar Lovo.



APÊNDICE B – Aspecto das plantas de macieira das cultivares Gala e Fuji cultivadas no pomar Horizonte.



APÊNDICE C – Aspecto das plantas de macieira da cultivar Eva, cultivadas no pomar Lovo.

