

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

MARCOS ROBSON SACHET

**ANÁLISE DA DORMÊNCIA E TOLERÂNCIA AO FRIO DE MACIEIRAS
CULTIVADAS EM CONDIÇÕES DE INVERNO AMENO**

TESE

PATO BRANCO

2018

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

MARCOS ROBSON SACHET

**ANÁLISE DA DORMÊNCIA E TOLERÂNCIA AO FRIO DE MACIEIRAS
CULTIVADAS EM CONDIÇÕES DE INVERNO AMENO**

TESE

PATO BRANCO

2018

MARCOS ROBSON SACHET

**ANÁLISE DA DORMÊNCIA E TOLERÂNCIA AO FRIO DE MACIEIRAS
CULTIVADAS EM CONDIÇÕES DE INVERNO AMENO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Idemir Citadin

PATO BRANCO

2018

S121a

Sachet, Marcos Robson.

Análise da dormência e tolerância ao frio de macieiras cultivadas em condições de inverno ameno / Marcos Robson Sachet. -- 2018.

77 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Idemir Citadin

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2018.

Bibliografia: f. 60 – 67.

1. Maçã - Cultivo. 2. Fisiologia Vegetal. 3. Plantas - Adaptação (Biologia). 4. Mudanças climáticas. I. Citadin, Idemir, Orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 22. ed. 630

Ficha Catalográfica elaborada por:
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Câmpus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese nº 040

ANÁLISE DA DORMÊNCIA E TOLERÂNCIA AO FRIO DE MACIEIRAS CULTIVADAS EM CONDIÇÕES DE INVERNO AMENO

por

MARCOS ROBSON SACHET

Tese apresentada às quatorze horas do dia vinte e quatro de julho de dois mil e dezoito, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcos Silveira Wrege
EMBRAPA

Profa. Dra. Silvia Scariotto
UTFPR

**Prof. Dr. Marcus Vinicius
Kvitschal**
EPAGRI

Prof. Dr. Idemir Citadin
UTFPR
Orientador

Dr. Gustavo Malagi
Syngenta Seeds

Prof. Dr. Moeses Andriago Danner
Coordenador do PPGA

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do Programa”

Aos meus pais Marcos e Arlete
dedico...

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Idemir Citadin, pelos conselhos, ensinamentos e companheirismo.

Ao senhor Geraldo Lovo por permitir a execução desse trabalho em sua propriedade.

À Capes, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo auxílio financeiro para execução do projeto.

À UTFPR, Câmpus Pato Branco, por ofertar o Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAG).

Ao SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) pela disponibilização dos dados climáticos.

Aos colegas Leonardo Silva Patto e Gustavo Malagi por participarem ativamente neste projeto.

Aos integrantes da equipe de fruticultura (2012-2018) que auxiliaram nas coletas e análises: Rafael Pertille, Jéssica Nasilowski, Luana Maro, Gener Penso, André Varago, Rodrigo Tonet e Patricia Pereira. E aos colegas da UFRR pelo incentivo.

A minha companheira Marieli Guerrezi pelo apoio em todos os momentos, sempre fazendo-me acreditar que chegaria ao término dessa difícil, porém gratificante etapa.

“... to remove all barriers in the way of science.”

SCI-HUB

RESUMO

SACHET, Marcos Robson. Análise da Dormência e Tolerância ao Frio de Macieiras Cultivadas em Condições de Inverno Ameno. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar a dinâmica da dormência e a tolerância ao congelamento, e testar a eficiência de modelos matemáticos de predição da fenologia em macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy. Brindilas e esporões foram coletados entre março e outubro de 2012 e 2017, em pomar comercial no município de Palmas-PR. Foram realizados: teste de Tabuenca para estabelecimento do final de endodormência em gemas mistas; teste de estacas com uma única gema para determinar a dinâmica da dormência em gemas vegetativas e; o teste de congelamento por LT50 visando-se estimar o nível de resistência e sua correlação com a dormência. Quinze modelos matemáticos de predição de fenologia a partir da temperatura horária foram testados. Os modelos de predição de fenologia foram inferiores ou tão preditivos quanto a média histórica da fenologia. A modelagem da dinâmica em forma de uma equação linear com ruptura apresentou um parâmetro atrator, B_p , que compensou alterações climáticas e induziu as datas de saída próximas à média histórica. A dormência relacionou-se com a proteção da planta contra danos por congelamento e a ocorrência de dormência superficial tornou a planta mais suscetível aos danos.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Acúmulo de frio. Endodormência. Paradormência. Ecodormência. Alterações climáticas.

ABSTRACT

SACHET, Marcos Robson. Dormancy analysis and cold hardiness of apple trees growing in warm winter conditions. 77 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2018.

The present research addressed to characterize dormancy dynamics and freezing tolerance, thus testing the efficiency of mathematical prediction models of phenology of Eva, Fuji Suprema and Galaxy apple trees. Shoots and spurs were collected between March and October 2012 and 2017, in a commercial orchard in Palmas municipality, Paraná, Brazil. The following tests were performed: Tabuenca in order to establish the final endodormancy in floral (mixed) buds; one-bud cutting test to determine dormancy dynamics in vegetative buds and; the freezing test by LT50 aiming to estimate the level of cold hardiness and its correlation with dormancy. Fifteen mathematical prediction models of phenology from the hourly temperature were tested. The phenology prediction models were inferior or as predictive as the historical average of phenology. The dynamics modeling in the form of a linear equation with breakpoint presented an attractor parameter (B_p) which offset for climate alterations and induced the release dormancy dates near the historical average. The dormancy was related to plant protection against frost damage, also the occurrence of shallow dormancy made the vegetal more susceptible to damage.

Keywords: *Malus domestica*. Chill accumulation. Endodormancy. Paradormancy. Ecodormancy. Climate alteration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Somatório de Horas de Frio (HF) abaixo de 7,2 °C conforme Weinberger (1950) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....22
- Figura 2. Somatório de Unidades de Frio pelo Modelo de Bidabé (1967) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....23
- Figura 3. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Carolina do Norte de Shaltout e Unrath (1983) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....24
- Figura 4. Porções de Frio (PF) acumulados pelo Modelo Dinâmico de Fishman, Erez e Couvillon (1987) em tempos de exposição (0-1000 horas) nas temperaturas de 7,2 °C, 15,0 °C e alternada (8 horas em 7,2 °C e 16 horas em 15 °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018. 25
- Figura 6. Soma térmica (GDH °C) pelo modelo de GDH de Richardson (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....26
- Figura 5. Soma térmica (GDH °C) pelo modelo de GDH de Anderson (ANDERSON; RICHARDSON; KESNER, 1986) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....27
- Figura 7. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Cerejeira de Guak e Nielsen (2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....28
- Figura 8. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Macieira de Guak e Nielsen (2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....29
- Figura 9. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Jones (JONES et al., 2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....30
- Figura 10. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Landsberg (1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....31
- Figura 11. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Low-chill de Gilreath e Buchanan (1981) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....32
- Figura 12. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Taiwan (LU et al., 2012) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....33
- Figura 13. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Unified (CHUINE, 2000) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....34
- Figura 14. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Utah (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....35
- Figura 15. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo PCU (LINSLEY-NOAKES; ALLAN; MATTHEE, 1994) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....36
- Figura 16. Progresso típico da dormência em relação ao tempo médio de brotação (TMB, pontos azuis) geralmente observado em estacas com nós isolados ao longo do período hibernal. Nesse exemplo, o modelo linear com ponto de ruptura (linhas vermelhas) foi ajustado apresentando alpha (ou pico de endodormência) igual à 20,5 dias no 180° dia do ano (theta). O coeficiente B foi responsável pela inclinação no período que antecede o alpha e Bp responsável pela inclinação de saída de endodormência (após atingir o alpha).....42

- Figura 17. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Eva' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p, acompanhada do coeficiente de determinação (R²). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuenca detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB (12), floração (F1) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....51
- Figura 18. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Fuji Suprema' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p, acompanhada do coeficiente de determinação (R²). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuenca detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB12 (12), floração (F1) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....52
- Figura 19. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Galaxy' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p, acompanhada do coeficiente de determinação (R²). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuenca detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB12 (12), floração (F1) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....53
- Figura 20. Perda eletrolítica em ramos de macieira 'Eva', 'Galaxy' e 'Fuji Suprema' após tratamento com -5, -10, -15, -20, -30 e -40 °C (A), tempo médio de brotação de gemas (B), umidade de ramos (C) e correlação entre estas variáveis (D). Coletas realizadas entre os meses de maio e outubro de 2016 em Palmas-PR. Médias seguidas por erro padronizado. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....55
- Figura 21. Danos após ocorrência de temperatura -7 °C em campo sobre ramos (A) e esporões imaturos (B) e frutos de florações precoces com interior expondo necrose severa (C). Observados na macieira cv. Eva cultivada em Palmas-PR no ano de 2016. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.....56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de endodormência em gemas mistas pelo Teste de Tabuena nas macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parênteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018..... 45
- Tabela 2. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de endodormência em gemas vegetativas pelo Teste de Gemas Isoladas nas macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parênteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018..... 47
- Tabela 3. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de dormência pela data de floração das macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parênteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018..... 48
- Tabela 4. Resumo da anova apresentando o tamanho do efeito (η^2 quadrado) em percentual para cada fonte de variação (FV) atuando sobre os coeficientes B e Bp, constantes alpha e theta e TMB predito em 12 dias (TMB12) do modelo linear com ponto de ruptura (*break-point*). Análise referente as cultivares de macieira Eva, Fuji Suprema e Galaxy durante os períodos de dormência, de 2012 à 2017 cultivadas em Palmas-PR. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018..... 49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 A CULTURA DA MACIEIRA.....	14
2.2 CULTIVARES ESTUDADAS.....	15
2.3 A DORMÊNCIA.....	17
2.4 MODELOS DE PREDIÇÃO DA FENOLOGIA.....	20
2.5 RESISTÊNCIA AO CONGELAMENTO.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 MATERIAL VEGETAL.....	38
3.2 DADOS CLIMÁTICOS.....	38
3.3 TESTE DE TABUENCA.....	38
3.4 TEMPO MÉDIO DE BROTAÇÃO.....	39
3.5 FENOLOGIA EM CAMPO.....	40
3.6 MODELOS DE PREDIÇÃO DA FENOLOGIA.....	40
3.7 MODELAGEM DA DINÂMICA DO TMB.....	41
3.8 TEMPERATURA LETAL.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5 CONCLUSÕES.....	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é a principal frutífera cultivada no mundo. No Brasil, uma porção significativa da região produtora está localizada onde ocorre invernos definidos e acúmulo de frio próximo ao ideal. Outra parte está sendo cultivada em locais onde as exigências climáticas das principais cultivares, 'Gala' e 'Fuji', não são plenamente satisfeitas. Essas regiões apresentam invernos irregulares, geralmente com grande amplitude térmica diária e baixo acúmulo de frio. Também, há tentativas de implantação de pomares em regiões semiáridas, no nordeste do Brasil, onde não há ocorrência de frio.

Quando as macieiras são cultivadas em áreas com acúmulo de frio hibernal insatisfatório ocorrem floração e brotação desuniformes, redução do potencial produtivo e da qualidade dos frutos. Também, há projeções de redução no acúmulo de frio, decorrentes de alterações climáticas, em regiões tradicionalmente produtoras de macieira. Entretanto, há indícios que, em condições de inverno ameno, modelos de predição da fenologia baseados na temperatura do ar (horárias) não são capazes de prever com eficiência a data fenológica de saída de dormência (brotação e floração).

A hipótese desse trabalho é que os modelos para predição da data de saída de dormência não possuem boa eficiência devido à presença de um atrator que conduz as datas fenológicas para próximo de uma média histórica e que a dormência superficial esteja relacionada com a menor resistência ao congelamento.

Para isso, realizaram-se experimentos com cultivares de baixa ('Eva') e alta necessidade de frio ('Fuji Suprema' e 'Galaxy'). Aplicou-se o teste de Tabuenca (1964) para determinar o momento em que as gemas mistas encontravam-se aptas a crescer, possibilitando a distinção entre as cultivares quanto a data de saída de endodormência e frio acumulado. Para se definir a saída de endodormência em gemas axilares vegetativas, empregou-se o teste biológico de estacas com uma única gema vegetativa (RAGEAU, 1978). Ao todo, 15 modelos matemáticos foram testados e suas eficiências discutidas com relação a plasticidade da evolução da dormência ao longo do inverno. Por fim, testou-se a resistência ao congelamento ao longo do inverno e determinou-se sua relação com a dormência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA MACIEIRA

A macieira pertence à família *Rosaceae*, subfamília *Maloidae* (*Pomoidae*), gênero *Malus*. Apesar de serem citados vários nomes para a espécie, a denominação *Malus domestica* é a primeira denominação válida publicada para a macieira cultivada, pelo Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (PETRI; LEITE, 2008).

No Brasil, avanços no desenvolvimento do cultivo comercial, iniciados na década de 1970, deram suporte para expansão da cultura (PETRI et al., 2011). Em 2016, foram colhidos 1.049.251 toneladas em 33.981 ha, com média de 30,88 toneladas por hectare (FAO, 2016). Segundo o Anuário Brasileiro da Maçã (KIST, 2018), a quantidade total da fruta exportada pelo Brasil em 2017 atingiu 55,4 mil toneladas, a US\$ 41,9 milhões, e o produto foi direcionado a 25 países.

A produção brasileira concentra-se na Região Sul (99,2%), mas também ocorre na região Sudeste (0,7%) e Nordeste (0,1%). Quanto aos Estados, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os maiores produtores nacionais com 50,9% e 44,6%, respectivamente (IBGE, 2017), com 90% dos pomares implantados com 'Fuji' e 'Gala' ou seus clones (PETRI; LEITE, 2008). Em 2016, o Paraná contribuiu com 4,2% da produção nacional de maçãs. No ano de 2017 houve uma redução para 3,7% da produção nacional. No ano de 2015 o Estado do Paraná apresentou 1.700 hectares plantados com produção de 51 mil toneladas (IBGE, 2017), tendo como principais municípios: Palmas (442 ha), Lapa (340 ha), Campo do Tenente (320 ha) e Porto Amazonas (212 ha).

Uma porção significativa da região produtora no Sul está localizada onde ocorre acúmulo de frio próximo ao ideal. O restante da produção ocorre onde as necessidades climáticas das principais cultivares (do grupo 'Fuji' e 'Gala') não são plenamente satisfeitas (YAACOUBI et al., 2016), embora existam opções de cultivares com baixa necessidade de frio (PETRI; PALLADINI; POLA, 2006). Essas regiões apresentam invernos irregulares, geralmente com grande amplitude térmica diária e baixo acúmulo de frio (MALAGI et al., 2015).

2.2 CULTIVARES ESTUDADAS

2.2.1 Cultivar Eva

A cultivar Eva (IAPAR 75) é o resultado do cruzamento entre as cultivares Anna e Gala realizado em 1979 no IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná). Os testes de valor de cultivo foram iniciados em 1987, na região Sudoeste do Paraná, com lançamento no final da década de 1990. Essa 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).

Em locais com frio insuficiente, a maior frutificação dessa cultivar é alcançada com aplicação de cianamida hidrogenada, que promove brotação de maior número de gemas apicais e axilares (ROBERTO; KAGUEYAMA; DOS SANTOS, 2006). No leste paulista (Jundiaí-SP), sob clima tropical de altitude com acúmulo inferior à 40 HF e com aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral, as produtividades no segundo e terceiro ano após plantio foram de 10 e 31 t ha⁻¹, respectivamente, com colheita entre dezembro e janeiro (CHAGAS; CHAGAS; PIO, 2012).

Em região semiárida do nordeste brasileiro (Petrolina-PE) é necessário tratamento com cianamida hidrogenada e óleo mineral, controle de irrigação, desfolha e podas diferenciadas para estimular a entrada e saída da dormência. Mesmo sem ocorrer temperaturas abaixo de 7,2 °C, a cultivar Eva é capaz de completar o ciclo produzindo de 8 à 10 t ha⁻¹ (LOPES et al., 2012).

2.2.2 Cultivar Fuji Suprema (Clone de 'Fuji')

A cultivar Fuji original é resultado do cruzamento entre 'Ralls Janet' x 'Delicious', realizado por H. Nitsu, em 1939, no Japão. Foi selecionada em 1958, testada como Tohoku nº 7, renomeada em 1962 como 'Fuji' e introduzida, no Brasil, em 1967 (CAMILO; DENARDI, 2006).

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 pomar de macieira do Sr. Gilberto Brandt, no municí-

pio 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, mesmo em frutos sombreados, enquanto que as demais características, em relação a 'Fuji' original, permaneciam inalteradas. Em 1996, essa seleção foi lançada pela EPAGRI e nomeada como 'Fuji Suprema' (PETRI; DENARDI; SUZUKI, 1997). Em pouco tempo, tornou-se uma das mutações de 'Fuji' mais cultivada no Sul do Brasil (CAMILO; DENARDI, 2006).

A 'Fuji' é considerada uma cultivar com dormência profunda (HAUAGGE; CUMMINS, 1991a) necessitando entre 1040 ± 49 (GHARIANI; STEBBINS, 1994) e 1077 ± 74 (HAUAGGE; CUMMINS, 1991b) unidades de frio (UF) seguindo o modelo de previsão da saída de dormência da Carolina do Norte (SHALTOUT; UNRATH, 1983).

2.2.3 Cultivar Galaxy (Clone de 'Gala')

A cultivar Gala original é resultado do cruzamento entre 'Kidd's Orange' x 'Golden Delicious' no ano de 1934 na Nova Zelândia. Foi patenteada como 'Kidd's D-8' em 1974 nos EUA (MCKENZIE, 1974). Desde então, buscaram-se mutantes com melhorias na qualidade de fruto, principalmente em relação a epiderme com coloração uniforme e mais atraente ao consumidor (CAMILO; DENARDI, 2006).

Em 1969 foi encontrada uma mutação estável, com melhoria na qualidade de fruto e patenteada em 1977 como 'Royal Gala' (HOVE, 1977), algumas vezes tratada como cultivar Tenroy. Em 1985, uma mutação em 'Royal Gala' foi avaliada dando origem a cultivar Galaxy, patenteada em 1989 (KIDDLE, 1989), todas oriundas da Nova Zelândia.

Os principais mutantes de 'Gala' foram testados por Rapillard e Dessimoz (2000) em Vétroz, Suíça, entre 1994 e 1999. A 'Galaxy' apresentou maior vigor de crescimento das plantas, maior produção acumulada em seis safras, 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 (HAUAGGE; CUMMINS, 1991a) com necessidade de frio de 1064 ± 61 (HAUAGGE; CUMMINS, 1991b) a 1115 ± 57 UF (GHARIANI; STEBBINS, 1994). A grande necessi-

dade de frio não permite cultivo comercial dessa cultivar em áreas com baixo acúmulo por restringir fortemente a produtividade, como verificado por Chagas et al. (2012), a produtividade anual pode ser inferior a 2,0 t ha⁻¹ nesses locais.

2.3 A DORMÊNCIA

As fases de repouso e crescimento que ocorrem em plantas de macieira podem ser interpretadas de duas formas: como uma adaptação para resistir e sobreviver às temperaturas baixas durante o inverno; ou, sem descartar o caráter adaptativo, como sendo o principal resultado de um ritmo endógeno modulado pelo clima (BONHOMME, 1998). Assim, há coordenação do crescimento e desenvolvimento em períodos apropriados (EREZ, 2000; RUIZ; CAMPOY; EGEA, 2007).

Esse fenômeno pode ocorrer basicamente em todos os órgãos que possuem meristemas (EREZ, 2000). Contudo, quanto se trata de fruteiras perenes, a dormência nas gemas recebe a maior atenção por influenciar diretamente a capacidade reprodutiva e adaptativa de cultivares à regiões de cultivo cada vez mais quentes (ATKINSON; BRENNAN; JONES, 2013).

Uma planta pode estar, simultaneamente, sob diferentes estádios de dormência, visto que há grande diversidade de estados fisiológicos na população de gemas das plantas (BALANDIER et al., 1993; FAUST et al., 1997). Em função disto, não existe um momento fixo que delimita os diferentes tipos de dormência, mas sim uma contínua transição de estados que resulta em momentos com maior predomínio de um tipo de dormência sobre os demais (ANZANELLO, 2012).

Até a década de 1980, muitos estudos sobre dormência foram realizados, entretanto, não havia ainda um consenso sobre as terminologias utilizadas, culminando em mais de 50 termos, muitas vezes ambíguos e contraditórios (LANG et al., 1987). Estes mesmos autores propuseram nova definição, sendo a dormência entendida como suspensão temporária do crescimento visível e dividiram esse fenômeno em três fases distintas (para, endo e eco-dormência).

2.3.1 Paradormência

A paradormência é caracterizada pelas inibições correlativas, em que um determinado órgão da planta impede o crescimento de outro, sendo possível a retomada imediata do crescimento na supressão do órgão inibidor. Nessa fase, pode ocorrer alocação preferencial de recursos para reprodução e controle da arquitetura (HORVATH et al., 2003), conferindo plasticidade às plantas (DOMAGALSKA; LEYSER, 2011).

Em específico, o crescimento de uma gema pode ser inibido por outras gemas em estrato superior, algumas vezes denominada como dominância apical. Esta fase pode ocorrer em quatro estágios sucessivos e com sobreposição: durante a formação das gemas axilares; inibição do crescimento após formação da gema; reasumindo o crescimento apical ou a dominância através da decapitação; e, na formação de um novo ramo (CLINE, 1997). Isso ocorre na primavera e verão durante o crescimento e diferenciação dos órgãos (FUCHIGAMI; WISNIEWSKI, 1997).

Outra inibição (paradormência) que ocorre nas gemas é causada pela presença de folhas adjacentes (SAMISH, 1954), cuja queda pode promover a quebra de dormência. A técnica de desfolha artificial é empregado na produção de macieiras em regiões tropicais (LOPES et al., 2012; RIBEIRO et al., 2012). Os mecanismos relacionados com o processo de inibição folha/gema estão relacionados com a concorrência por recursos nutricionais, produção de hormônios e capacidade de percepção do fotoperíodo (CHARRIER; AMÉGLIO, 2011).

2.3.2 Endodormência

Nesta fase da dormência, a origem da inibição do crescimento situa-se no próprio meristema. O crescimento não ocorrerá de forma normal mesmo que as condições ambientais sejam favoráveis e as inibições correlativas sejam suprimidas. Para Faust et al. (1997) a endodormência pode ser ainda dividida em duas porções, a d-endodormência (*deep* ou profunda) e s-endodormência (*shallow* ou superficial). A d-endodormência ocorre a partir da paradormência, com possível sobreposição, até o pico de dormência. Nesse período os agentes químicos de indução de brota-

ção/floração não possuem efeito de complementação ao frio. A s-endodormência é o período após o pico de dormência, em que o uso de agentes químicos pode compensar o restante da necessidade de frio, antecipando e homogeneizando a retomada de crescimento.

Também, na dormência profunda, o tempo médio necessário para iniciar a brotação das gemas é máximo, com baixa taxa de brotação, com variações entre cultivares de alta e baixa necessidade de frio (HAUAGGE; CUMMINS, 1991a; ANZANELLO, 2012; MALAGI; LEGAVE, 2012). Quanto mais profunda a endodormência, maior é o número de horas de frio necessária para superá-la, o que implica no insucesso de algumas cultivares de clima temperado quando produzidas em ambientes subtropicais ou tropicais (EREZ, 2000).

A forma de superar a endodormência é frequentemente associada com a necessidade de exposição a temperaturas baixas que estimulem a recuperação da capacidade de crescimento. Weinberger (1950) utilizou a soma de horas com temperatura $\leq 7,2$ °C (45 °Fahrenheit) para determinar a necessidade de frio em horas de frio de pessegueiros em 11 anos de observação. Apesar de arbitrária, a temperatura base de 7,2 °C continua sendo amplamente utilizada.

2.3.3 Ecodormência

Caracteriza-se pelo não crescimento visível de um órgão, devido exclusivamente a fatores limitantes do desenvolvimento externos à planta. Após a suspensão desses fatores, ocorre a retomada do crescimento (LANG et al., 1987).

No caso típico de clima temperado, é a última fase do repouso de inverno, após a superação da endodormência, as gemas continuam em repouso até que ocorra acúmulo de calor suficiente para a retomada do crescimento (GIANFAGNA; MEHLENBACHER, 1985). A necessidade de calor varia entre cultivares e depende da quantidade de frio acumulado anteriormente (COUVILLON; EREZ, 1985; CITADIN et al., 2001).

Seu valor adaptativo refere-se ao retardamento da brotação/floração, após completado o acúmulo de frio, enquanto as condições de clima forem inadequadas. Dessa forma, pode ser utilizado como estratégia no melhoramento genético de frutí-

feras de clima temperado para cultivos em condições subtropicais, pois cultivares com baixa necessidade de frio estariam aptas a brotar mesmo em invernos quentes, entretanto, necessitam brotar tardiamente para evitar danos por congelamento devido às geadas (BYRNE; SHERMAN; BACON, 2000; CITADIN et al., 2001; EGEA et al., 2003; ANZANELLO, 2012).

Em trabalhos como de Chmielewski e Götz (2017), a ecodormência termina quando ocorre sinal de aumento de massa seca, fresca e teor de umidade nas gemas, por eles denominado de fase de desenvolvimento ontogenético. Para macieira, segundo Malagi et al. (2015), a fase de desenvolvimento ontogenético ocorre 4 a 7 semanas antes da ocorrência de brotação e floração no campo. O problema se torna conceitual no momento em que aceita-se a definição que dormência é a paralisação do crescimento visível. A fase de desenvolvimento ontogenético mencionada não é visível até tornar-se brotação ou floração. Logo, por definição, deve-se assumir que o desenvolvimento ontogenético faz parte da ecodormência. Em termos fisiológicos, ecodormência e desenvolvimento ontogenético são positivamente influenciados por temperaturas altas.

2.4 MODELOS DE PREDIÇÃO DA FENOLOGIA

Quanto ao estudo da dormência em gemas de fruteiras de clima temperado, está bem definido o papel do acúmulo de frio e sua ligação, quando em quantidade insuficiente, causa a redução da produtividade e da qualidade das frutas (SAURE, 1985; OUKABLI; BARTOLINI; VITI, 2003; PETRI; LEITE, 2004). Muitos estudos indicaram a necessidade de quantificar o requerimento de frio hibernal de cultivares para estabelecer regiões de adaptação e cultivo (ALBURQUERQUE; BURGOS; EGEA, 2004; ALLDERMAN; STEYN; COOK, 2011; LUEDELING et al., 2011; MEASHAM; QUENTIN; MACNAIR, 2014). No Brasil, os estados do Paraná e Rio Grande do Sul fornecem o zoneamento agroclimático para pessegueiro utilizando o mesmo princípio (HERTER et al., 2002; CARAMORI et al., 2008).

O efeito da temperatura sobre a dormência é de carácter dinâmico, de efeito duplo e não linear (CHUINE et al., 2016). Temperaturas baixas são necessárias para induzir a transição entre paradormência e endodormência, e temperaturas altas para

a saída da ecodormência. A ocorrência de temperaturas altas durante a endodormência e baixas durante a ecodormência são as principais causas de distúrbios, que incluem: atraso e desuniformidade na floração e/ou brotação e baixa fecundidade de flores, necrose de flores e outras anomalias. Diversos modelos preditivos foram desenvolvidos baseados na diferença comportamental das fruteiras de clima temperado sob diferentes temperaturas e, conseqüentemente, sobre a fenologia de saída de dormência.

2.4.1 Modelo Horas de Frio abaixo de 7,2 °C

Modelo proposto por Weinberger (1950), para cultivares de pessegueiro na Califórnia nos Estados Unidos. O modelo consiste na contabilização de horas em que a temperatura foi igual ou inferior a 7,2 °C (Figura 1). Cada cultivar apresenta uma necessidade diferente para acumular horas abaixo desse patamar. Através da facilidade de cálculo proposto no modelo, este se tornou amplamente difundido (HAWERROTH et al., 2010).

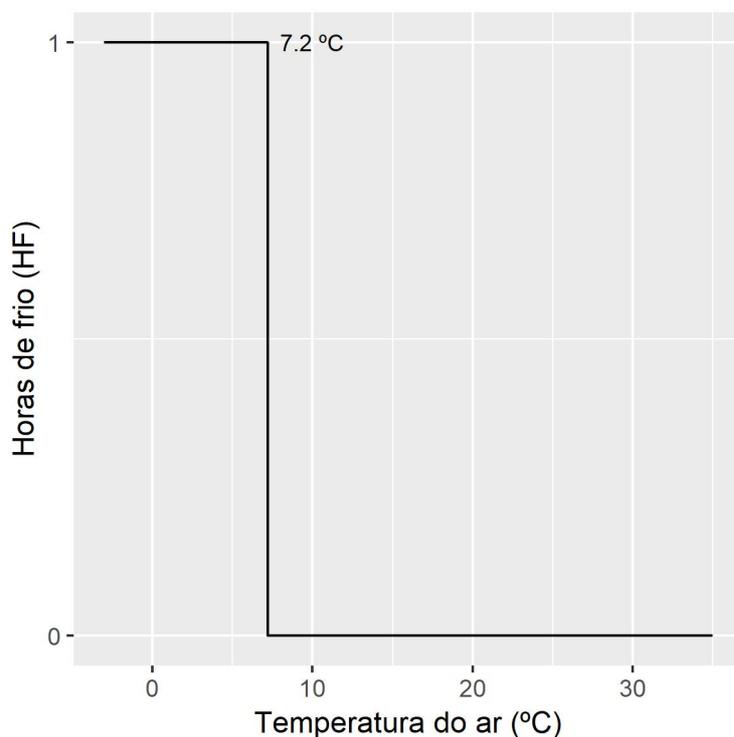


Figura 1. Somatório de Horas de Frio (HF) abaixo de 7,2 °C conforme Weinberger (1950) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.2 Modelo de Bidabé

Estudo realizado para avaliar a necessidade de frio e calor para macieira Bidabé (1967) baseou-se em uma função exponencial que decresce de acordo com o aumento da temperatura (LEGAVE; BACULAT; BRISSON, 2007). Da forma em que foi proposto (Figura 2) há acúmulo de 0,04 unidades de frio (UF) a cada hora de temperatura igual a 0 °C. O valor cai para 0,008 UF a 15 °C e torna-se praticamente nulo à 30 °C (0,001 UF) ou temperaturas superiores.

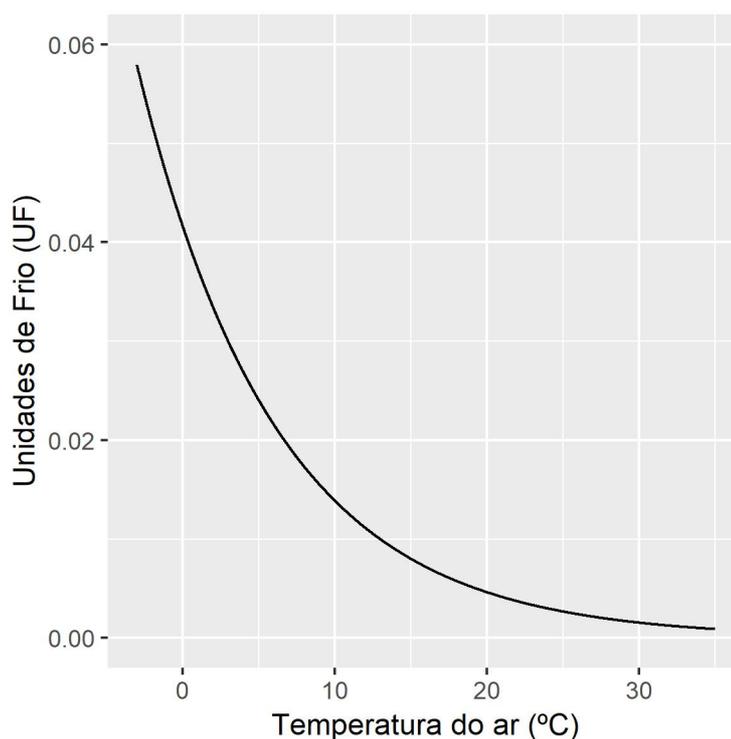


Figura 2. Somatório de Unidades de Frio pelo Modelo de Bidabé (1967) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.3 Modelo Carolina do Norte

De acordo com os desenvolvedores do modelo Shaltout e Unrath (1983), temperaturas de $-1,1\text{ °C}$ e $16,5\text{ °C}$ apresentam valores nulos (Figura 3). Adiciona-se 0,5 UF a cada hora com temperatura próximo a $1,6\text{ °C}$ e próximo a $13,6\text{ °C}$. Para a faixa de $1,6\text{ °C}$ a $7,2\text{ °C}$ uma unidade de frio é adicionada. Com temperaturas superiores a $16,5\text{ °C}$ os efeitos são anulados, contabilizando valores negativos. Temperaturas de $19,0\text{ °C}$ somam $-0,5$ UF e a $20,7\text{ °C}$ contabiliza-se $-1,0$ UF. O modelo chega a somar $-2,0$ UF em $23,3\text{ °C}$ permanecendo constante em temperaturas superiores (BOTE-LHO; AYUB; MÜLLER, 2006; FELIPPETO, 2008; ANZANELLO, 2012; PEREIRA et al., 2012). O artigo original descreveu nove valores pontuais de temperaturas e suas contribuições ao acúmulo de UF, mas não devem ser compreendidas como classes já que o modelo foi equalizado.

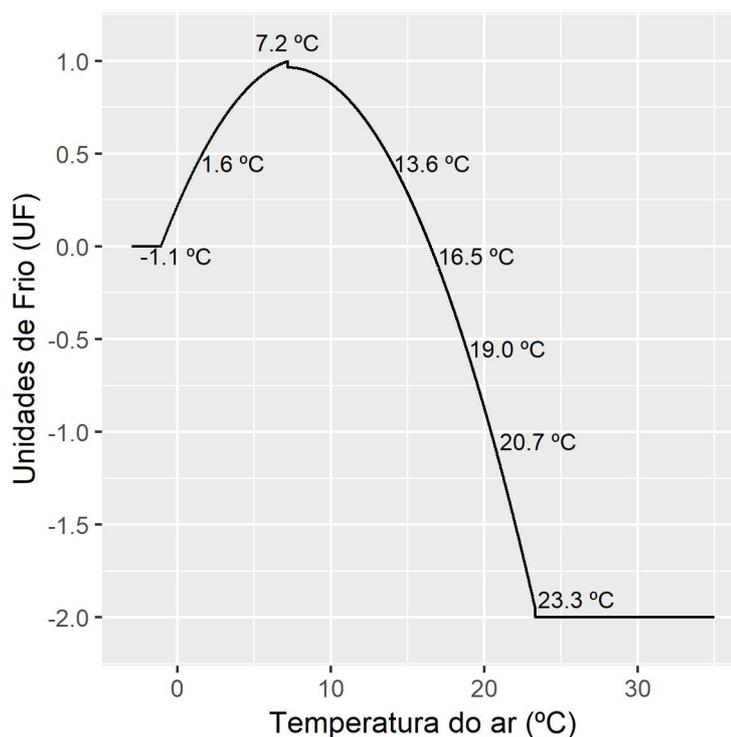


Figura 3. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Carolina do Norte de Shaltout e Unrath (1983) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.4 Modelo Dinâmico

Desenvolvido por Fishman, Erez e Couvillon (1987), nesse modelo o acúmulo de frio é estimado como porções de frio (PF). O modelo sugere que a superação da dormência depende do nível de alguns fatores indutivos à brotação, acumulados por meio de dois estágios. Em primeiro momento, a formação de precursor dependeria do frio e com a incidência de altas temperaturas poderia degradar ou paralisar o efeito do precursor, sendo assim considerado seu processo de formação dinamicamente reversível. Na segunda parte do processo, os efeitos do frio seriam fixados tornando-se irreversíveis, faz-se um novo ajustamento para corrigir o efeito das baixas temperaturas e considera uma temperatura crítica de 4 °C, sendo que abaixo desta uma pequena porção é transformada em produto, deste modo, iniciando assim um novo ciclo. Assim, o modelo dinâmico assume que as porções de frio (PF) uma vez acumuladas, não são anuladas por altas temperaturas (FISHMAN; EREZ; COUVILLON, 1987; FELIPPETO, 2008; ANZANELLO, 2012; MILECH, 2015). Como exemplo, em simulação (Figura 4) é possível observar que o acúmulo de PF não ocorre em tem-

peratura de 15 °C. Após 1000 horas de exposição à 7,2 °C há acúmulo de 35 PF, e quando há alternância entre 7,2 °C e 15 °C, respectivamente, por 8 e 16 horas, o acúmulo cai para 20 PF. Em ambos os casos não há retrocesso no processo de acúmulo.

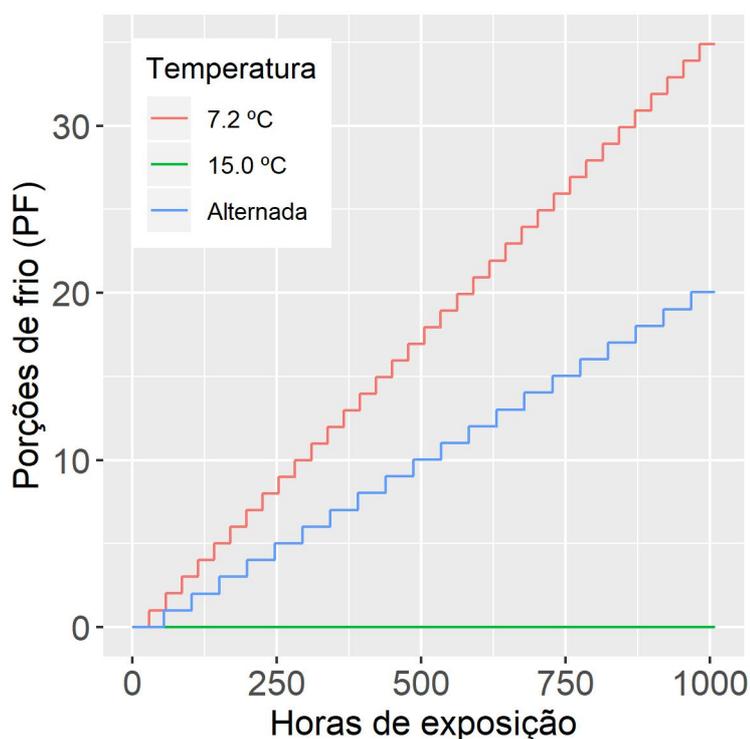


Figura 4. Porções de Frio (PF) acumulados pelo Modelo Dinâmico de Fishman, Erez e Couvillon (1987) em tempos de exposição (0-1000 horas) nas temperaturas de 7,2 °C, 15,0 °C e alternada (8 horas em 7,2 °C e 16 horas em 15 °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.5 Modelo GDH (*Growing Degree Hours*) de Richardson

Desenvolvido por Richardson, Seeley e Walker em 1974, consiste em um modelo linear para duas cultivares de pessegueiro. A escala denominada *Growing Degree Hour Celsius* (GDH °C) também chamada de unidades de calor, definida como sendo uma hora a uma temperatura de 1°C acima da temperatura base de 4,4°C (40 °F). E em 1975, o autor passa utilizar a temperatura de 4,5 °C (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1975). Deste modo, as unidades de calor (GDH °C) são calculadas subtraindo 4,5 de cada temperatura horária entre 4,5 °C e 25 °C, assim observa-se

que o maior acúmulo para uma hora é de 20,5 GDH °C e para temperaturas iguais ou inferiores a 4,5 °C não ocorre acúmulo (Figura 6).

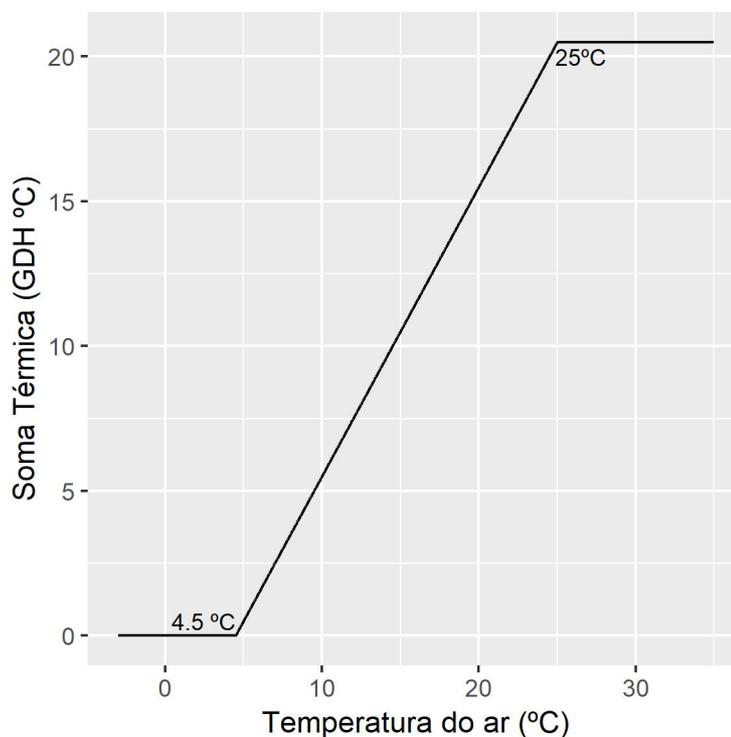


Figura 6. Soma térmica (GDH °C) pelo modelo de GDH de Richardson (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.6 Modelo GDH (*Growing Degree Hours*) de Anderson

No estudo de cerejeira o modelo proposto por Anderson, Richardson e Kesner (1986) diferentemente de outros modelos e semelhante ao GDH de Richardson, é utilizado para contabilizar a soma térmica, e utiliza duas equações distintas. A primeira equação baseia-se em temperaturas acima da temperatura base (4 °C) e abaixo da temperatura considerada como ótima (25 °C), a qual cria uma projeção de crescimento não linear entre a temperatura base e a ótima. Na segunda equação considera as temperaturas acima da ótima e abaixo da crítica (36 °C), em que o acúmulo de GDH °C apresenta crescimento reduzido criando uma projeção estagnada. Para temperaturas abaixo de 4 °C e acima de 36 °C não são contabilizadas unidades de GDH (Figura 5).

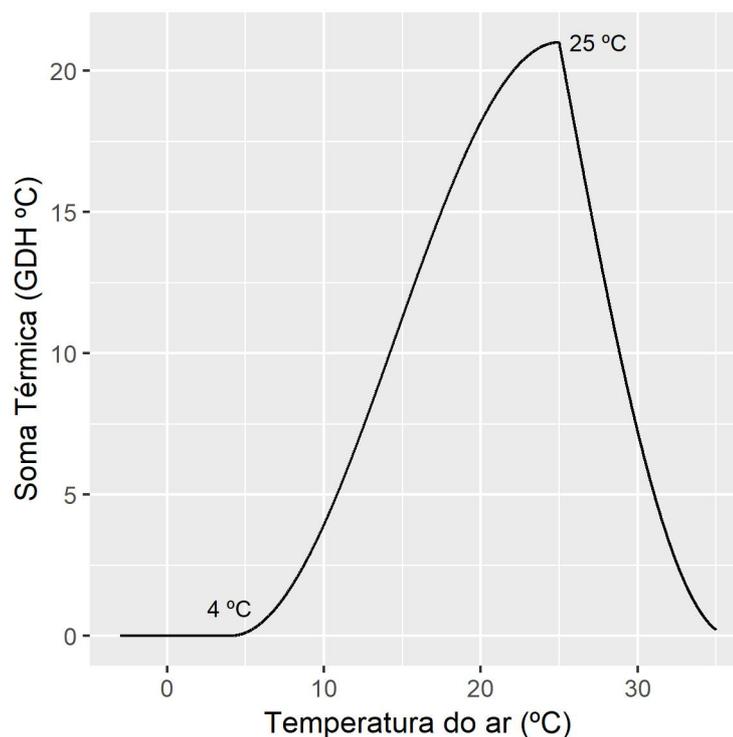


Figura 5. Soma térmica (GDH °C) pelo modelo de GDH de Anderson (ANDERSON; RICHARDSON; KESNER, 1986) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.7 Modelo de Cerejeira de Guak e Nielsen

Esse modelo foi desenvolvido com 8 classes variando de $-2,1\text{ °C}$ a 18 °C , sendo que as temperaturas superiores a 18 °C contabilizam -1 UF (Figura 7). Também são consideradas de efeito negativo temperaturas entre $16,1\text{ °C}$ e 18 °C ($-0,5\text{ UF}$). Não há acúmulo de frio em temperaturas abaixo de $-2,1\text{ °C}$ e entre $13,1\text{ °C}$ e 16 °C . A faixa de máxima eficiência, 1 UF por hora, é contabilizada entre $-2,0\text{ °C}$ e $7,0\text{ °C}$. Há acúmulo de $0,75\text{ UF}$ na faixa de $7,1$ e $8,0\text{ °C}$, $0,5\text{ UF}$ entre $8,1$ e $10,0\text{ °C}$ e de $0,25\text{ UF}$ entre $10,1$ e $13,0\text{ °C}$ (GUAK; NIELSEN, 2013).

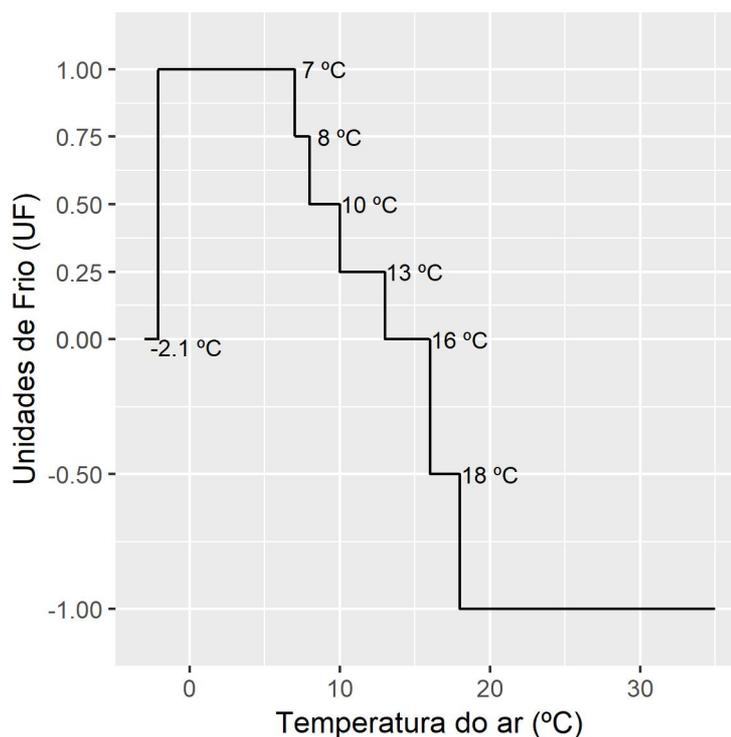


Figura 7. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Cerejeira de Guak e Nielsen (2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.

2.4.8 Modelo de Macieira de Guak e Nielsen

O modelo para macieira Gala possui as mesmas características do modelo projetado para cerejeira por Guak e Nielsen (2013), a única diferença é no intervalo de algumas classes (Figura 8). A faixa de máxima eficiência, 1 UF por hora, é contabilizada entre -2,0 °C e 5,5 °C. Há acúmulo de 0,75 UF na faixa de 5,6 e 7,0 °C, 0,5 UF entre 7,1 e 9,0 °C e de 0,25 UF entre 9,1 e 13,0 °C (GUAK; NIELSEN, 2013).

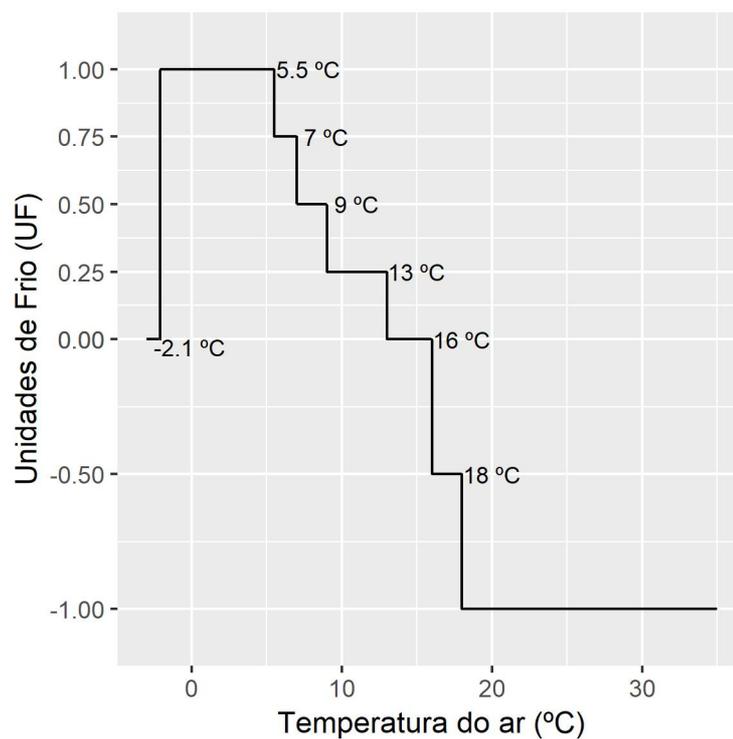


Figura 8. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Macieira de Guak e Nielsen (2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.9 Modelo de Jones

Desenvolvido por Jones et al. (2013) é baseado em um modelo exponencial decrescente em que 1 UF é atingida em $-2,7\text{ °C}$ e reduzindo para 0,5 UF em $2,0\text{ °C}$, 0,25 UF à $6,6\text{ °C}$ e 0,1 UF à $12,8\text{ °C}$ (Figura 9).

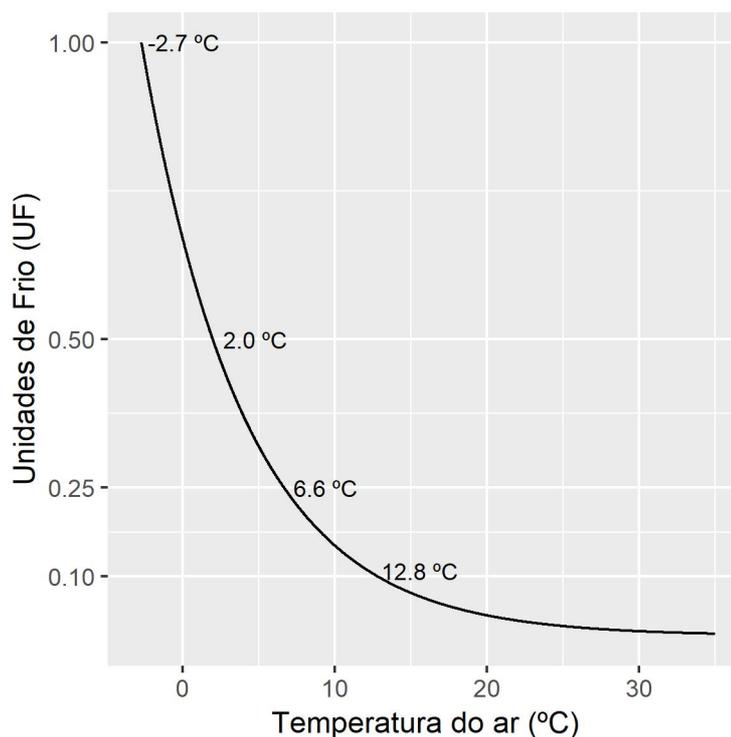


Figura 9. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Jones (JONES et al., 2013) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.10 Modelo de Landsberg

Desenvolvido por Landsberg (1974) considera que temperaturas iguais ou inferiores à 5 °C equivalem à 1 UF. Temperaturas superiores à 5 °C contabilizam o equivalente à razão entre 5 e a temperatura analisada. Assim, temperaturas de 10 °C equivalem à 0,5 UF, 15 °C soma 0,33 UF e 0,16 UF à 30 °C (Figura 10).

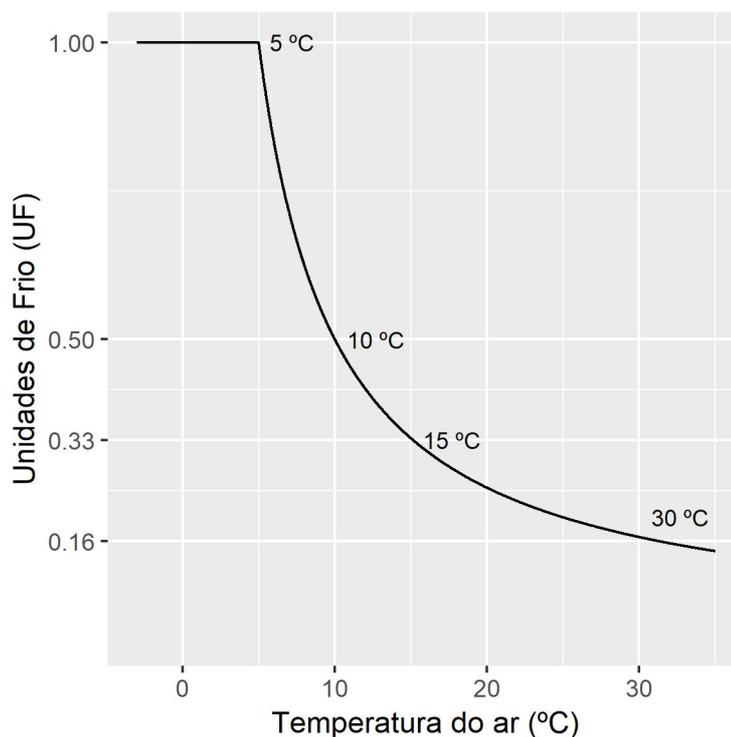


Figura 10. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Landsberg (1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.11 Modelo *Low-chill*

Proposto por Gilreath e Buchanan (1981), também conhecido como modelo de baixo frio, no qual se contabiliza como horas de frio as temperaturas abaixo de 8 °C e para temperaturas acima de 17 °C ocorre efeito negativo. O modelo consiste em diferentes classes de temperaturas para cálculo de unidades de frio. Para as temperaturas menores que -1 °C e entre 14 °C e 17 °C não ocorre acúmulo de frio. Nas temperaturas entre -1 °C e 1,8 °C e entre 8 °C e 14 °C acumula-se 0,5 UF. Já as temperaturas entre 1,8 °C e 8 °C acumulam 1 UF, para as temperaturas acima de 17 °C tem-se um efeito negativo, sendo que entre 17 °C e 19,5°C há um desconto de 0,5 UF e acima de 19,5 °C a redução é de 1 UF (Figura 11).

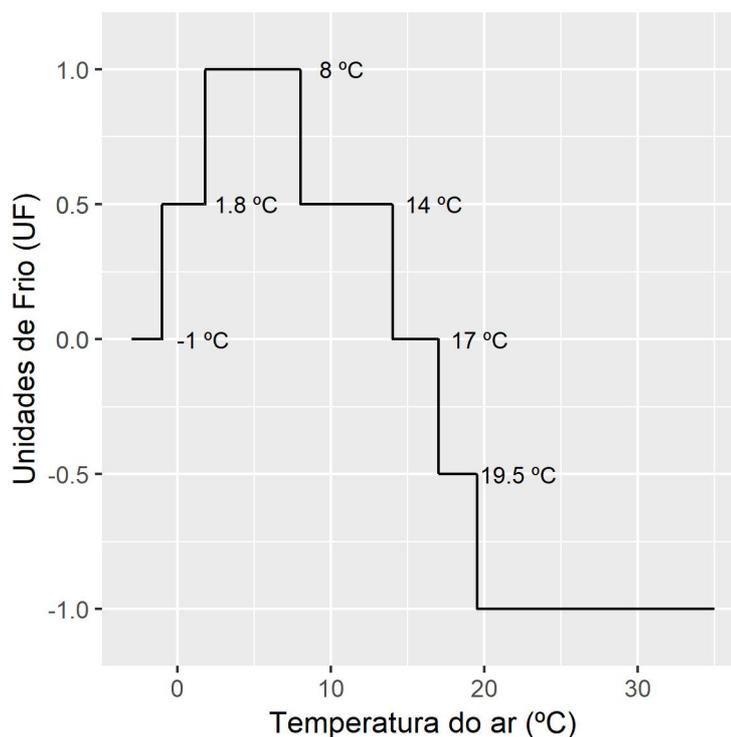


Figura 11. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Low-chill de Gilreath e Buchanan (1981) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.12 Modelo de Taiwan

O modelo foi desenvolvido em estudo de pessegueiro em Taiwan. Neste, uma unidade de frio é definida como uma hora em temperaturas abaixo de 7,2 °C, quando a temperatura está na faixa entre 7,3 °C e 15 °C considera-se que cada hora equivale a 0,5 UF (Figura 12). Não ocorre acúmulo de frio entre as temperaturas de 15,1 °C e 26,6 °C. No caso de temperaturas superiores, a influência passa a ser negativa, assim ocorre a redução de 0,5 UF nas temperaturas entre 26,7 °C e 27,8 °C e redução de 1 UF quando a temperatura for superior a 27,8 °C (LU et al., 2012).

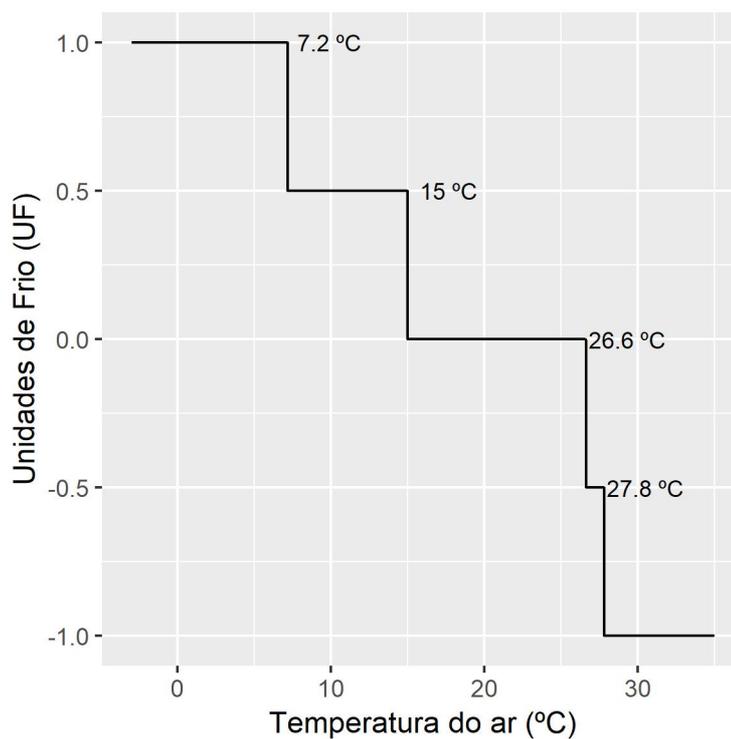


Figura 12. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Taiwan (LU et al., 2012) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.13 Modelo *Unified*

Modelo desenvolvido por Chuine em 2000, por meio de uma função exponencial, contabiliza valores de 1 UF para temperaturas abaixo de 12,5 °C e reduz drasticamente à valores próximo a zero acima de 13,5 °C (Figura 13).

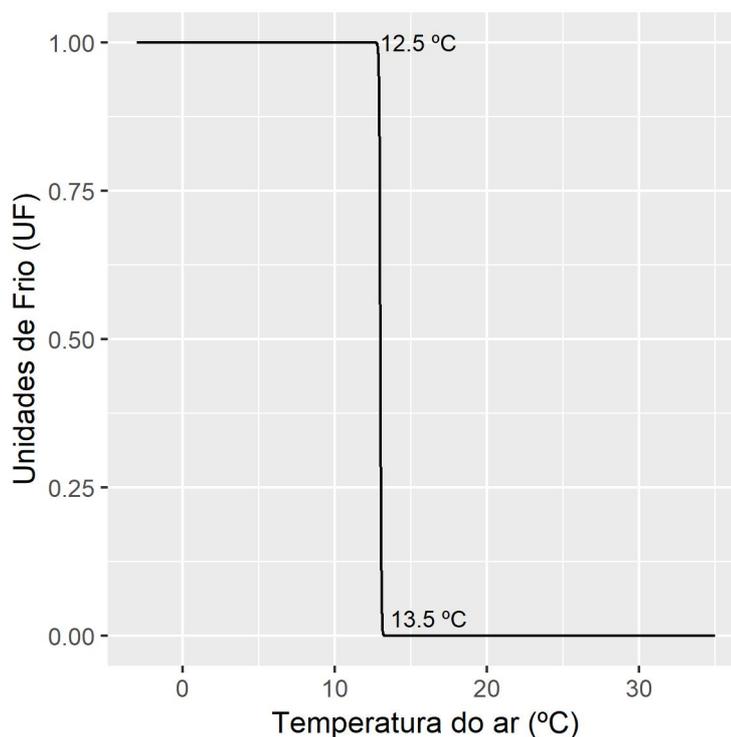


Figura 13. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo Unified (CHUINE, 2000) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.14 Modelo de Utah

Desenvolvido por Richardson, Seeley e Walker (1974) é considerado um modelo de alto acúmulo de frio por considerar que temperaturas acima de 15,9 °C podem anular o efeito das baixas temperaturas, enquanto que temperaturas abaixo de 1,4 °C e, superiores, entre 12,5 °C e 15,9 °C não influenciam no processo de superação da dormência (PEREIRA et al., 2012; MILECH, 2015).

Para calcular as unidades de frio necessárias para superação da endodormência considera-se que uma hora de temperaturas entre 1,5 °C e 2,4 °C ou entre 9,2 °C e 12,4 °C acumula 0,5 UF. Temperaturas entre 2,5 °C e 9,1 °C, acumula 1 UF por hora, enquanto que, temperaturas entre 12,5 °C e 15,9 °C ou abaixo de 1,4 °C não acumulam unidades de frio, sendo considerado como valor zero. Para uma hora com temperatura entre 16 °C e 18 °C tem-se um efeito negativo, subtraindo-se 0,5 UF do montante acumulado, no caso de temperatura acima de 18 °C anula-se 1 UF para cada hora de exposição (Figura 14).

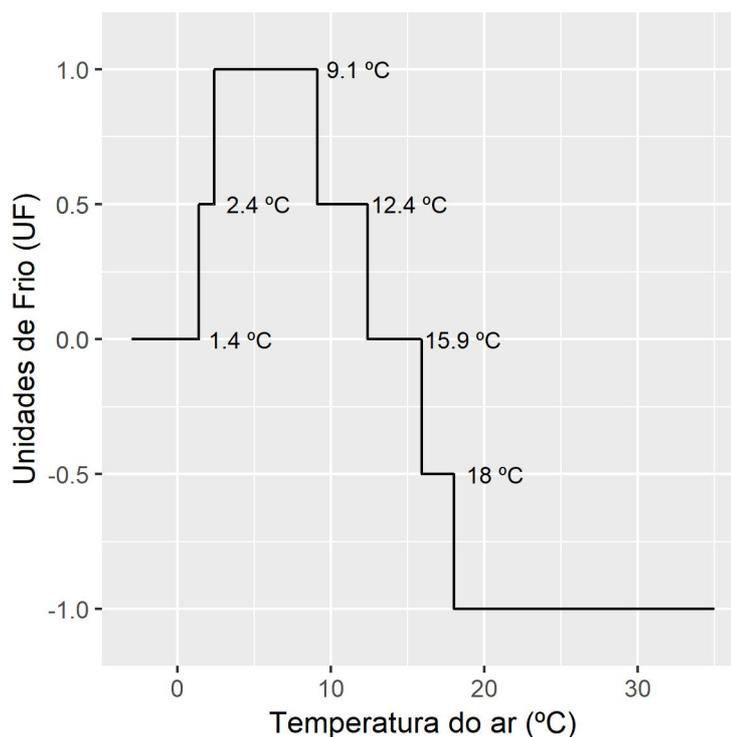


Figura 14. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo de Utah (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.4.14 Modelo PCU (*Positive Chill Units*)

O modelo de unidades de frio positivo é uma modificação do modelo de Utah desenvolvido para locais com invernos quentes, não sendo considerados os valores negativos para o acúmulo de frio (Figura 15). Para base de cálculo, procede-se da mesma forma que o modelo de Utah, contudo para as temperaturas acima de dos 16 °C os valores não contribuem negativamente para o acúmulo de unidades de frio (LINSLEY-NOAKES; ALLAN; MATTHEE, 1994; LINSLEY-NOAKES; LOUW; ALLAN 1995). A exclusão do efeito de temperaturas altas permitiu sua aplicação no zoneamento climático na África do Sul (SCHULZE; MAHARAJ, 2007).

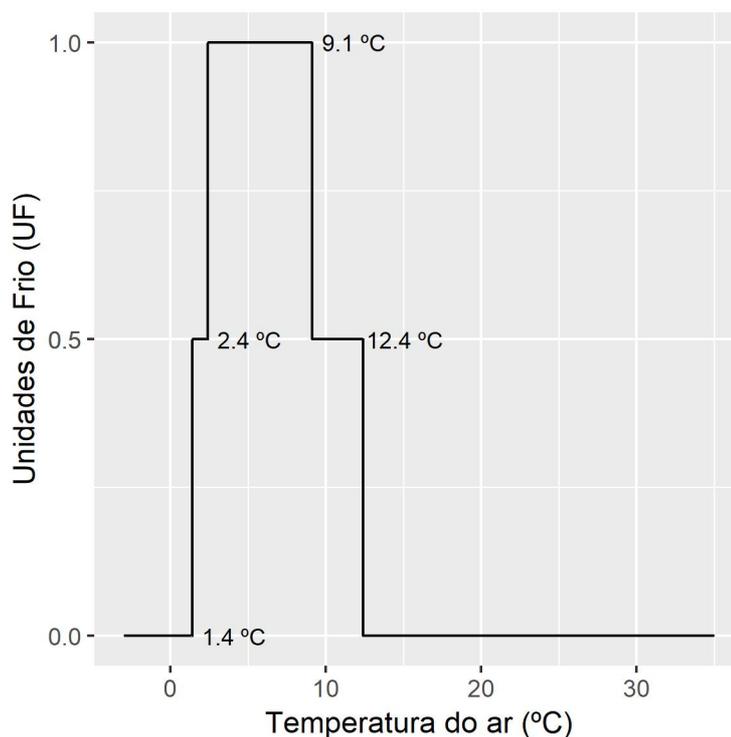


Figura 15. Somatório de Unidades de Frio (UF) pelo Modelo PCU (LINSLEY-NOAKES; ALLAN; MATTHEE, 1994) em diferentes temperaturas. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

2.5 RESISTÊNCIA AO CONGELAMENTO

Segundo Poirier, Lacoïnte e Améglio (2010), em fruteiras de clima temperado, baixas temperaturas têm sido o principal fator para mudanças drásticas na fisiologia das plantas, voltada à proteção contra os efeitos do congelamento dos tecidos durante o inverno. A redução do conteúdo de água nos tecidos devido ao acúmulo preferencialmente de amido, somado ao aumento de sorbitol, faz com que os tecidos vegetais tornem-se menos suscetíveis aos danos por congelamento.

A resistência ao congelamento pode ser quantificada em tecidos vegetais a partir da técnica de perda de eletrólitos (ZHANG; WILLISON, 1987; SUTINEN; PALTA; REICH, 1992; POIRIER; LACOINTE; AMÉGLIO, 2010). Como consequência do congelamento, os danos às membranas plasmáticas levam a perda de eletrólitos do simplasto para o apoplasto. A partir do apoplasto, os eletrólitos em diálise em água migram elevando sua concentração na solução e conseqüentemente a condutividade elétrica da mesma. A técnica é relativamente simples e permite estabelecer, a

partir de uma gama de temperaturas (ex: 0 à -40 °C) a temperatura no qual o extravasamento celular foi de 50%, chamada TL50.

A importância de se testar essa técnica é que: a redução da atividade metabólica em macieiras coincide com o período da dormência e a intensidade da dormência está relacionada com a capacidade de tolerar o frio extremo. Isso parece ser menos expressivo em condições de clima ameno, visto que, nessas condições, como o Sul do Brasil, mantêm-se a hidratação dos tecidos (YAACOUBI et al., 2016), pouca alteração nas concentrações de carboidratos (PATTO, 2017) e a dormência é superficial e distinta entre cultivares (SACHET, 2014; MALAGI, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

O material vegetal utilizado nesse trabalho foi coletado em pomar comercial situado no município de Palmas, Sudoeste do Paraná, na propriedade do senhor Geraldo Lovo (26°31' Sul, 52°00' Oeste e 1.140 metros de altitude). O clima do local é classificado como Cfb por Köppen (CAVIGLIONE et al., 2000). Essa região apresenta média de 400 horas de frio ($\leq 7,2$ °C) acumuladas entre maio e setembro (BOTELHO; AYUB; MÜLLER, 2006). As cultivares avaliadas foram Eva, Fuji Suprema e Galaxy. O pomar foi implantado no ano de 1999, em sistema adensado (2.857 plantas ha⁻¹) com tutoramento para 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' sobre porta-enxerto M9 e 'Eva' no sistema adensado (2.631 plantas ha⁻¹), sem tutoramento, com porta-enxerto 'Marubakaido' e inter-enxerto (filtro) de 15 cm de 'M.9' (porta-enxerto anão).

3.2 DADOS CLIMÁTICOS

Os dados de temperatura horária de Palmas-PR, no período de Janeiro de 2012 a Dezembro de 2017, foram registrados pela estação automática localizada no pomar (200-500 m dos talhões de coleta). Os dados foram disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).

3.3 TESTE DE TABUENCA

Esta avaliação foi realizada a partir da observação do efeito de temperaturas elevadas sobre o desenvolvimento das gemas mistas em esporões coletadas com diferentes acúmulos de frio em campo (TABUENCA, 1964). Foram coletadas durante o período de dormência entre abril e setembro, de 2012 até 2017.

As amostras foram divididas em duas porções homogêneas de gemas. Uma porção foi descamada, com auxílio de uma lupa, seca por 7 dias em estufa a 60 °C e

pesada para compor a massa seca direto do campo. A outra porção, foi mantida em câmara de crescimento a 25 °C, com 16 horas de fotoperíodo com a base dos esporões em espuma fenólica umedecida por 7 dias. Repetiu-se o procedimento de remoção das escamas, secagem e pesagem dos primórdios florais para compor a massa seca após forçagem. Cada amostra foi representada por 5 repetições de 5 gemas mistas. Computou-se a data de superação de endodormência nas gemas mistas quando as amostras, após forçagem, tiveram massa seca significativamente superior ($p \leq 0,05$ pelo teste t) aquelas amostradas diretamente do campo.

3.4 TEMPO MÉDIO DE BROTAÇÃO

Nesta avaliação, realizou-se o teste com estacas de nós isolados (RAGEAU, 1978) utilizando apenas gemas vegetativas axilares de ramos do tipo brindila em condição de campo, coletados em intervalos de aproximadamente 7-21 dias entre abril e novembro, de 2012 a 2017. 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. As demais gemas foram removidas e os ferimentos isolados com fita parafinada. As estacas foram colocadas em espuma fenólica umedecida e submetidas a 25 °C (± 1 °C) em câmara de crescimento. Foi registrado o tempo individual decorrido desde a colocação na câmara de crescimento até a brotação, considerado o estágio de ponta-verde (PV), e a média destes constituiu o tempo médio de brotação (TMB). As observações seguiram-se por 60 dias.

Os dados de TMB são comumente associados a endodormência pois remove-se a maioria das inibições correlativas (paradormência) e, colocadas em condições ótimas, não há ecodormência. Determinou-se o TMB12 como a data em que o TMB foi de 12 dias e a endodormência considerada superada. Esse valor, 12 dias, foi previamente determinada no ano de 2013, com um experimento expondo as três cultivares por 0-1200 horas a 5 °C (SACHET, 2014). Observou-se que a partir de TMB12 não há mais endodormência, apenas necessidade de calor, o que caracteriza ecodormência.

3.5 FENOLOGIA EM CAMPO

As datas de floração (F1) correspondem ao código 61 da escala BBCH para macieira (MEIER et al., 1994), quando 10% das inflorescências estão abertas (APÊNDICE A). A determinação foi realizada visualmente em períodos de observação espaçadas em 7 dias. Da mesma forma, anotou-se a data que final de queda de folha, que ocorre após a primeira geada para 'Fuji Suprema' e antecipadamente em 'Eva' e 'Galaxy', cuja queda de folhas foram intensificadas devido as doenças foliares causadas por *Marssonina mali* (mancha foliar de marssonina), em 'Eva', e *Colletotrichum spp.* (mancha-da-gala), em 'Galaxy'.

3.6 MODELOS DE PREDIÇÃO DA FENOLOGIA

O conjunto de dados da fenologia foi dividido em dois: o primeiro subconjunto, consistiu das observações realizadas entre os anos de 2012 e 2016 e foi utilizado para estimativa da média histórica e geração dos coeficientes de variação para cada modelo. O segundo subconjunto, constituído por observações do ano de 2017, serviu exclusivamente para verificação da qualidade de predição, ou seja, validação dos modelos.

Os modelos foram rodados em R Project (funções no APENDICE B) a partir das equações revisadas diretamente nos artigos originais. Foram testados os modelos de predição: Horas de frio abaixo de 7,2 °C (WEINBERGER, 1950), Bidabé (BIDABÉ, 1967), Carolina do Norte (SHALTOUT; UNRATH, 1983), Dinâmico (FISHMAN; EREZ; COUVILLON, 1987), GDH de Anderson (ANDERSON; RICHARDSON; KESNER, 1986), GDH de Richardson (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974), Cerejeira de Guak e Nielsen (GUAK; NEILSEN, 2013), Macieira de Guak e Nielsen (GUAK; NEILSEN, 2013), Jones (JONES et al., 2013), Landsberg (LANDSBERG, 1974), Low-Chill (GILREATH; BUCHANAN, 1981), PCU (LINSLEY-NOAKES; ALLAN; MATTHEE, 1994), Taiwan (LU et al., 2012), Unified (CHUINE, 2000) e Utah (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974). O modelos foram previamente apresentados e referenciados no Item 2.4 (Modelos de Predição da Fenologia).

Arbitrariamente, para fins de discussão e comparações, o modelo foi considerado útil quando apresentou coeficiente de variação (em %) e erro de estimativa (em dias) inferiores à 20.

3.7 MODELAGEM DA DINÂMICA DO TMB

Buscou-se modelar os valores de TMB por um modelo com formato de sino (“*bell-shaped*” *curve*) cujos parâmetros sejam úteis para a explicação do comportamento da dormência em gemas vegetativas. Para isso, utilizou-se o modelo linear com ponto de ruptura (*Linear Model with a Breakpoint*) do pacote *lm.br* (ADAMS; NIST; ADAMS, 2017) do R (TEAM, 2017ab). Em que:

$$y = \alpha + B * \min(x - \theta, 0) + B_p * \max(x - \theta, 0) + e$$

Sendo, em relação a este estudo:

y = valor estimado de TMB;

alpha = valor de TMB no ponto de ruptura (ou pico);

B = coeficiente à esquerda do ponto de ruptura;

B_p = coeficiente à direita do ponto de ruptura;

x = variável independente, nesse caso, dias do ano ou dias julianos (1 a 365);

theta = valor de x quando y é igual ao alpha, ou seja, data de ocorrência do pico;

e = erro residual.

As funções mínimo (min) e máximo (max) funcionam como algoritmos lógicos para zerar os produtos de $B * \min(x - \theta, 0)$ e de $B_p * \max(x - \theta, 0)$ quando x for maior e menor que theta, respectivamente (Figura 16).

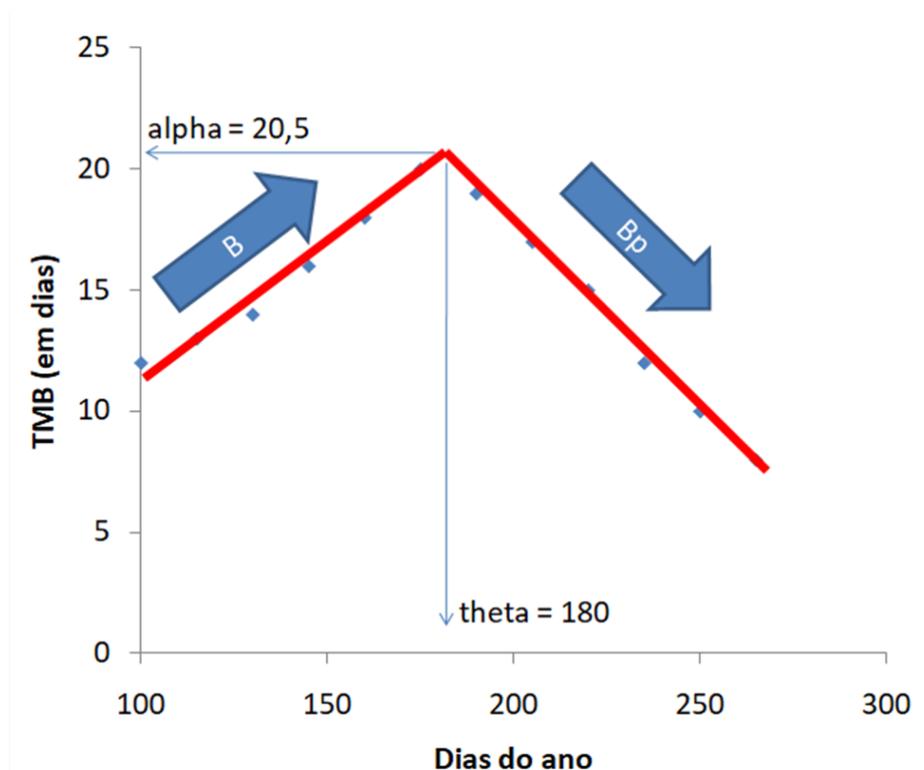


Figura 16. Progresso típico da dormência em relação ao tempo médio de brotação (TMB, pontos azuis) geralmente observado em estacas com nós isolados ao longo do período hibernal. Nesse exemplo, o modelo linear com ponto de ruptura (linhas vermelhas) foi ajustado apresentando α (ou pico de endodormência) igual à 20,5 dias no 180º dia do ano (θ). O coeficiente B foi responsável pela inclinação no período que antecede o α e B_p responsável pela inclinação de saída de endodormência (após atingir o α).

A probabilidade de existir um 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. O tamanho do efeito (η^2 quadrado) para cada fonte de variação foi apresentado na análise de variância. Os resíduos das análises de variância foram testados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, quando constatado a violação desse pressuposto, os dados foram transformados pela função de transformação de Tukey (boxcox).

3.8 TEMPERATURA LETAL

Para investigar a resistência ao frio utilizou-se o teste do congelamento e leitura de perda de eletrólitos, conforme descrito por Poirier, Lacoïnte e Améglio (2010), com modificações. Coletaram-se 45 ramos de aproximadamente 35 cm para cada

cultivar em cada coleta. As coletas foram realizadas no ano de 2016, nos dias: 21 de maio, 18 de junho, 30 de julho, 30 de agosto e 27 de setembro.

3.8.1 Congelamento e leitura da perda de eletrólitos

Para cada cultivar e temperatura testada, utilizou-se 4 repetições contendo 5 segmentos de 5 cm da porção mediana do lenho dos ramos (descartaram-se as cascas e as gemas). As amostras foram agrupadas de acordo com a temperatura de tratamento. Cada temperatura foi monitorada individualmente através da inserção de um termopar tipo K no interior da amostra, leituras feitas em termômetro digital Omega-RDXL4SD. As amostras foram colocadas dentro de uma caixa isotérmica em ultrafreezer -45 °C (Indrel-CPH45D). A redução de temperatura observada foi de aproximadamente 5 °C por hora. Ao atingir a temperatura desejada (-5 °C, -10 °C, -15 °C, -20 °C, -30 °C e -40 °C), a amostra foi transferida para BOD, onde permaneceu durante 24 horas a 5 °C para descongelamento lento. Após o tratamento de congelamento-descongelamento, secções do ramo foram cortadas com 5 mm de comprimento, no total de 3 gramas de material, e imersas em 15 ml de água deionizada em tubos de ensaio. Os tubos permaneceram durante 24 h a 5 °C. No final das 24 horas mediu-se a condutividade inicial (C1) com um medidor de condutividade elétrica (AAKER-MCA150). Após leitura C1, os tubos foram autoclavados a 120 °C durante 25 minutos para romper todas as células, e arrefecidos em temperatura ambiente por 24 horas. A condutividade elétrica foi medida novamente para se obter a condutividade máxima (C2). A perda electrolítica (PEL) foi calculada como: $PEL = 100 * C1 / C2$. A temperatura de letalidade 50% (TL50) foi encontrada através da interpolação linear das PEL em cada temperatura, utilizando-se a função *approx* (pacote *stats*) do R (TEAM, 2017ab).

3.8.2 Teor de umidade

Para cada cultivar e coleta, mensurou-se a massa fresca (MF) e a massa seca (MS) de 5 ramos secados em estufa a 60 °C por 7 dias. Calculou-se a umidade em percentual: $U (\%) = 100 \cdot (MF - MS) / MF$

3.8.2 Análise dos dados

Utilizou-se a estatística descritiva apresentando-se em cada ponto as médias de PEL (n=4), TMB (n ≤ 80) e U (n=5) seguidas por barras que indicam o erro padronizado. Também, relacionaram-se as variáveis através da correlação de Spearman e teste t para significância dos coeficientes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar os 15 modelos de predição da fenologia, foram utilizados os dados de 2012 à 2016 o que gerou as médias históricas e coeficientes de variação para as variáveis saída de endodormência em gemas mistas (Teste de Tabuena), em gemas vegetativas axilares (TMB12) e floração em campo. Estimaram-se a data fenológica e o erro para o ano de 2017 a partir das médias históricas.

A data saída de endodormência pelo Teste de Tabuena foi marcadamente inferior para 'Eva', na média histórica, esta superou a endodormência em gemas mistas de esporões em 179 DDA (dias do ano ou dias julianos) que equivale à 28 de Junho. 'Fuji Suprema' (252 DDA = 09 de Setembro) e 'Galaxy' (250 DDA = 07 de Setembro) apresentam comportamento semelhante, tendo historicamente saído da endodormência na primeira quinzena de Setembro (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de endodormência em gemas mistas pelo Teste de Tabuena nas macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parênteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Modelos	Média histórica (2012-2016)			Erro em 2017 (em dias)		
	Eva	Fuji Suprema	Galaxy	Eva	Fuji Suprema	Galaxy
1 - Data de Tabuena (DDA)	179 (10)	252 (4)	250 (2)	16	-8	-6
2 - Horas de Frio (HF)	142 (80)	335 (46)	327 (51)	-3	-100	-100
3 - Bidabé (UF)	21 (28)	40 (9)	39 (10)	13	-4	-2
4 - Carolina do Norte (UF)	223 (123)	574 (18)	578 (21)	8	-18	-21
5 - Dinâmico (PF)	18 (58)	37 (26)	36 (27)	11	-32	-32
6 - GDH - Anderson (GDH °C)	22682 (14)	39191 (9)	38807 (6)	15	-11	-10
7 - GDH - Richardson (GDH °C)	22091 (15)	38381 (8)	38000 (4)	13	-12	-10
8 - Cerejeira - Guak e Nielsen (UF)	-303 (44)	-341 (56)	-334 (57)	-6	59	56
9 - Macieira - Guak e Nielsen (UF)	-345 (33)	-429 (41)	-423 (41)	1	66	66
10 - Jones (UF)	218 (33)	426 (13)	421 (15)	12	-3	-1
11 - Landsberg (UF)	834 (26)	1570 (8)	1557 (8)	13	-7	-5
12 - Low-Chill (UF)	81 (245)	320 (42)	320 (47)	-8	-40	-40
13 - Positive Chill Units (UF)	439 (40)	879 (17)	878 (18)	11	10	10
14 - Taiwan (UF)	636 (33)	1277 (7)	1266 (9)	13	-4	-2
15 - Unified (UF)	773 (38)	1535 (11)	1526 (12)	10	1	5
16 - Utah (UF)	-224 (64)	-209 (87)	-199 (90)	-38	-6	-9

DDA- Dias do ano ou dias julianos; HF- Horas de frio; UF- Unidades de frio; PF- Porções de frio; GDH °C- Graus hora. Modelos: 1- Estimativa pelo teste biológico de Tabuena (1964); 2- Weinberger (1950); 3- Bidabé (1967); 4- Shaltout e Unrath (1983); 5- Fishman, Erez e Couvillon (1987); 6- Anderson, Richardson e Kesner (1986); 7- Richardson (1974); 8 e 9- Guak e Neilsen (2013); 10- Jones et al. (2013); 11- Landsberg (1974); 12- Gilreath e Buchanan (1981); 13- Linsley- Noakes, Allan e Matthee (1994), 14- Lu et al. (2012); 15- Chuine (2000) e 16- Richardson, Seeley e Walker (1974).

A saída da endodormência nas gemas vegetativas axilares foi definida quando TMB foi igual a 12 dias (TMB12). Isso ocorreu sempre após as gemas saírem de endodormência. Em média, 'Eva' superou a endodormência no início de Agosto (213 DDA = 01 de Agosto) e 'Fuji Suprema' (262 DDA = 19 de Setembro) e 'Galaxy' (268 DDA = 25 de Setembro) na segunda quinzena de Setembro (Tabela 2).

A floração em campo ocorreu na primeira quinzena de Agosto para 'Eva' (220 DDA = 08 de Agosto) e na primeira semana de Outubro para 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' (277 DDA = 04 de Outubro, Tabela 3). Para as três variáveis fenológicas apresentadas, observou-se similaridade no comportamento entre 'Fuji Suprema' e 'Galaxy', enquanto 'Eva' destacou-se pela maior precocidade e, conseqüentemente, menores necessidades de acúmulo de frio ou calor.

Tabela 2. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de endodormência em gemas vegetativas pelo Teste de Gemas Isoladas nas macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parenteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Modelos	Média histórica (2012-2016)			Erro em 2017 (dias)		
	Eva	Fuji Suprema	Galaxy	Eva	Fuji Suprema	Galaxy
1 - Data de TMB12 (DDA)	213 (5)	262 (4)	268 (6)	5,6	-13	-20
2 – Horas de frio (HF)	237 (59)	354 (52)	345 (53)	12	-95	-96
3 – Bidabé (UF)	30 (14)	42 (13)	43 (15)	10	-18	-24
4 - Carolina do Norte (UF)	480 (41)	572 (24)	544 (23)	-12	-12	1
5 – Dinâmico (PF)	28 (31)	39 (30)	39 (32)	3,6	-95	-96
6 - GDH – Anderson (GDH °C)	29931 (10)	41940 (6)	43760 (8)	-2	-14	-20
7 - GDH – Richardson (GDH °C)	29290 (9)	41137 (5)	42989 (9)	-3	-14	-20
8 - Cerejeira - Guak e Nielsen (UF)	-269 (59)	-381 (52)	-437 (44)	-15	75	78
9 - Macieira - Guak e Nielsen (UF)	-337 (43)	-476 (37)	-533 (32)	19	74	78
10 – Jones (UF)	319 (19)	452 (18)	459 (20)	12	-21	-26
11 – Landsberg (UF)	1191 (12)	1672 (11)	1714 (14)	7,7	-18	-25
12 – Low-Chill (UF)	255 (60)	320 (53)	290 (57)	-38	-35	-30
13 - Positive Chill Units (UF)	668 (22)	942 (22)	953 (25)	10	-27	-29
14 – Taiwan (UF)	960 (16)	1351 (12)	1367 (15)	8,8	-27	-29
15 – Unified (UF)	1164 (18)	1632 (16)	1664 (20)	7,7	-27	-30
16 – Utah (UF)	-159 (97)	-236 (84)	-285 (67)	-41	27	59

TMB12 (DDA)- Dias do ano ou dias julianos em que o tempo médio de brotação atingiu o valor igual a 12 dias; HF- Horas de frio; UF- Unidades de frio; PF- Porções de frio; GDH °C- Graus hora. Modelos: 1- Rageau (1978); 2- Weinberger (1950); 3- Bidabé (1967); 4- Shaltout e Unrath (1983); 5- Fishman, Erez e Couvillon (1987); 6- Anderson, Richardson e Kesner (1986); 7- Richardson (1974); 8 e 9- Guak e Nielsen (2013); 10- Jones et al. (2013); 11- Landsberg (1974); 12- Gilreath e Buchanan (1981); 13- Linsley- Noakes, Allan e Matthee (1994), 14- Lu et al. (2012); 15- Chuine (2000) e 16- Richardson, Seeley e Walker (1974).

A data de superação da endodormência em gemas mistas e vegetativas axilares podem ser estimadas a partir da média histórica e, com maior grau de variação, utilizando-se os modelos de GDH de Anderson e de Richardson. Em comum, ambos são modelos de soma térmica que contabilizam acúmulo de calor. A data de floração pode ser estimada pela média histórica, ou pelos modelos de Bidabé, GDH de Anderson e de Richardson, Jones e Landsberg.

Dos 15 modelos avaliados, apenas a média histórica e os modelos de GDH de Anderson e de Richardson foram concomitantemente úteis para a predição das três datas fenológicas estudadas. A ocorrência de média histórica razoavelmente constante faz com que o efeito da variação do ambiente entre os anos seja pouco relevante para a estimativa das datas fenológicas em macieiras cultivadas em Pal-

mas-PR. Por exemplo a Cultivar Eva, na ocorrência de 111 HF em 2015 e 466 HF em 2016, apresentou apenas três dias de variação em sua data de floração.

Tabela 3. Estimativas de 15 modelos aplicados na previsão de saída de dormência pela data de floração das macieiras Eva, Fuji Suprema e Galaxy cultivadas em Palmas-PR. Médias e coeficiente de variação (em % entre parenteses) para observações entre os anos 2012 e 2016 e erro de estimativa para o ano de 2017. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Modelos	Média histórica (2012-2016)			Erro em 2017 (dias)		
	Eva	Fuji Suprema	Galaxy	Eva	Fuji Suprema	Galaxy
1 – Data de Floração (DDA)	220 (4)	277 (3)	277 (3)	10	-5	-5
2 – Horas de frio (HF)	271 (47)	362 (50)	362 (50)	4	-72	-72
3 – Bidabé (UF)	32 (9)	45 (12)	45 (12)	14	-8	-8
4 - Carolina do Norte (UF)	516 (36)	547 (47)	547 (47)	-11	24	24
5 – Dinâmico (PF)	30 (27)	41 (28)	41 (28)	12	-72	-72
6 - GDH – Anderson (GDH °C)	31146 (10)	46052 (6)	46052 (6)	5	-5	-5
7 - GDH – Richardson (GDH °C)	30496 (9)	45187 (5)	45187 (5)	3	-6	-6
8 - Cerejeira - Guak e Nielsen (UF)	-251 (68)	-477 (57)	-477 (57)	-9	105	105
9 - Macieira - Guak e Nielsen (UF)	-324 (50)	-578 (43)	-578 (43)	19	105	105
10 – Jones (UF)	345 (14)	480 (17)	480 (17)	14	-10	-10
11 – Landsberg (UF)	1266 (8)	1793 (10)	1793 (10)	12	-9	-9
12 – Low-Chill (UF)	288 (52)	285 (84)	285 (84)	-47	-5	-5
13 - Positive Chill Units (UF)	720 (18)	994 (22)	994 (22)	15	-34	-34
14 – Taiwan (UF)	1028 (8)	1424 (13)	1424 (13)	13	-26	-26
15 – Unified (UF)	1244 (12)	1734 (16)	1734 (16)	14	-35	-35
16 – Utah (UF)	-140 (124)	-320 (87)	-320 (87)	-36	95	95

DDA- Dias do ano ou dias julianos; HF- Horas de frio; UF- Unidades de frio; PF- Porções de frio; GDH °C- Graus hora. Modelos: 1- Estágio 61 da escala BBCH; 2- Weinberger (1950); 3- Bidabé (1967); 4- Shaltout e Unrath (1983); 5- Fishman, Erez e Couvillon (1987); 6- Anderson, Richardson e Kesner (1986); 7- Richardson (1974); 8 e 9- Guak e Neilsen (2013); 10- Jones et al. (2013); 11- Landsberg (1974); 12- Gilreath e Buchanan (1981); 13- Linsley- Noakes, Allan e Matthee (1994), 14- Lu et al. (2012); 15- Chuine (2000) e 16- Richardson, Seeley e Walker (1974).

Observou-se que a dinâmica do TMB pode ser satisfatoriamente modelada por uma equação linear com *breakpoint* (Figuras 17, 18 e 19). O coeficiente B corresponde a inclinação da reta à esquerda, ou seja, corresponde a taxa de entrada em endodormência até o ponto de máxima endodormência (alpha). Não houve efeito significativo da cultivar e de sua interação com os anos (Tabela 4). Isso indica que apenas as condições ambientais estão envolvidas no quão rápido as macieiras adquirem endodormência, mensurados a partir do TMB de gemas vegetativas axilares. A falta de efeito da cultivar sobre o coeficiente B indica que os sinais ambientais são perceptíveis de forma equivalente entre as cultivares.

Tabela 4. Resumo da anova apresentando o tamanho do efeito (eta quadrado) em percentual para cada fonte de variação (FV) atuando sobre os coeficientes B e Bp, constantes alpha e theta e TMB predito em 12 dias (TMB12) do modelo linear com ponto de ruptura (*breakpoint*). Análise referente as cultivares de macieira Eva, Fuji Suprema e Galaxy durante os períodos de dormência, de 2012 à 2017 cultivadas em Palmas-PR. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

FV	GL	B	alpha	theta	Bp	TMB12
Ano (A)	5	58,43**	63,54**	35,08**	11,43**	8,71**
Cultivar (C)	2	0,40 ns	13,44**	21,2**	28,39**	74,14**
A x C	10	13,45 ns	6,41 ns	25,01**	44,03**	11,57**
Residual	44	27,72	16,61	18,72	16,15	5,58
CV		20,65	2,56	8,16	8,34	1,86

** Significativo a $p < 0,01$ e ns não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F.

Houve correlação entre B e o pico de endodormência. Isso influenciou diretamente a profundidade de dormência, representada pelo aumento de alpha, com correlação de 0,85 ($p < 0,001$ e GL = 16). O valor de alpha representa o ponto de máxima endodormência e também o ponto de ruptura de indução à endodormência. Esse valor é influenciado pelo efeito do ano e do cultivar, mas sem interação entre estes fatores. Nesse caso, é possível inferir que 'Eva' terá dormência mais superficial do que 'Fuji Suprema' e 'Galaxy', por mais que esses valores mudem entre os anos.

Na modelagem da dinâmica da endodormência, o valor de alpha foi um dos principais parâmetros. Quanto maior o pico da endodormência que ocorreu no tempo theta, maior foi o tempo entre theta e a saída de: endodormência nas gemas mistas pelo teste de Tabuenca ($r=0,76$, $p < 0,001$), gemas vegetativas axilares pelo valor de TMB12 ($r=0,82$, $p < 0,001$) e floração ($r=0,67$ e $p=0,002$). Isso tornou as plantas mais resistentes à perda por geadas.

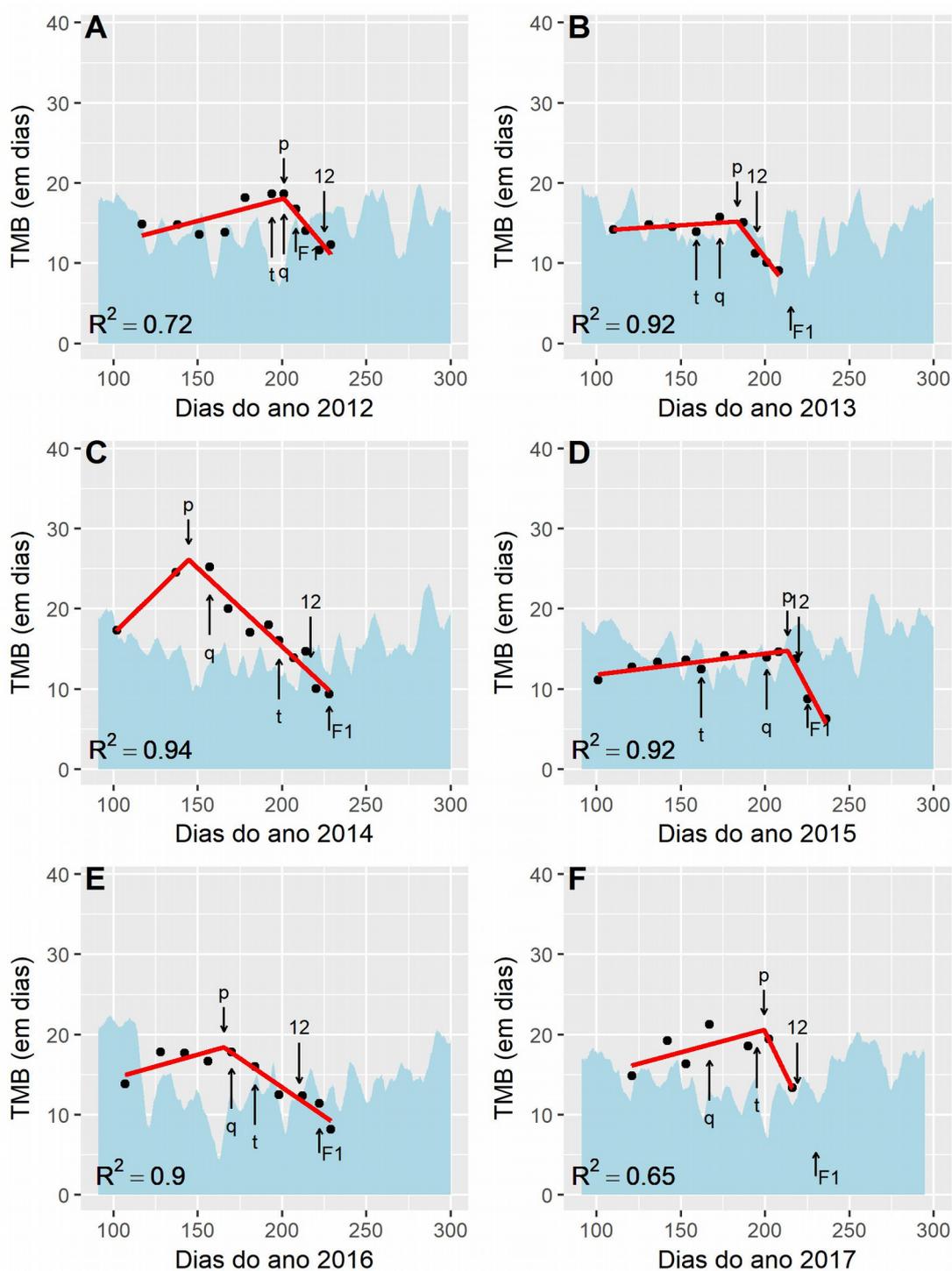
Além da influência direta do parâmetro B, o qual foi determinado apenas pelo efeito climático, o valor de alpha foi relacionado com a data de desfolha. Neste trabalho, quanto menor a diferença entre a data de desfolha e o valor de theta, maior foi o valor do coeficiente B, de entrada em endodormência, ($r=-0,77$ e $p < 0,001$) e o valor final de alpha ($r=-0,53$ e $p=0,023$). Ou seja, uma forte indução de entrada e, conseqüentemente, com pico de endodormência ainda na presença de folhagem, leva a valores de alpha maiores que em ocorrências após a desfolha. Nesse caso, é de se inferir que a manutenção da folha torna a planta mais perceptível à necessidade de elevar o pico de endodormência.

O pico de TMB tem ocorrido entre os dias julianos 140 e 237 (Figuras 17, 18 e 19), o que significa 20 de Maio a 25 de Agosto, com valores entre 15 e 31 dias de profundidade da endodormência. Cook et al. (2017), na África do Sul, classificaram as áreas de cultivo em três zonas sendo uma na qual o pico ocorre em 145 (25 de maio) com 67 dias de profundidade da endodormência, outra onde o pico ocorre em 155 (04 de junho) com 42 dias e, a terceira, com 157 (06 de junho) com 40 dias. Com 'Royal Gala' apresentando maiores valores de pico (40-110 dias) e maior variabilidade entre ambientes de que 'Granny Smith' (10-30 dias). Para Yaacoubi et al. (2016), as macieiras cultivadas em Palmas-PR não apresentam um padrão claro de distinção entre as fases da dormência, muitas vezes apresentando dormência superficial. E nesses casos, o valor de alpha deve ser considerado apenas como ponto de ruptura para a saída da endodormência.

O valor B_p , que é a taxa de saída da endodormência, foi influenciado diretamente pelo efeito da interação entre ano e cultivar, da mesma forma, o momento em que o TMB atinge o valor de 12 dias (TMB_{12}) e é considerado o fim da endodormência. Isso revela a real dificuldade em se estabelecer modelos de predição. Independente da dinâmica da dormência até o estabelecimento dos valores de alpha e theta, o coeficiente B_p se apresentou como um atrator que conduz a dinâmica da dormência de forma a atingir valores de datas fenológicas próximas aos valores médios históricos. Então, de forma exclusivamente quantitativa, pode se afirmar que as datas fenológicas sofreram pouca alteração pelo efeito do ambiente justamente pela compensação da dormência pelo coeficiente B_p .

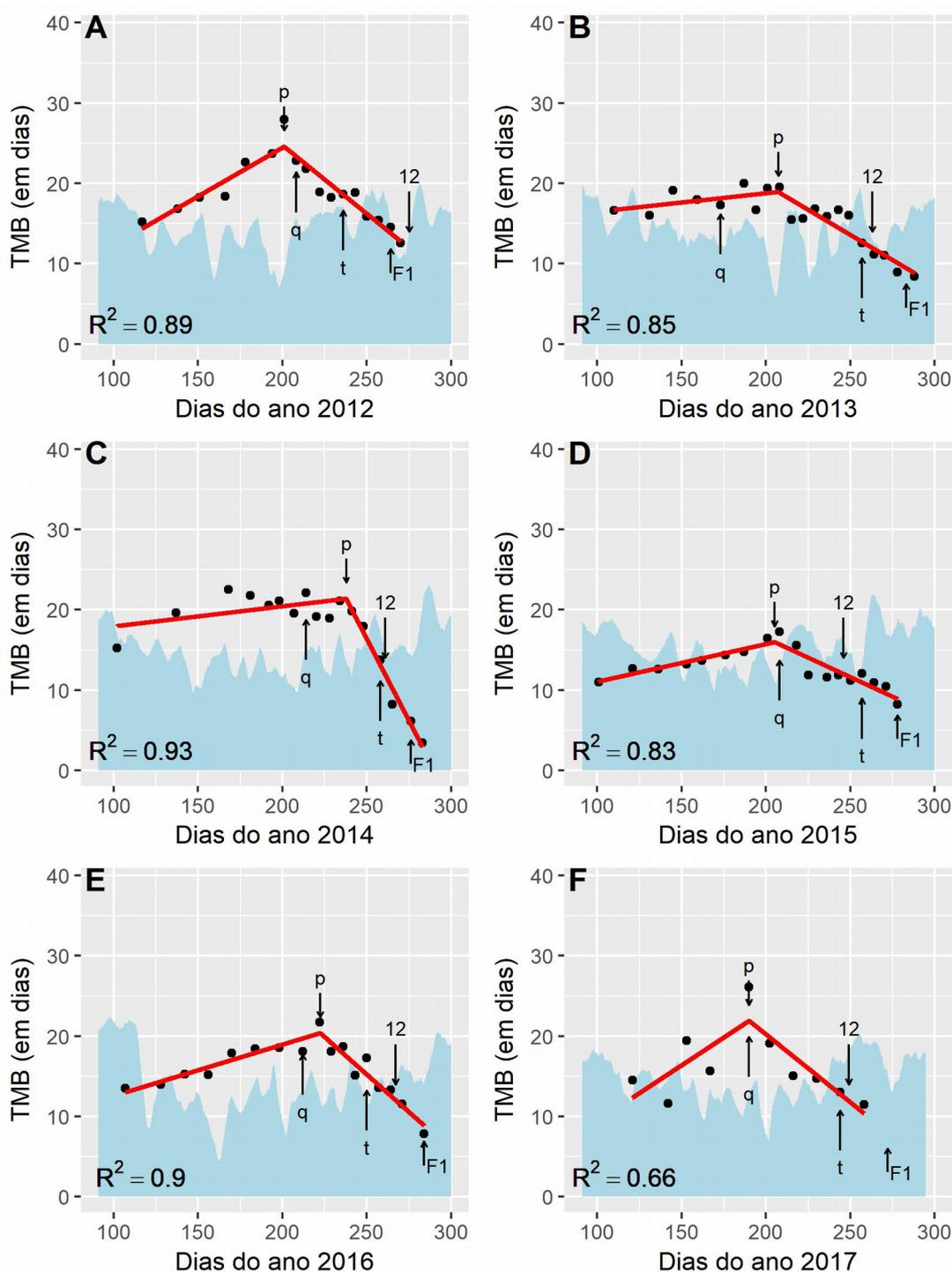
Essa forma de compensação também pode ser observadas, embora não discutida, em trabalhos que visaram o estudo do acúmulo de frio e calor: pouco acúmulo de frio induz à elevação da necessidade de calor e vice-versa, isso conduz (quantitativamente) as datas de saída de dormência muito próximas.

Fi-



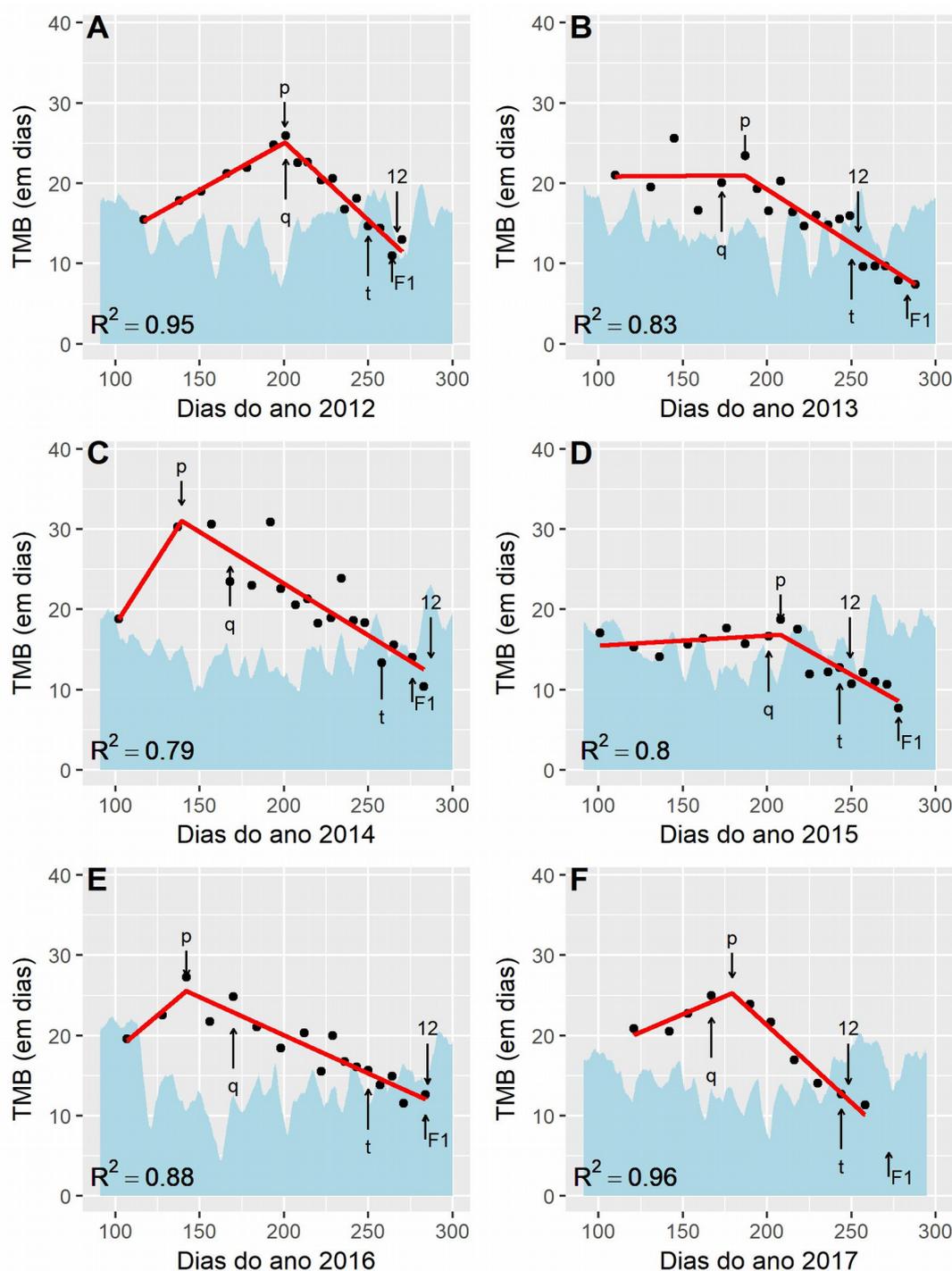
gura 17. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Eva' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p , acompanhada do coeficiente de determinação (R^2). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuenca detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB (12), floração ($F1$) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em $^{\circ}\text{C}$). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Fi-



gura 18. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Fuji Suprema' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p , acompanhada do coeficiente de determinação (R^2). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuena detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB12 (12), floração (F1) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em $^{\circ}\text{C}$). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Figu-



ra 19. Progresso da dormência em gemas axilares de macieira 'Galaxy' pelo tempo médio de brotação (TMB) entre os anos de 2012 (A) e 2017 (F). A linha em vermelho representa o ajuste da equação linear com um ponto de mudança em p, acompanhada do coeficiente de determinação (R^2). Nota: foram pontuadas as datas de final de queda de folha (q), o momento em que o teste de Tabuenca detectou final da endodormência em gemas mistas (t), TMB12 (12), floração (F1) observada nas condições de Palmas-PR e em azul a temperatura média dos últimos 7 dias (em °C). UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Em relação a resistência ao congelamento, as três cultivares apresentaram comportamento semelhante entre os meses de Maio e Julho (Figura 20). Nesse período a resistência ao frio, quantificado a partir do TL50, foi se tornando maior. Em Agosto, a cultivar Eva tornou-se mais suscetível ao congelamento, quando a temperatura de $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi suficiente para letalidade de 50% das células do lenho de brindila de um ano, enquanto 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' mantiveram-se resistentes às temperaturas de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em Setembro, a diferença entre cultivares foi ainda maior, a resistência de 'Eva' caiu para $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ enquanto 'Galaxy' mantiveram-se em $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 'Fuji Suprema' tornou-se mais resistente, com $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após 27 de Setembro a ocorrência de frio extremo em campo é remota, assume-se dessa forma que 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' apresentam condições necessárias para sobreviver às temperaturas extremamente baixas que por ventura possam ocorrer durante o inverno e início de primavera na Região Sudoeste do Paraná.

A correlação entre a perda de eletrólitos (PEL) em cada temperatura, incluindo o TL50, foi calculada. O TMB possui relação inversamente proporcional à PEL em $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($r = -0,59$, $p = 0,02$) isso indica que quanto mais profunda for a dormência menores serão os danos causados pelo congelamento. A umidade nos ramos correlacionou-se com os valores de PEL em $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,57$, $p = 0,03$) e $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,68$, $p = 0,007$) e com as TL50 ($r = 0,55$, $p = 0,04$). Nesse caso, quanto maior a umidade dos ramos, maior foi a sensibilidade e os danos causados pelo congelamento.

Pelas dinâmicas observadas, a resistência ao congelamento se dividiu em dois momentos distintos: 1) a aquisição e 2) a perda de resistência. 1) Na aquisição de resistência ao congelamento, de acordo com os dados entre Maio e Julho, as madeiras tornaram-se menos suscetíveis ao frio com predominante efeito ambiental, isso coincide com o ganho de TMB e com o efeito do coeficiente B do modelo linear com ponto de ruptura. 2) A perda de resistência ao congelamento ocorreu a partir da superação da endodormência e, coincidindo com o coeficiente Bp do modelo linear com ponto de ruptura, esteve estreitamente relacionada ao teor de umidade dos ramos. Nesse momento, houve forte influência do genótipo. Genótipos com baixa necessidade de frio, como 'Eva', iniciam o processo de superação de dormência antes de Agosto ficando suscetível à ocorrência de geadas tardias de primavera.

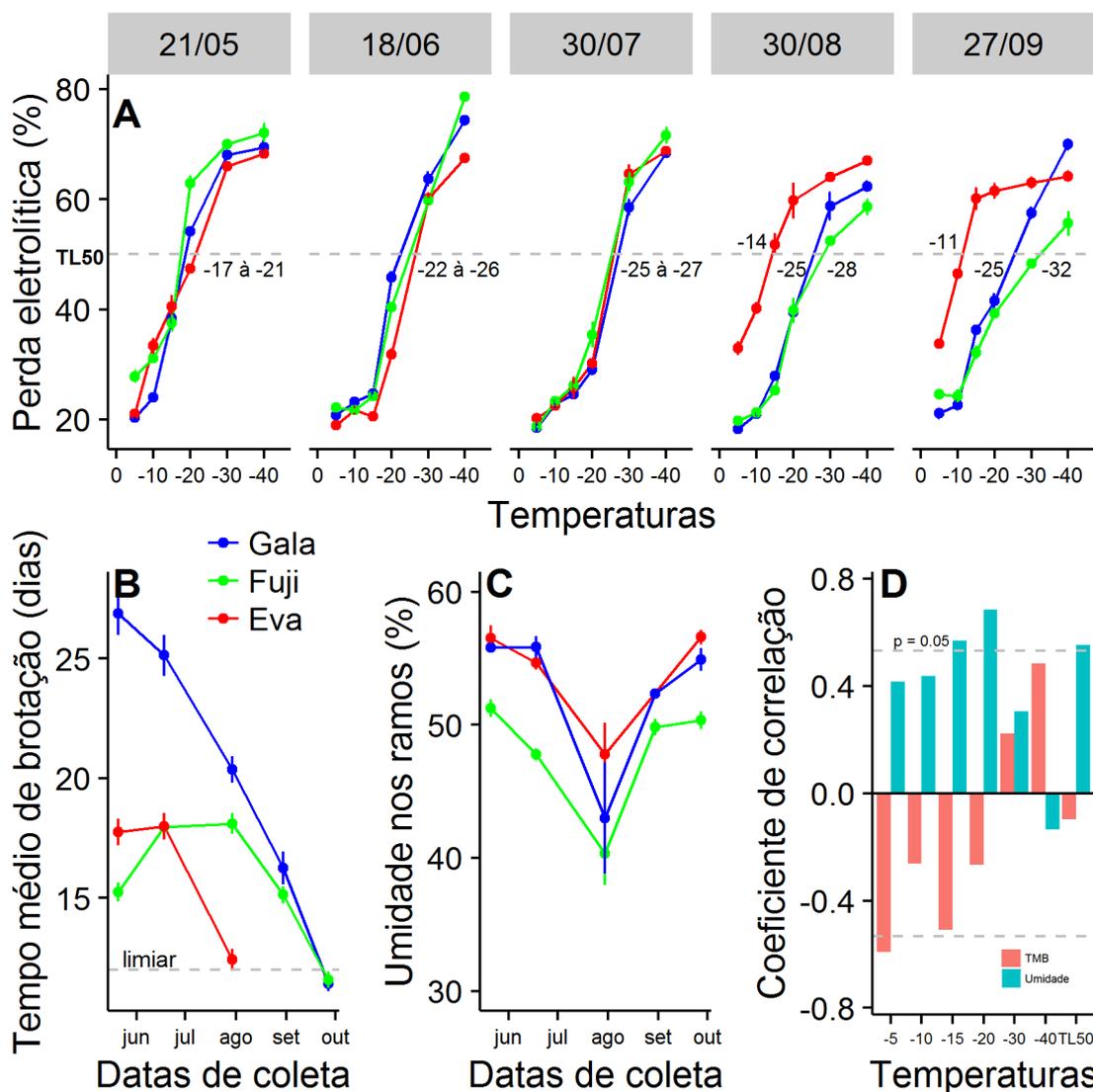


Figura 20. Perda eletrolítica em ramos de macieira 'Eva', 'Galaxy' e 'Fuji Suprema' após tratamento com -5, -10, -15, -20, -30 e -40 °C (A), tempo médio de brotação de gemas (B), umidade de ramos (C) e correlação entre estas variáveis (D). Coletas realizadas entre os meses de maio e outubro de 2016 em Palmas-PR. Médias seguidas por erro padronizado. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

No ano de 2016, ocorreram temperaturas de até -7 °C em Palmas-PR. Após estresse climático devido à ocorrência de baixas temperaturas, foram observadas injúrias na porção apical de ramos imaturos e estruturas produtivas em crescimento, predominantemente na cultivar Eva (Figura 21). Essa necrose, com sintomas semelhantes ao tipo severa apresentada por Marafon (2008), só foi observada em gemas em estágio de desenvolvimento mais avançado. Não observado em ramos produtivos maduros ou em gemas ainda em endodormência.

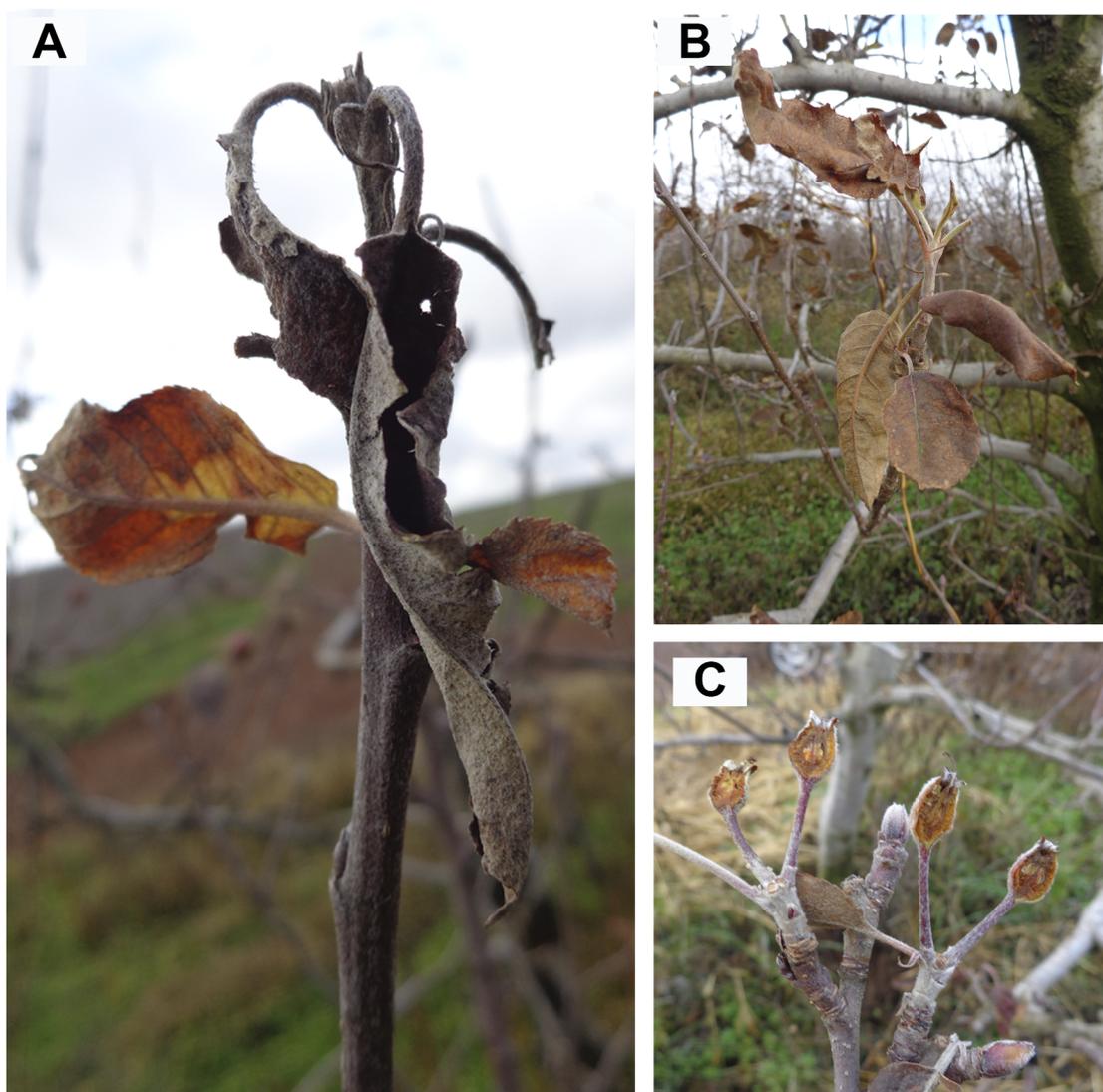


Figura 21. Danos após ocorrência de temperatura $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ em campo sobre ramos (A) e espóres imaturos (B) e frutos de florações precoces com interior expondo necrose severa (C). Observados na macieira cv. Eva cultivada em Palmas-PR no ano de 2016. UTFPR Câmpus Pato Branco, 2018.

Com base nos dados analisados, pode-se destacar que modelos de predição de fenologia são inferiores ou tão preditivos quanto a média histórica das datas fenológicas. Assim, projeções sobre cenários de mudanças climáticas, como testadas por Chuine et al. (2016), são de difícil aplicação em nas zonas com clima subtropical, que caracterizam-se por apresentar severas alterações nas temperaturas entre os anos. A modelagem da dinâmica da endodormência, a partir do TMB, indicou um

parâmetro atrator (B_p) que, independente da condição inicial da dormência, faz com que a fenologia seja atraída para próximo da média histórica reduzindo assim o efeito climático sobre as datas fenológicas.

Como atrator, podemos assumir a hipótese apresentada por Yaacoubi et al. (2016) em que: macieiras cultivadas em clima ameno do Sul do Brasil, cultivadas em zonas com pequeno acúmulo de frio no período de repouso hibernar, apresentam baixa diferenciação dos vasos do xilema (vascularização) e outras desordens biológicas ligadas a falta de frio. Isso induz à heterogeneidade da reidratação dos tecidos das gemas. Assim, as gemas que apresentaram endodormência superficial e hidratação elevada, acima de 77%, segundo Malagi et al. (2015), lideram os primeiros surtos de crescimento estabelecendo a paradormência sobre aquelas com endodormência mais pronunciadas. Mesmo que ocorra acúmulos de frio distintos entre anos, estes serão abaixo do necessário e intercalado com temperaturas altas (de forçagem), fazem com que o comportamento fenológico permaneça pouco variável.

A profundidade da dormência está relacionada com a proteção da planta contra danos por congelamento. Haverá anos em que o ambiente estimulará levemente a entrada em endodormência (parâmetro B) e manterá a dormência superficial. Para 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' é pouco provável que se tornem suscetíveis a perda por congelamento visto que suas fenológicas se concentram após o período de ocorrência de frentes frias na Região Sudoeste do Paraná. Já para 'Eva', a indução de entrada em endodormência pode ser o principal meio de defesa contra danos por congelamento.

5 CONCLUSÕES

Sob as condições em que o trabalho foi realizado, conclui-se que:

- 1 – Modelos de predição de fenologia foram inferiores ou tão preditivos quanto a média histórica da fenologia para o cultivo de macieira em Palmas-PR.
- 2 – A modelagem da dinâmica em forma de uma equação linear com ponto de ruptura apresentou um parâmetro atrator que induziu as datas de saída para próximo da média histórica.
- 3 – A dormência foi relacionada com a proteção das plantas contra danos por congelamento e a dormência superficial tornou as plantas mais suscetíveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A longo prazo, a interpretação dos resultados obtidos nos testes biológicos, aliados às observações do comportamento do clima em cada ano, contribuirá para elucidar questões ligadas à dormência das plantas em condição de inverno ameno. A atratividade do parâmetro Bp merece ser estudada a fundo, tendo em vista que sua plasticidade em manter as datas fenológicas próximas à média histórica, independente das condições climáticas.

Outra sugestão é a realização das avaliações realizadas neste trabalho, ou parte delas, em diferentes regiões produtoras no Brasil. Assim, poderiam ser feitas observações do comportamento das plantas em diferentes níveis de altitude. Para isso, será necessário padronizar as variáveis utilizadas a fim de reduzir os erros experimentais.

Não se descarta o uso de modelos como de Horas de Frio abaixo de 7,2 °C devido à praticidade na determinação de áreas adequadas para cultivo visto o efeito qualitativo que temperaturas baixas apresentam sobre a brotação e floração. Mas para efeito de prever (quantificar) datas fenológicas se mostrou insatisfatório com erros de estimativa de até 100 dias.

Por fim, a quantidade de frio durante a dormência é extremamente importante para obtenção de alta produtividade e com boa qualidade, devido ao fator qualitativo da interação genótipo/ambiente. Neste trabalho, preconizou-se o estudo e discussão da fenologia em relação ao clima de forma quantitativa e concluiu-se que dentro das condições climáticas entre 2012 e 2017, a ocorrência de mais ou de menos frio, não foi significativo para alterar a fenologia. Isso não reduz a importância do frio para o cultivo de macieira. E fica também como sugestão, que estudos futuros abordem também a questão de produção e qualidade das maçãs em invernos contrastantes.

REFERÊNCIAS

ADAMS, M.; NIST, U. S.; ADAMS, M. M. Package 'lm. br'. 2017. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/lm.br/lm.br.pdf>> Acesso em: 01 de Fev. de 2018.

ALBURQUERQUE, N.; BURGOS, L.; EGEA, J. Influence of flower bud density, flower bud drop and fruit set on apricot productivity. *Sci. Hortic.*, v. 102, p. 397-406, 2004.

ALLDERMAN, L. A.; STEYN, W. J.; COOK, N. C. Growth regulator manipulation of apple bud dormancy progressions under conditions of inadequate winter chilling. *S. Afr. J. Plant Soil.*, v. 28, p. 103-109, 2011.

ANDERSON, J. L.; RICHARDSON, E. A.; KESNER, C. D. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Horticulturae*, v. 184, p. 71-78, 1986.

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.

ATKINSON, C. J.; BRENNAN, R. M.; JONES, H. G. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 91, p. 48-62, 2013.

BALANDIER, P.; GENDRAUD, M.; RAGEAU, R.; BONHOMME, M.; RICHARD, J. P.; PARISOT, E. Bud break delay on single node cuttings and bud capacity for nucleotide accumulation as parameters for endo- and paradormancy in peach trees in a tropical climate. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 55, p. 249-261, 1993.

BIDABE, B. Action de la température sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparaison de méthodes de contrôle de l'époque de floraison. **Physiologie Végétale**, v. 9, n. 1, p. 65-86, 1967.

BONHOMME, M. **Physiologie des bourgeons végétatifs et floraux de pêcher dans deux situations thermiques contrastées pendant la dormance: capacité de croissance, force de puits et répartition des glucides.**, 1998. 114 f. Thèse (Doctorat en Physiologie Végétale) - Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 1998.

BOTELHO, R. V; AYUB, R. A.; MÜLLER, M. M. L. Somatória de horas de frio e de unidades de frio em diferentes regiões do estado do Paraná. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 7, p. 89-96, 2006.

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, 2000. p. 157-230.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; HAUAGGE, R.; GONÇALVES, S. L.; CITADIN, I.; RICCE, W. S. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.

CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Cultivares: Descrição e comportamento no Sul do Brasil. In: **A Cultura da Macieira**. 2 ed.. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. 113-168.

CHAGAS, E. A.; CHAGAS, P. C.; PIO, R.; et al. Produção e atributos de qualidade de cultivares de macieira nas condições subtropicais da região leste paulista. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1764-1769, 2012.

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.

CHMIELEWSKI, F. M.; GOTZ, K. P. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes. **Journal of Horticulture**, v. 4, n. 3, p. 1-10, 2017.

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.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD

CHUINE I. A unified model for the budburst of trees. **Journal of Theoretical Biology**, v. 207, p. 337-347, 2000.

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, p. 3444-3460, 2016.

CLINE, M. G. Concepts e terminology of apical dominance. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 84, n. 9, p. 1064-1069, 1997.

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, 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.

DOMAGALSKA, M. A; LEYSER, O. Signal integration in the control of shoot branching. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, London, v. 12, n. 4, p. 211-221, 2011.

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, 2000. p. 17-48

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 22/12/2017.

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.

FELIPPETO, J. **Modelos de previsão da brotação para videira na Serra Gaúcha**. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

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.

FUCHIGAMI, L. H.; WISNIEWSKI, M. E. Quantifying bud dormancy: Physiological approaches. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 618-623, 1997.

GHARIANI, K.; STEBBINS, R. L. Chilling requirements of apple and pear cultivars. **Fruit Varieties Journal**, University Park, v. 48, n. 4, p. 215-222, 1994.

GIANFAGNA, T. J.; MEHLENBACHER, S. A. Importance of heat requirement for bud break and time of flowering in apple. **HortScience**, Alexandria, v. 20, n. 5, p. 909-911, 1985.

GILREATH, P. R.; BUCHANAN, D. W. Rest prediction model for low-chilling 'Sungold' nectarine. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106, p. 426-429, 1981.

GUAK, S.; NEILSEN, D. Chill unit models for predicting dormancy completion of floral buds in apple and sweet cherry. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 1, p. 29-36, 2013.

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

HAWERROTH, F. J.; HERTER, F. G.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; PEREIRA, J. F. M. I. Dormência em frutíferas de clima temperado. Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E), 2010.

HERTER, F. G.; RASEIRA, M. D. C. B.; DOS SANTOS PEREIRA, I.; STEINMETZ, S.; WREGGE, M. S. Zoneamento agroclimático do pessegueiro e da nectarineira para o Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado. 2002.

HORVATH, D. P.; ANDERSON, J. V.; CHAO, W. S.; FOLEY, M. E. Knowing when to grow: Signals regulating bud dormancy. **Trends in Plant Science**, London, v. 8, n. 11, p. 534-540, 2003.

HOVE, T. W. H. Apple Tree - Royal Gala Variety. **United State Patent nº 4121**, 1977.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/> Acesso em: 22/12/2017.

JONES, H. G.; HILLIS, R. M.; GORDON, S. L.; BRENNAN, R. M. An approach to the determination of winter chill requirements for different *Ribes* cultivars. **Plant Biology**, v. 15, n. s1, p. 18-27, 2013.

KIDDLE, K. W. Apple Tree - Galaxy Cultivar. **United State Patent nº 6955**, 1989.

LANDSBERG, J. J. Apple fruit bud development and growth: analysis and an empirical model. **Annals of Botany**, v. 38, p. 1013-1023, 1974.

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

LEGAVE, J. M.; BACULAT, B.; BRISSON, N. Assessment of chilling requirements of apricot floral buds: Comparison of three contrasting chilling models under Mediterranean conditions. In: VIII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics 872. 2007. p. 41-50.

LUEDELING, 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.

LINSLEY-NOAKES, G. C.; ALLAN, P.; MATTHEE, G. Modification of rest completion models for improved accuracy in South African stone fruit orchards. **Journal of Southern African Society for Horticultural Sciences**, v. 4, n.1, p. 13-15, 1994.

LINSLEY-NOAKES, G. C.; LOUW, M.; ALLAN, P. Estimating daily positive Utah chill units from maximum and minimum temperatures. **Journal of the Southern African Society for Horticultural Sciences**, v. 5, n. 1, p. 19-24, 1995.

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**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1277-1283, 2012.

LU, M. T.; SONG, C. W.; OU, S. K.; CHEN, C. L. A model for estimating chilling requirement of very low-chill peaches in Taiwan. **Acta Horticulturae**, n. 962, p. 245, 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.; 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.

MARAFON, A. C. **Metabolismo de carboidratos, conteúdo de água e necrose floral em pereira (*Pyrus* sp.) em condições de falta de frio**, 2008. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

MCKENZIE, D. W. Apple Tree - Kidd's D-8 Variety. **United State Patent nº 3637**, 1974.

MEASHAM, P. F.; QUENTIN, A. G.; MACNAIR, N. Climate, winter Chill, and decision-making in sweet cherry production. **HortScience**, v. 49, p. 254-259, 2014.

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. Pflanzenschutzdienst, Berlin, v. 46, p. 141-153, 1994.

MILECH, C. G. **Estimativas da necessidade em frio de genótipos de pessegueiros por modelos matemáticos**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

OUKABLI, A.; BARTOLINI, S.; VITI, R. Anatomical and morphological study of apple (*Malus x domestica* Borkh.) flower buds growing under inadequate winter chilling. J. Hortic. Sci. Biotech. v. 78, p. 580–585, 2003.

PATTO, L. S. **Acrotonia da brotação de macieira em região de inverno ameno**. 2016. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

PEREIRA, G. P.; DE CARVALHO, R. I.; BIASI, L. A.; ZANETTE, F. Dinâmica da dormência de gemas de pessegueiro, ameixeira e caquizeiro na Fazenda Rio Grande, PR. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7. p. 820-825, 2012.

PETRI, J. L.; DENARDI, F.; SUZUKI, A. EPAGRI 405 - Fuji Suprema: Nova cultivar de macieira. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 10, n. 3, p. 48-50, 1997.

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

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1-3, 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCOTTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 48-56, 2011.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução de brotação da macieira. In: **A cultura da macieira**. 2 ed. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. 261-298.

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 débourrement 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.

RAPILLARD, C.; DESSIMOZ, A. Différents mutants de Gala. **Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture**, Nyon, v. 32, n. 4, p. 233-237, 2000.

RIBEIRO, A. K. S.; LOPES, P. R. C.; OLIVEIRA, V. M.; SILVA-MATOS, R. R. S.; SANTOS, L. T. S.; PARENTE, A. G. Fenologia e frutificação efetiva da macieira 'Condessa' no Vale do São Francisco. XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura. **Anais...** p. 3582-3585, 2012.

RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. **HortScience**, v. 9, n. 4, p. 331-332, 1974.

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.

ROBERTO, S. R.; KAGUEYAMA, M. H.; DOS SANTOS, C. E. Indução da brotação da macieira 'Eva' em região de baixa incidência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 128-130, 2006.

RUIZ, D.; CAMPOY, J. A.; EGEEA, J. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 61, p. 254-263, 2007.

SACHET, M. R. **Análises biológicas e bioquímicas na dinâmica da dormência de macieiras em Palmas-PR**. 2014. 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., Dormancy release in deciduous fruit trees. **Hort. Rev.**, v. 7, p. 237-300, 1985.

SCHULZE, R.E.; MAHARAJ, M. Positive Chill Units. In: Schulze, R.E. (Ed). 2007. South African Atlas of Climatology and Agrohydrology. Water Research Commission, Pretoria, RSA, WRC Report 1489/1/06, Section 10.1. 2007

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.

SUTINEN, M.L.; PALTA, J.P.; REICH, P.B. Seasonal differences in freezing stress resistance of needles of *Pinus nigra* and *Pinus resinosa*: evaluation of the electrolyte leakage method. **Tree Physiology**, v. 11, p. 241-254, 1992.

TABUENCA, M. C. Necesidades de frío invernal de variedades de albaricoquero, melocotonero y peral. **Anales de la Estación Experimental de Aula Dei**, Zaragoza, v. 7, n. 3-4, p. 113-132, 1964.

TEAM, R Core. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017a.

TEAM, R Studio. RStudio: integrated development environment for R. RStudio, Inc. 2015. 2017b.

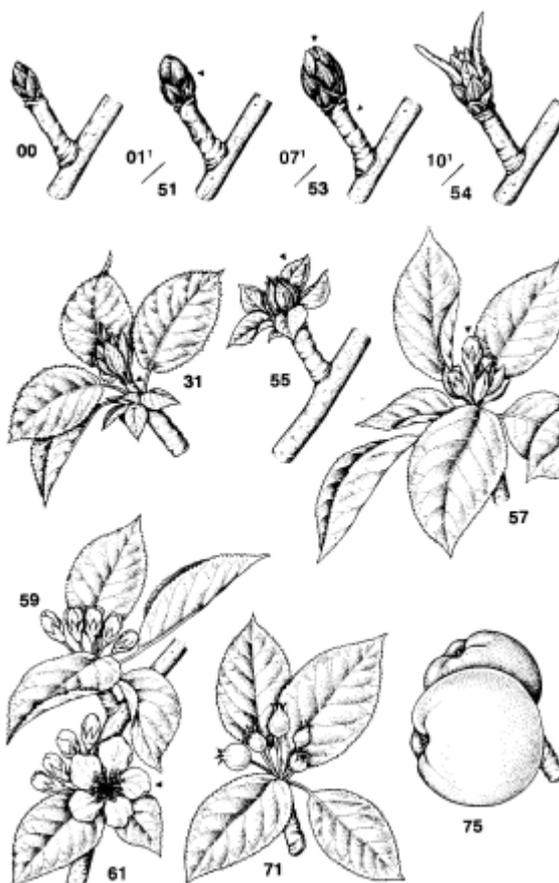
YAACOUBI, A. E.; MALAGI, G.; OUKABLI, A.; CITADIN, I.; HAFIDI, M.; BONHOMME, M.; LEGAVE, J. M. Differentiated dynamics of bud dormancy and growth in temperate fruit trees relating to bud phenology adaptation, the case of apple and almond trees. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 11,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

WEINBERGER, J. H. Chilling requirements of peach varieties. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, p. 122-128, 1950.

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 – Escala BBCH para macieiras (MEIER et al., 1994) na qual o estágio 61 representa o início da floração: cerca de 10% das flores abertas.



APÊNDICE B – Script em R Project com funções para rodar modelos de predição da fenologia.

Script contendo as funções utilizadas para cálculo dos modelos de predição da fenologia utilizados nesse trabalho. O valor x, como padrão, representa o vetor de temperaturas horárias desde um início arbitrário (ex: 01 de abril) até a data de saída de dormência.

Modelo de Utah segundo Richardson, Seeley e Walker et al (1974).

```
Modelo_Utah <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(1.4,2.4,9.1,12.4,15.9,18) # classes de temperatura
  v <- c(0,0.5,1,0.5,0,-0.5, -1) # valores para cada classe
  y <- rep(0, length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
  y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
  y[which(x>t[4] & x<=t[5])] <- v[5]
  y[which(x>t[5] & x<=t[6])] <- v[6]
  y[which(x>t[6])] <- v[7]
  if (total == TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo PCU (LINSLEY- NOAKES; ALLAN; MATTHEE, 1994).

```
Modelo_PCU <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(1.4,2.4,9.1,12.4) # faixas de temperatura
  v <- c(0,0.5,1,0.5,0) # valor de cada faixa
  y <- rep(0, length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
  y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
```

```

y[which(x>t[4])] <- v[5]
  if (total == TRUE)
    return(cumsum(y))
else return(y)}

```

Modelo GDH de Anderson (ANDERSON; RICHARDSON; KESNER, 1986).

```

Modelo_GDH_Anderson <- function(x, total=TRUE){
  tb <- 4    # temperatura base mínima
  tu <- 25   # temperatura ótima
  tc <- 36   # temperatura crítica
  a <- tu-tb # amplitude da curva de crescimento
  f1 = 1     # estresse, pode ser menor que 1
  y <- rep(0, length(x))
  y[which(x >= tb & x <= tu)] <- f1*a/2*(1+cos(pi+pi*(x[which(x>=tb & x<=tu)]-tb)/(tu-
tb)))
  y[which(x>tu & x<=tc)] <- f1*a*(1+cos(pi/2+pi/2*(x[which(x>tu & x<=tc)]-tu)/(tc-tu)))
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
else return(y)}

```

Modelo de GDH de Richardson (RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974).

```

Modelo_GDH_Richardson <- function(x, total=TRUE){
  tb <- 4.5  # temperatura base
  y <- rep(0, length(x))
  y[which(x>tb)] <- x[which(x>tb)]-tb
  y[which(x>25)] <- 25-tb
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
else return(y)}

```

Modelo Carolina do Norte (SHALTOUT; UNRATH, 1983).

```
Modelo_Carolina_do_Norte <- function(x, total=TRUE){
  tls <- 23.3 # temperatura limite superior
  to <- 7.2 # temperatura ótima
  tli <- -1.1 # temperatura limite inferior
  y <- rep(0, length(x))
  y[which(x>tls)] <- -2
  y[which(x>to & x<=tls)] <- -0.0113*x[which(x>to & x<=tls)]^2+0.1638*x[which(x>to &
x<=tls)]+0.3702
  y[which(x>tli & x<=to)] <- -0.0116*x[which(x>tli & x<=to)]^2+ 0.191*x[which(x>tli &
x<=to)]+ 0.224
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo de Landsberg (LANDSBERG, 1974).

```
Modelo_Landsberg <- function(x, total=TRUE){
  tb <- 5 # temperatura base
  y <- rep(1, length(x))
  y[which(x>tb)] <- tb/x[which(x>tb)]
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo de Bidabé (BIDABÉ, 1967).

```
Modelo_Bidabe<- function(x, total=TRUE){
  cq10 = 3 # varia com a espécie
  y <- rep(0, length(x))
  y <- (1/24)*cq10^(-x/10)
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo de Jones (JONES et al., 2013).

```
Modelo_Jones <- function(x, total=TRUE){
  y <- rep(0, length(x))
  y <- 0.6702*exp(-0.148*x)
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo Low-Chill (GILREATH; BUCHANAN, 1981).

```
Modelo_Lowchill <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(-1,1.8,8,14,17,19.5) # faixas de temperatura
  v <- c(0,0.5,1,0.5,0,-0.5,-1) # valor de cada faixa
  y <- rep(v[7], length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
  y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
  y[which(x>t[4] & x<=t[5])] <- v[5]
  y[which(x>t[5] & x<=t[6])] <- v[6]
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}
```

Modelo Cerejeira de Guak e Nielsen (GUAK; NEILSEN, 2013).

```
Modelo_GN_Cerejeira <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(-2.1,7,8,10,13,16,18) # faixas de temperatura
  v <- c(0,1,0.75,0.5,0.25,0,-0.5,-1) # valor de cada faixa
  y <- rep(v[8], length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
```

```

y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
y[which(x>t[4] & x<=t[5])] <- v[5]
y[which(x>t[5] & x<=t[6])] <- v[6]
y[which(x>t[6] & x<=t[7])] <- v[7]
if (total==TRUE)
  return(cumsum(y))
else return(y)}

```

Modelo Macieira de Guak e Nielsen (GUAK; NEILSEN, 2013).

```

Modelo_GN_Macieira <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(-2.1,5.5,7,9,13,16,18)      # faixas de temperatura
  v <- c(0,1,0.75,0.5,0.25,0,-0.5,-1) # valor de cada faixa
  y <- rep(v[8], length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
  y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
  y[which(x>t[4] & x<=t[5])] <- v[5]
  y[which(x>t[5] & x<=t[6])] <- v[6]
  y[which(x>t[6] & x<=t[7])] <- v[7]
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}

```

Modelo Dinâmico (FISHMAN; EREZ; COUVILLON, 1987).

Adaptado do pacote ChillR

```

Modelo_Dinamico <- function(x,total=TRUE){
  e0 <- 4153.5
  e1 <- 12888.8
  a0 <- 139500
  a1 <- 2.567e+18
  slp <- 1.6

```

```

tetmlt <- 277
aa <- a0/a1
ee <- e1 - e0
TK <- x + 273
ftmprt <- slp * tetmlt * (TK - tetmlt)/TK
sr <- exp(ftmprt)
xi <- sr/(1 + sr)
xs <- aa * exp(ee/TK)
ak1 <- a1 * exp(-e1/TK)
interE <- 0
memo <- new.env(hash = TRUE)
posi <- 1
assign(x = paste(1), value = 0, envir = memo)
E = 0
S <- ak1
S[1] <- 0
E <- S
options(scipen = 30)
for (l in 2:length(x)) {
  if (E[l - 1] < 1) {
    S[l] <- E[l - 1]
    E[l] <- xs[l] - (xs[l] - S[l]) * exp(-ak1[l])
  }
  else {
    S[l] <- E[l - 1] - E[l - 1] * xi[l - 1]
    E[l] <- xs[l] - (xs[l] - S[l]) * exp(-ak1[l])
  }
}
interE <- E
y <- rep(0, length(x))
y[which(interE >= 1)] <- interE[which(interE >= 1)] *
xi[which(interE >= 1)]

```

```

if (total == TRUE)
  return(cumsum(y))
else return(y)}

```

Modelo Unified (CHUINE, 2000).

```

Modelo_Unified <- function(x,total=TRUE){
  a1 = 0.89 # coeficientes para macieira
  b1 = -28.87
  c1 = -19.44
  y <- rep(0, length(x))
  y <- 1/(1+exp((a1*(x-c1)*(x-c1)+b1*(x- c1))))
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}

```

Modelo de Taiwan (LU et al., 2012).

```

Modelo_Taiwan <- function(x, total=TRUE){
  t <- c(7.2,15,26.6,27.8) # faixas de temperatura
  v <- c(1,0.5,0,-0.5,-1) # valor de cada faixa
  y <- rep(v[5], length(x))
  y[which(x<=t[1])] <- v[1]
  y[which(x>t[1] & x<=t[2])] <- v[2]
  y[which(x>t[2] & x<=t[3])] <- v[3]
  y[which(x>t[3] & x<=t[4])] <- v[4]
  if (total==TRUE)
    return(cumsum(y))
  else return(y)}

```

Modelo de contagem de temperaturas abaixo de uma temperatura limite (tl),

para estimar Horas de frio abaixo de 7,2 °C (WEINBERGER, 1950) é necessário

declarar que tl = 7.2

```

Modelo_Abaixo_De <- function(tl, x, total=TRUE){

```

```
y <- rep(0, length(x))
y[which(x<=t)] <- 1
if (total==TRUE)
  return(cumsum(y))
else return(y)}
```