

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MANEJO DE INDUTORES DE BROTAÇÃO EM MACIEIRAS ‘BAIGENT’ SOB
TELA ANTIGRANIZO NO SUL DO BRASIL**

Leonardo Soldatelli Paim
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada com um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de concentração: Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Maio de 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Paim, Leonardo Soldatelli
Manejo de indutores de brotação em macieiras
'Baigent' sob tela antigranizo no Sul do Brasil /
Leonardo Soldatelli Paim. -- 2019.
101 f.
Orientador: Gilmar Arduino Bettio Marodin.

Coorientador: Fernando José Hawerth.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Malus domestica Borkh.. 2. superação da
dormência. 3. agentes químicos. 4. clima subtropical.
5. tela antigranizo. I. Marodin, Gilmar Arduino
Bettio, orient. II. Hawerth, Fernando José,
coorient. III. Título.

LEONARDO SOLDATELLI PAIM
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

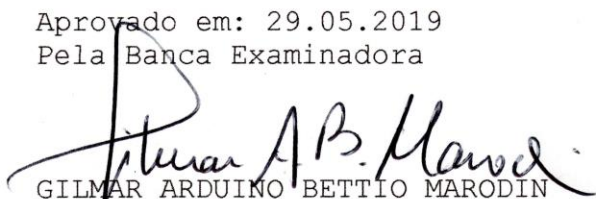
DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de


MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 29.05.2019
Pela Banca Examinadora




GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Orientador
PPG em Fitotecnia/UFRGS



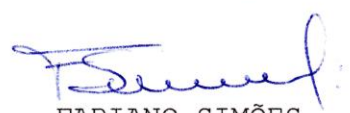
FERNANDO JOSÉ HAWERROTH
Coorientador
Embrapa Uva e Vinho



HOMERO BERGAMASCHI
PPG em Fitotecnia/UFRGS




RENAR JOÃO BENDER
PPG em Fitotecnia/UFRGS

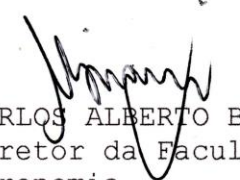


FABIANO SIMÕES
UERGS

Homologado em: 22.04.2020
Por



CHRISTIAN BREDEMEIER
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

À família, responsável pelo incentivo e contribuição de modo imensurável na construção de minha personalidade e posterior formação acadêmica. Aos meus avós, Valda Delair Gargioni Soldatelli e Darcy Francisco Soldatelli (*in memoriam*), exemplos de pessoas cujo caráter e humildade transcendem o real sentido de suas respectivas palavras.

Aos orientadores, Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin e Dr. Fernando José Hawerth, pela confiança, amizade, parceria, dedicação, suporte e auxílios fornecidos durante o período de convívio. A sapiência e a mestria de vocês para com a fruticultura de clima temperado incentivam a todos e são motivos de minha profunda admiração.

Aos estagiários, bolsistas de iniciação científica e pós-graduandos do Laboratório de Fisiologia e Manejo de Frutíferas de Clima Temperado, Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado (EFCT) - Embrapa Uva e Vinho, pela amizade, parceria, momentos de descontração, suporte e auxílios fornecidos durante o período de convívio. Aos funcionários da EFCT, pelos motivos supracitados. A ajuda de todos foi primordial para a execução do presente trabalho.

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

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia e professores, pela formação, oferecimento do curso e infraestrutura de qualidade.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sobretudo à EFCT da unidade Uva e Vinho, pela disponibilidade, pesquisas e infraestrutura de qualidade.

À Schio Agropecuária Ltda., pela disponibilidade e oferecimento de pomares comerciais para a realização dos trabalhos a campo.

A todos que, direta ou indiretamente, voluntaria ou involuntariamente, fizeram parte de minha formação e que possuem um lugar especial em meu coração, muito obrigado.

MANEJO DE INDUTORES DE BROTAÇÃO EM MACIEIRAS ‘BAIGENT’ SOB TELA ANTIGRANIZO NO SUL DO BRASIL¹

Autor: Leonardo Soldatelli Paim

Orientador: Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin

Coorientador: Dr. Fernando José Hawerroth

RESUMO

A utilização de indutores de brotação é uma das estratégias de manejo que viabilizam o cultivo de macieiras ‘Baigent’, em larga escala, no Brasil. Tais compostos minimizam os problemas fisiológicos decorrentes do comum déficit de frio hibernal para a plena superação da dormência em grande parte dos locais de cultivo do Sul do país. O manejo padrão envolve uma única aplicação de cianamida hidrogenada (CH) ou Erger[®] associados a outros compostos, nas concentrações atualmente preconizadas. Entretanto, resultados insatisfatórios podem ser observados em alguns anos, sobretudo sob quaisquer condições que possam intensificar o vigor, a exemplo de telas antigranizo. O objetivo deste trabalho foi avaliar alternativas no manejo de CH e Erger[®] para otimizar a indução à brotação da cultivar Baigent sob tela antigranizo no Sul do Brasil. Dois estudos foram conduzidos em pomar comercial, em Vacaria/RS. O material vegetal consistiu em plantas de 12 anos sobre porta-enxerto M.9, conduzidas em líder central e sob tela preta. Durante as safras de 2017/18 e 2018/19, em diferentes plantas, foram acessadas fenologia, brotação de gemas, frutificação, produção e qualidade de frutos, nas porções inferior e superior da copa - cada uma 50% do total. O primeiro estudo envolveu a aplicação sequencial de Erger[®] junto a óleo mineral (OM), isto é, uma segunda pulverização. Para tal, foram avaliados os tratamentos: 1. Testemunha (sem aplicação); 2. Erger[®] 1,5% + OM 3,5%; 3. Erger[®] 1,5% + OM 3,5% (Aplicação 1 - AP1) e (Aplicação 2 - AP2); 4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3%; 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) e Erger[®] 1,5% + OM 3,5% (AP2); 6. CH 0,34% + OM 3,5% e 7. CH 0,34% + OM 3,5% (AP1) e Erger[®] 1,5% + OM 3,5% (AP2). O uso de Erger[®] 1,5% + OM 3,5% (AP1) e (AP2) proporcionou os maiores níveis de brotação, sendo similar apenas às aplicações com CH + OM. O segundo estudo compreendeu a avaliação de diferentes concentrações de CH - 0%, 0,17%, 0,34%, 0,51%, 0,69% e 0,86%, associadas a OM 3,5%, em conjunto a um tratamento sem aplicação. A brotação de gemas axilares foi intensificada por CH acima de 0,17% + OM 3,5%, sobretudo a partir de menor acúmulo de baixas temperaturas durante o inverno quando os maiores resultados foram induzidos por CH acima de 0,51%. A frutificação não foi influenciada por CH + OM 3,5%, assim como a produção e a qualidade dos frutos. Resposta similar foi obtida para a brotação em ambas as porções da copa, exibindo a superior maior frutificação em todo o trabalho. Intensificações no crescimento dos ramos, especialmente quando em diferentes magnitudes ao longo da copa, demandam maiores estudos, sobretudo em um número maior de safras. De maneira geral, o uso de Erger[®] 1,5% + OM 3,5% (AP1) e (AP2) é uma alternativa ao respectivo uso único e Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3%, bem como CH acima de 0,34% + OM 3,5% é para CH 0,34% + OM 3,5% (padrão) visando a otimização da indução à brotação de macieiras ‘Baigent’ sob tela antigranizo nas condições de estudo no Sul do Brasil.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (101f.) Maio, 2019.

MANAGEMENT OF BUDBREAK PROMOTERS IN 'BAIGENT' APPLE TREES UNDER HAIL NET IN SOUTHERN BRAZIL¹

Author: Leonardo Soldatelli Paim
Advisor: Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin
Co-advisor: Dr. Fernando José Hawerth

ABSTRACT

The application of budbreak promoters is one of the management strategies that allow large-scale cultivations of 'Baigent' apple trees in Brazil. These compounds minimize the physiological problems caused by the common lack of cold in most growing areas in the southern region. As standard use, hydrogen cyanamide (HC) or Erger[®] are applied with other compounds in a single application in accordance with currently recommended concentrations. However, unsatisfactory results have been observed in some years, especially under any conditions that can increase vigor, such as hail nets. This work aimed to evaluate alternatives in the management of HC and Erger[®] to optimize budbreak induction of the cultivar Baigent under hail net in southern Brazil. Two studies were conducted in a commercial orchard in Vacaria/RS. Twelve-year-old plants grafted on M.9 rootstock, trained as a central leader and under black hail net were selected as plant material. During the 2017/18 and 2018/19 growing seasons, in different individuals, variables related to phenology, budbreak, fructification, fruit production, and quality were analyzed in the lower and upper portions of the canopy - each 50% of the total. The first study involved a sequential application of Erger[®] with mineral oil (MO), i.e., a second application. Treatments were: 1. Control (no application); 2. Erger[®] 1.5% + MO 3.5%; 3. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (Application 1 - AP1) and (Application 2 - AP2); 4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3%; 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2); 6. HC 0.34% + MO 3.5% and 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2). Using Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2), the highest budbreak percentages were provided, similar only to those of HC + MO treatments. Different concentrations of HC - 0%, 0.17%, 0.34%, 0.51%, 0.69% and 0.86%, combined with MO 3.5%, were evaluated with a control (no spraying) treatment in the second study. Axillary budbreak was intensified by HC above 0.17% + MO 3.5%, particularly with lower chilling accumulation during winter when the highest increases were induced by HC above 0.51%. There was no influence of HC + MO 3.5% on fructification, fruit production/quality, and the same response occurred for budbreak in both canopy portions. But the upper one presented higher fructification in the entire work. Intensifications in the growth of shoots, especially at different magnitudes along the canopy, demand further studies, especially in a higher number of seasons. Overall, the use of Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2) is an alternative to its single use and Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3%; and HC above 0.34% + MO 3.5% can substitute HC 0.34% + MO 3.5% (standard) to optimize budbreak induction of 'Baigent' apple trees under hail net in these conditions of southern Brazil.

¹ Master dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (101p.) May, 2019.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 DORMÊNCIA DE GEMAS EM FRUTÍFERAS TEMPERADAS	5
2.1.1 Introdução à dormência	5
2.1.2 Fisiologia e controle da dormência.....	7
2.2 UTILIZAÇÃO DE INDUTORES DE BROTAÇÃO	11
2.2.1 Introdução aos indutores de brotação	11
2.2.2 Fatores que interferem na eficácia de indutores de brotação.....	13
2.3 O CULTIVO DE MACIEIRAS SOB TELA ANTIGRANIZO NO SUL DO BRASIL	19
2.3.1 Alterações microclimáticas e impactos na fisiologia das plantas.....	19
2.3.2 Manejo diferenciado da indução à brotação	22
2.3.2.1 Aplicação sequencial de indutores de brotação	22
2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
3 CAPÍTULO 1 - Sequential application of budbreak promoters in ‘Baigent’ apple trees under hail net in southern Brazil: Erger® with mineral oil and canopy stratification	41
3.1 INTRODUCTION.....	42
3.2 MATERIAL AND METHODS	43
3.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	46
3.4 CONCLUSIONS	64
3.5 LITERATURE CITED.....	64
4 CAPÍTULO 2 - Hydrogen cyanamide levels and mineral oil for budbreak induction of ‘Baigent’ apple trees under hail net in southern Brazil: an approach with canopy stratification	69
4.1 INTRODUCTION.....	70
4.2 MATERIAL AND METHODS	71
4.3 RESULTS AND DISCUSSION	73
4.4 CONCLUSIONS	85
4.5 LITERATURE CITED.....	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
6 APÊNDICES	91

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 1

1. Phenological stages (budburst; beginning, full and end of bloom) dates (month-day-year) and phenological subperiods duration of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019 48
2. Heterogeneity index of axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019..... 53
3. Number of inflorescences with fruit per plant, mean number of fruits per inflorescence and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019..... 55
4. Mean length and diameter, length/diameter ratio, pulp firmness, soluble solids content, starch-iodine index and mean number of seeds of hail netted ‘Baigent’ apples in response to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first and second passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019 63

CAPÍTULO 2

1. Phenological stages (budburst, start, full, and end of bloom) dates, flowering subperiods and total duration of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 crop season. Vacaria, RS, Brazil, 2019 74
2. Axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019 76
3. Terminal budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019 78
4. Heterogeneity index of axillary budbreak and abortion index of axillary buds of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019..... 80

5.	Number of clusters with fruit per plant, mean number of fruits per cluster and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	82
6.	Mass of fruits per plant, average fresh fruit mass and fruit size categorization of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.....	84

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Esquema ilustrativo da evolução do processo de dormência e o início da resposta ao uso de substâncias químicas indutoras de brotação. Adaptado de Faust *et al.* (1997)..... 8
2. Fluxograma das consequências da insuficiência de frio hibernal em frutíferas de clima temperado. Adaptado de Erez & Zur (1974) 10
3. Fatores relacionados ao manejo de indutores de brotação em frutíferas de clima temperado. Adaptado de Hawerth (2018) 13
4. Gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa de macieiras ‘Fuji Lee’ conduzidas em líder central, onde se observa maior proporção de ramos verticalizados na porção superior em relação às demais. Vacaria, RS, Brasil, 2015. Foto: Fernando José Hawerth..... 23
5. Aplicação sequencial de indutores de brotação sobre macieiras vigorosas caracterizadas pela ausência de gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa. Aplicações 1 e 2 direcionadas à totalidade da parte aérea. Adaptado de Hawerth *et al.* (2018)..... 24
6. Aplicação sequencial de indutores de brotação sobre macieiras vigorosas que apresentam gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa. Aplicações 1 e 2 direcionadas à totalidade da parte aérea (esquema 1) ou apenas à porção superior da copa (esquema 2). Adaptado de Hawerth *et al.* (2018) 25

CAPÍTULO 1

1. Axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019 50
2. Terminal budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019 51
3. Relative contribution of the first, second, and third pass-through to the total weight of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019 57
4. Weight of fruits per plant and average fresh fruit weight of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2018/19 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019 58

5. Percentage of hail netted ‘Baigent’ apples according to four intervals based on the red color on their surface (less than 25%, 25 to 50%, greater than 50% to less than 75%, and greater than or equal to 75%) in response to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first, second, and third passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	59
6. Percentage of hail netted ‘Baigent’ apples according to five caliber classes (less than or equal to 80, 90 to 100, 110 to 120, 135 to 165 and greater than or equal to 180) in response to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first, second, and third passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	61

CAPÍTULO 2

1. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on flowering subperiods and total duration of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 crop season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.....	75
2. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	76
3. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on terminal budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	78
4. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on heterogeneity index of axillary budbreak and abortion index of axillary buds of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	80
5. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on number of clusters with fruit per plant, mean number of fruits per cluster and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	82
6. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on mass of fruits per plant and average fresh fruit mass of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.	84
7. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on fruit size categorization of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019	85

1 INTRODUÇÃO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma frutífera de clima temperado pertencente à ordem Rosales, família Rosaceae e subfamília Maloideae (Pomoideae) (Bleicher, 2006). Segundo Bleicher (2006), o centro de origem da cultura localiza-se no continente asiático, em área de grandes altitudes entre o Cáucaso - montanhas entre os mares Cáspio e Negro - e o leste da China. O desenvolvimento na região deu-se a partir da aquisição de mecanismos adaptativos, a exemplo da dormência de gemas, para sobrevivência às baixas temperaturas durante o período de outono e inverno (Falavigna *et al.*, 2019).

Uma vez em dormência, as frutíferas temperadas minimizam drasticamente suas atividades metabólicas, não apresentando crescimento visível ou respostas de grande impacto fisiológico sob quaisquer estruturas que contenham um meristema (Lang *et al.*, 1987; Considine & Considine, 2016). Olsen (2006) reportou que a dormência de gemas é governada por agentes ambientais e internos à planta que atuam conjuntamente controlando as mudanças metabólicas de entrada, progressão e saída do processo. Portanto, a retomada do crescimento manifesta-se, pela brotação e florescimento, de forma natural após a eliminação das condições limitantes, o que é inferido bioquimicamente a partir de determinado acúmulo de baixas temperaturas outonais e hibernais (Pio *et al.*, 2019).

O Brasil foi o 11º maior produtor mundial de maçãs na safra de 2017, produzindo 1,31 milhão de toneladas em 33,3 mil hectares plantados (FAO, 2019). A região Sul, que abrange os estados de (i) Santa Catarina, (ii) Rio Grande do Sul e (iii) Paraná, possui as condições edafoclimáticas mais favoráveis para o cultivo, detendo por volta de 99% da produção nacional naquele ano (IBGE, 2019). Contudo, a condução da macieira fora de zonas de adaptação climática pode afetar profundamente sua fisiologia (Faust, 2000). Por exemplo, os invernos amenos e irregulares de grande parte da região Sul geralmente conduzem à baixa intensidade e uniformidade de brotação e floração das principais cultivares utilizadas, do grupo Gala (Petri *et al.*, 2011).

Petri *et al.* (2011) e Anuário Brasileiro da Maçã (2019) destacaram que maçãs do grupo 'Gala' representam cerca de 60% da produção brasileira. A mutação somática

‘Baigent’ é atualmente uma das mais preconizadas por ocasião da implantação de novos pomares, sobretudo pela elevada porcentagem de coloração vermelha na epiderme dos frutos (Fioravanço *et al.*, 2013). Entretanto, tal cultivar apresenta médio-alta exigência em frio para a plena superação da dormência, podendo exibir alta heterogeneidade fenológica, intensificada dominância apical, reduzida produção/qualidade de frutos e outras anomalias em locais onde é comum o suprimento apenas parcial da quantidade demandada (Petri & Leite, 2004). O cultivo comercial - larga escala, em grande parte das regiões produtoras de maçã no Sul do Brasil é consolidado, portanto, pela aplicação de agentes químicos.

A utilização de agentes químicos, denominados indutores de brotação, é uma das principais estratégias que podem minimizar os problemas fisiológicos em frutíferas temperadas sob déficit de frio hibernal (Rufato & Posser, 2019). Petri *et al.* (1996; 2006) listaram um grande número de compostos disponíveis no mercado, pertencentes a diversas classes toxicológicas e modos de ação. O sistema brasileiro de produção de maçãs é caracterizado pelo uso de uma única aplicação ao ano, na qual se destaca a cianamida hidrogenada associada ao óleo mineral. A elevada toxicidade da primeira tem incentivado, contudo, pesquisas por alternativas de menor periculosidade à saúde humana, algumas comumente com eficácia similar. O bioestimulante Erger[®], associado a nitrato de cálcio ou, mais recentemente, a óleo mineral, foi relatado por diversos trabalhos (Hawerth *et al.*, 2010a; 2010b; Pasa *et al.*, 2018a; 2018b).

Conforme Petri *et al.* (2006) e Hawerth (2018), o manejo da indução à brotação por indutores de brotação é dependente de aspectos relacionados aos compostos utilizados, ao clima do local e à planta. Os melhores resultados são obtidos em plantas de crescimento e desenvolvimento vegetativo - vigor - controlado. Contudo, em relação a regiões típicas de clima temperado, a estação de crescimento é maior nas condições de subtropical do Sul do Brasil (Hawerth *et al.*, 2012; Hawerth & Petri, 2014). Os diferentes fatores que envolvem a prática evidenciam complexidade. Logo, o uso padrão, numa única aplicação e concentrações atualmente preconizadas, pode mostrar-se insatisfatório em alguns anos; sobretudo sob quaisquer condições capazes de intensificar o vigor, como telas antigranizo.

A região Sul do Brasil apresenta o maior número de precipitações de granizo destrutivas do país vistas por satélite (Martins *et al.*, 2017). O granizo é um dos principais fenômenos ambientais responsáveis por perdas significativas na cultura da macieira. Sob altas intensidades pode denegrir o valor comercial dos frutos por danos físicos que servem como porta de entrada a patógenos, bem como reduzir a capacidade produtiva das plantas (Leite *et al.*, 2002). À medida que se intensificam as mudanças climáticas, o aumento na incidência de granizo tende a ser observado, o que acaba por demandar, por exemplo, a busca

por alternativas que garantam ou auxiliem na manutenção da viabilidade econômica da atividade (Botzen *et al.*, 2010).

A utilização de telas antigranizo, de polietileno de alta densidade, tem sido a mais eficaz ferramenta empregada para a minimização de danos pelo granizo em macieiras no Brasil, assim como em outros países (Middleton & McWaters, 2002; Iglesias & Alegre, 2006; Bosco *et al.*, 2017). No entanto, além do efeito de proteção, esse anteparo impõe modificações microclimáticas, sobretudo no microclima de luz. Tais mudanças acabam por interferir na relação macieira-ambiente em intensidade dependente de características da tela, manejo cultural e condições meteorológicas atuantes (Leite *et al.*, 2002; Middleton & McWaters, 2002; Bosco *et al.*, 2017). Nesse sentido, importantes aspectos de cultivo apresentam-se influenciados, a exemplo do crescimento e desenvolvimento vegetativo (Sever *et al.*, 2015; Treder *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018).

O aumento no comprimento médio ou total de ramos de macieiras sob telas antigranizo foi destacado por Iglesias & Alegre (2006), Solomakhin & Blanke (2008) e Bastias *et al.* (2012), em diversas regiões no mundo. Reduções na radiação fotossinteticamente ativa e outros efeitos do sombreamento induzem a síntese de hormônios de crescimento e a alocação de recursos na extensão dos ramos (Wit *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018), o que pode ser uma explicação. Para Mupambi *et al.* (2018), intensificações no vigor tipicamente correspondem ao aumento nas porcentagens de sombreamento e a telas de colorações escuras. Assim, muitos pomares brasileiros possuem o complicativo da (ainda) elevada proporção de áreas com malha preta.

No Sul do Brasil, em determinadas condições, um gradiente de vigor tem sido observado ao longo da copa, apresentando a porção superior a maior proporção de estruturas verticalizadas independentemente da presença de tela antigranizo. Podas de inverno inadequadas, a própria tela e a tendência natural de crescimento acrotônico da macieira, por exemplo, podem estar ligados a esse cenário. Nessas situações, gradientes de brotação e floração e, ainda, menor eficiência de práticas culturais subsequentes são caracterizados como potenciais consequências (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018).

De acordo com Hawerroth (2017) e Hawerroth *et al.* (2018), a aplicação sequencial de indutores de brotação, isto é, realização de uma segunda pulverização, pode qualificar-se como alternativa dentro do manejo da indução à brotação de macieiras cujo comprimento de ramos é intensificado. Tal ferramenta é de uso crescente em importantes regiões produtoras no Brasil, sobretudo em anos de baixo acúmulo de frio hibernal, quando a otimização de resultados em relação aos induzidos por uma única aplicação é frequentemente observada. Fenili *et al.* (2017) e Goularte *et al.* (2018) reportaram a intensidade da brotação de gemas

em resposta às aplicações, mas poucos são os estudos, inexistindo aqueles que insiram o fator tela antigranizo no sistema.

A aplicação sequencial de indutores de brotação pode ser direcionada à totalidade da copa das plantas ou apenas à sua porção superior - quando presente gradiente de vigor; associação de compostos com diferentes modos de ação, respectivas concentrações e intervalos após a primeira (Hawerth, 2017; Hawerth *et al.*, 2018). Entretanto, uma vez considerada a crescente demanda por produtos de baixa periculosidade, torna-se interessante o estudo da inserção de Erger[®] no esquema, sobretudo junto ao óleo mineral, de distinto modo de ação. O objetivo deste trabalho foi avaliar essa combinação como uma aplicação sequencial (i); bem como diferentes concentrações de cianamida hidrogenada associadas ao óleo mineral (ii) sobre fenologia, brotação de gemas, frutificação, produção e qualidade dos frutos, ao longo da copa, de macieiras ‘Baigent’ sob tela antigranizo no Sul do Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dormência de gemas em frutíferas temperadas

2.1.1 Introdução à dormência

As frutíferas de clima temperado caracterizam-se pela abscisão das folhas ao final do ciclo e a subsequente entrada em dormência (Pio *et al.*, 2019). O processo de dormência é um fenômeno biológico complexo, evolutivo e adaptativo, por muito e continuamente estudado (Lang, 1987; Considine & Considine, 2016). Para Samish (1954), dormência seria a ausência de crescimento visível nas plantas. Vegis (1964) destacou ser tal definição simplista, logo, imprecisa, acrescentando que a parada de crescimento, antes do início de condições desfavoráveis, assegura sobrevivência. Saure (1985) retratou definição semelhante, onde dormência seria uma etapa anual do desenvolvimento, a qual garante sobrevivência às plantas ao longo de invernos demasiadamente frios.

Segundo Metivier (1985), dormência passa a ser o período quando o crescimento é suspenso ou reduzido por condições ambientais adversas. Petri (1986) descreveu o fenômeno para indicar a falta de crescimento de tecidos, mesmo quando as condições se mostram adequadas para o crescimento visível. A definição de maior consenso atual, entretanto, é a proposta por Lang *et al.* (1987), onde dormência seria uma suspensão temporária do crescimento visível em qualquer estrutura da planta que contenha um meristema, mantendo atividades metabólicas, mas a níveis mínimos.

De acordo com Martin (1991), a terminologia utilizada para descrever fenômenos biológicos no ciclo das plantas ocorre gradualmente de acordo com o tempo, respectivos usos, progressão nas plantas e complexidade fisiológica. Logo, gemas de frutíferas temperadas iniciando a dormência podem prontamente retomar o crescimento, porém, ao passo que o fenômeno é estabelecido, a satisfação de requerimentos específicos passa a ser necessária para sua superação (Faust *et al.*, 1997; Hawerth *et al.*, 2010c).

O processo de dormência é dividido sob três diferentes tipos denominados, até a uniformização proposta por Lang *et al.* (1985), conforme a autoria. As dormências são dormência imposta, dormência de verão e dormência de inverno, para Doorembos (1953).

Vegis (1964), no entanto, utilizou os termos pré-dormência, dormência verdadeira e pós-dormência, enquanto que Champagnat (1983), quiescência, inibições correlativas e dormência. A nomenclatura adotada por Smith (1985) assemelha-se a de Doorembos (1953). Inúmeras eram as denominações disponíveis na literatura, muitas vezes para referir-se às mesmas ou semelhantes condições, retardando e dificultando a interpretação junto à discussão dos resultados de pesquisa obtidos ao redor do mundo (Lang, 1987).

A intensificação dos estudos a respeito da dormência mostrava-se dependente da universalização e atualização da terminologia empregada, o que incentivou a proposta de Lang *et al.* (1985), nos Estados Unidos. A partir dos estudos de Romberger (1963), onde são apresentados três pontos de controle da dormência em meristemas, (1) ambiental, (2) controle apical e (3) controle endógeno ao órgão afetado; Lang *et al.* (1985) definiram a adoção dos prefixos gregos para- (outro além), endo- (dentro) e eco- (ambiente) junto a palavra base dormência para denominar e caracterizar seus respectivos tipos.

Inicialmente, a inativação do meristema floral ou vegetativo mostra-se resultante da influência de outro órgão vegetal sobre a gema, o que determina a paradormência, ou inibição correlativa (Lang *et al.*, 1987; Horvath, 2010; Considine & Considine, 2016). A dominância apical é caracterizada por ser o principal exemplo de paradormência, haja vista a inibição do crescimento das gemas axilares pelo fluxo basipetal de auxinas sintetizadas na brotação apical, que normalmente antecede às demais (Taiz *et al.*, 2017). Assim, uma vez considerada o início de todo o processo, a retomada do crescimento da gema sob paradormência pode ser obtida a partir da simples eliminação das fontes inibitórias ou, ainda, pela utilização de agentes químicos (Faust *et al.*, 1997; Agustí, 2010).

A endodormência consiste na paralisação do desenvolvimento da gema como forma de sobrevivência a condições ambientais desfavoráveis ao crescimento, a exemplo de baixas temperaturas e déficit hídrico (Lang *et al.*, 1987; Horvath, 2010; Considine & Considine, 2016). A inibição do crescimento, nesse caso, ocorre devido a fatores endógenos à parte afetada. Ao contrário da paradormência, o crescimento não é retomado apenas a partir de condições ótimas de desenvolvimento, devendo as gemas serem expostas previamente a baixas temperaturas que estimulem a superação do estado (Lang *et al.*, 1987; Horvath, 2010; Considine & Considine, 2016).

Segundo Faust *et al.* (1997) e revisado por Agustí (2010), a endodormência pode ser dividida tanto numa primeira parte mais profunda, denominada *p*-endodormência, ou endodormência profunda, quanto noutra mais superficial, *s*-endodormência, ou endodormência superficial. A primeira é caracterizada pela incapacidade de indução das gemas ao crescimento, independente do método utilizado. Inversamente, o meristema passa

a ser receptivo a práticas culturais de manejo na segunda, a partir da qual, por exemplo, é iniciada a resposta a agentes químicos.

Uma vez superada a endodormência, as gemas podem permanecer dormentes por intermédio da ecodormência. A ecodormência é assim caracterizada pela ausência de crescimento decorrente de fatores limitantes localizados exógenamente à planta, como temperaturas extremas, déficit nutricional e estresse hídrico (Lang *et al.*, 1987; Horvath, 2010; Considine & Considine, 2016). Embora as gemas estejam aptas ao início do crescimento, a partir desse momento, o mesmo é visualizado unicamente após a suspensão das condições desfavoráveis, bem como após o aumento e satisfação de uma determinada quantidade de temperaturas do ar mais elevadas (Faust *et al.*, 1997; Agusti, 2010).

O uso universal dos termos para-, endo- e ecodormência possibilitou avanços na comunicação para estudos vinculados à maior compreensão celular e bioquímica do processo. A partir dessa progressão, a problemática teórica mais recente da dormência passa a ser, para Olsen (2006), a limitação da compreensão dos mecanismos fisiológicos devido ao grande número de fatores envolvidos, tanto ambientais quanto relativos à planta.

2.1.2 Fisiologia e controle da dormência

A fisiologia e o controle da dormência são mecanismos amplamente estudados e discutidos, visto ser o processo regulado de maneira endógena e influenciado por fatores externos (Olsen, 2006; Lloret *et al.*, 2018). Os fatores externos ambientais temperatura do ar, fotoperíodo, luminosidade e precipitação pluviométrica são destacados por Hawerroth *et al.* (2010c), que de maneira similar elucidam a influência sobre o processo de fatores relativos à planta, como genótipo, localização/tipo de gema e porta-enxerto utilizado.

Para Cook *et al.* (2017), a progressão da dormência de gemas é definida por um ‘*continuum*’ que inicia após a paralisação final do crescimento junto a formação da gema terminal no verão, atingindo intensidade máxima no inverno para reduzir até a brotação na primavera (FIGURA 1). Portanto, o desenvolvimento da dormência nas gemas axilares ocorre de forma progressiva (Erez, 2000; Hawerroth *et al.*, 2010c). Inibindo o crescimento desse tipo de gema, o processo inicia-se pela paradormência através da dominância apical e/ou presença de folhas.

As gemas axilares são formadas e desenvolvidas de maneira gradual ao longo do crescimento do ramo, logo, a partir da redução da temperatura do ar junto ao encurtamento do fotoperíodo no outono, são induzidas à endodormência de forma consecutiva (Erez, 2000; Hawerroth *et al.*, 2010c). Gemas basais são as primeiras a serem desenvolvidas e conseqüentemente as primeiras a entrarem em dormência. Assim, gemas formadas

tardiamente podem permanecer paradormentes lado a lado com gemas basais endodormentes (Erez, 2000; Hawerth *et al.*, 2010c).

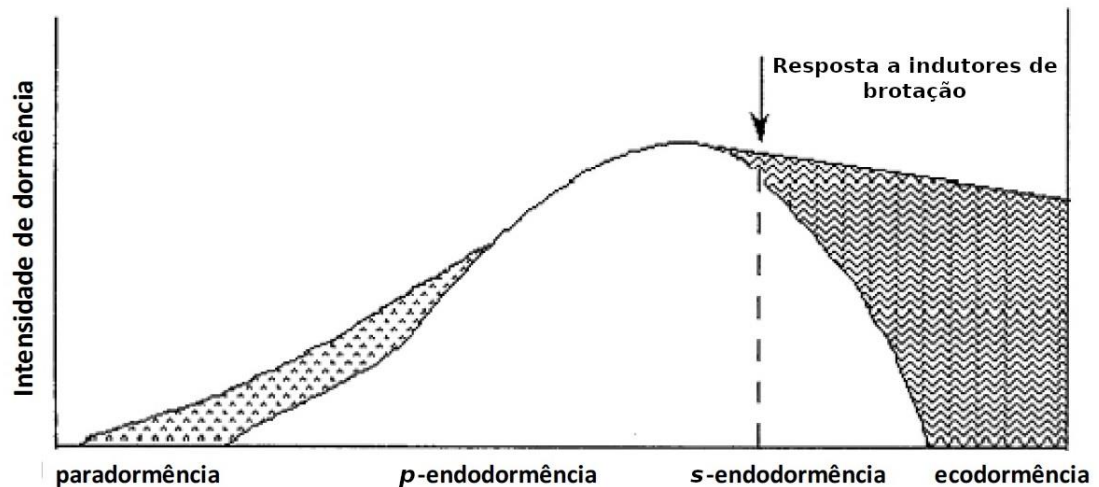


FIGURA 1. Esquema ilustrativo da evolução do processo de dormência e o início da resposta ao uso de substâncias químicas indutoras de brotação. Adaptado de Faust *et al.* (1997).

As transições graduais entre os diferentes tipos de dormência (para-, endo- e ecodormência) envolvem modificações fisiológicas complexas (Cooke *et al.*, 2012; Falavigna *et al.*, 2019). Consequentemente, importantes trabalhos podem ser encontrados na literatura para maiores aprofundamentos bioquímicos acerca do processo (Wang & Faust, 1990; Erez *et al.*, 1998; Rinne *et al.*, 2001; Bonhomme *et al.*, 2005; Horvath, 2010; Hillmann *et al.*, 2016; Kaufmann & Blanke, 2017).

A manutenção de baixas temperaturas do ar ao longo do inverno é relevante para a progressão da dormência até o acúmulo do quantitativo demandado, de modo que as gemas brotem intensa e uniformemente, com brotação e florescimento adequados durante a primavera (Allan, 2004). Desde a indução até a superação da endodormência, a demanda total por baixas temperaturas é intitulada requerimento em frio, importante parâmetro para a escolha de genótipos a serem utilizados em determinada região (Guak & Neilsen, 2013).

Conforme Hawerth *et al.* (2010c), o requerimento em frio das frutíferas de clima temperado é variável conforme o genótipo, a localização/tipo de gema e o porta-enxerto utilizado. Petri *et al.* (2006) relataram diferenças entre algumas espécies, onde a amplitude observada relaciona-se também às variações entre cultivares. Gemas terminais e axilares, bem como floríferas e vegetativas, apresentam distintos requerimentos em frio. Axilares e vegetativas, quando comparadas a terminais e floríferas, apresentam maior exigência (Faust *et al.*, 1995; Naor *et al.*, 2003). Latimer & Robitaille (1981) mostraram, ainda, que as gemas terminais de brindilas de macieiras são mais exigentes que as de dardos, apesar de serem induzidas posteriormente à dormência, por exemplo.

O uso de porta-enxertos é comum no cultivo de pereiras, pessegueiros, ameixeiras, macieiras e outras frutíferas de clima temperado, a nível comercial de produção (Webster, 2001; Donadio *et al.*, 2019). Tal prática determina respostas distintas quanto ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, possibilitando o controle do vigor (Donadio *et al.*, 2019). A influência de porta-enxertos sobre o requerimento em frio, logo, passa a ser relacionada à intensidade do crescimento e desenvolvimento vegetativo induzido a cultivar copa, bem como à produção de citocininas, de efeito na indução à brotação (Erez, 2000).

A importância de condições térmicas para a dormência de gemas, sobretudo para a superação do processo, instigou diversos trabalhos para determinar as temperaturas efetivas para tal (Erez & Lavee, 1971; Putti *et al.*, 2003). O primeiro modelo utilizado, descrito por Weinberger (1950) e aplicado por décadas pela facilidade de cálculo, é a soma diária das horas com temperaturas do ar iguais ou inferiores a 7,2°C. Alguns estudos demonstram, entretanto, que espécies e cultivares de menor necessidade respondem positivamente a temperaturas acima de 7,2°C (Couvillon & Erez, 1985), questionando-se a forma com que um processo bioquímico poderia estar intimamente relacionado a uma temperatura fixa.

Hauagge (2007) destacou ser positivo o efeito da temperatura do ar para a superação da dormência numa faixa mais ampla, de 0°C a 15°C, assim como negativo, a partir de 15-18°C, o que depende do genótipo utilizado. Assim, objetivando abranger uma faixa de temperatura mais ampla e incorporar os efeitos negativos de temperaturas demasiadamente baixas e elevadas, os modelos de unidades de frio, sobretudo Utah (Richardson *et al.*, 1974) e Carolina do Norte (Shaltout & Unrath, 1983), foram desenvolvidos.

Os modelos Utah e Carolina do Norte, elaborados para as culturas do pessegueiro e macieira, respectivamente, nas regiões homônimas dos Estados Unidos da América, consistem na conversão de temperaturas do ar horárias - conforme faixas de temperaturas - em unidades de frio (Richardson *et al.*, 1974; Shaltout & Unrath, 1983). As unidades de frio são acumuladas diariamente até um total que teoricamente corresponde ao final da dormência de uma determinada espécie e cultivar (Melke, 2015). Apesar de eficazes para as condições climáticas norte-americanas, marcadas por invernos constantes e regulares, tais modelos apresentam reduzida precisão quando utilizados para a predição do fim da dormência sob condições tropicais e subtropicais (Luedeling & Brown, 2011; Melke, 2015). À vista disso, Ebert *et al.* (1986) promoveram modificações nos modelos originais, de forma a indicar o modelo Carolina do Norte Modificado como o mais ajustado às principais condições meteorológicas de cultivo, por exemplo, no Sul do Brasil.

Para Erez (2000) e Pio *et al.* (2019), uma das maiores limitações ao cultivo de frutíferas temperadas em regiões tropicais e subtropicais é a superação do período de

dormência. A disponibilidade de frio hibernal abaixo das exigências fisiológicas dos genótipos utilizados conduz a problemas relacionados à fisiologia das plantas (FIGURA 2). Petri & Leite (2004) elucidaram atrasos ou inibições da brotação de gemas axilares de macieiras devido à antecipação da brotação de gemas terminais e à dominância apical, intensificando o crescimento terminal. A brotação deficiente é associada, igualmente, à necrose de gemas florais em algumas espécies, como drupáceas (George & Erez, 2000).

O déficit de frio para a plena superação da dormência pode promover elevada heterogeneidade de brotação e florescimento em frutíferas temperadas. Tal heterogeneidade é manifestada tanto temporalmente, por gemas em diferentes estádios de desenvolvimento no mesmo momento, quanto espacialmente, pelo gradiente anormal de brotação e floração em um mesmo ramo (Leite, 2004). Ainda, a possível redução da área foliar, associada a menor qualidade de flores, diminui a frutificação efetiva, induz a formação de frutos de menor tamanho e reduz a vida útil das plantas, conforme retratado por Leite *et al.* (2014).

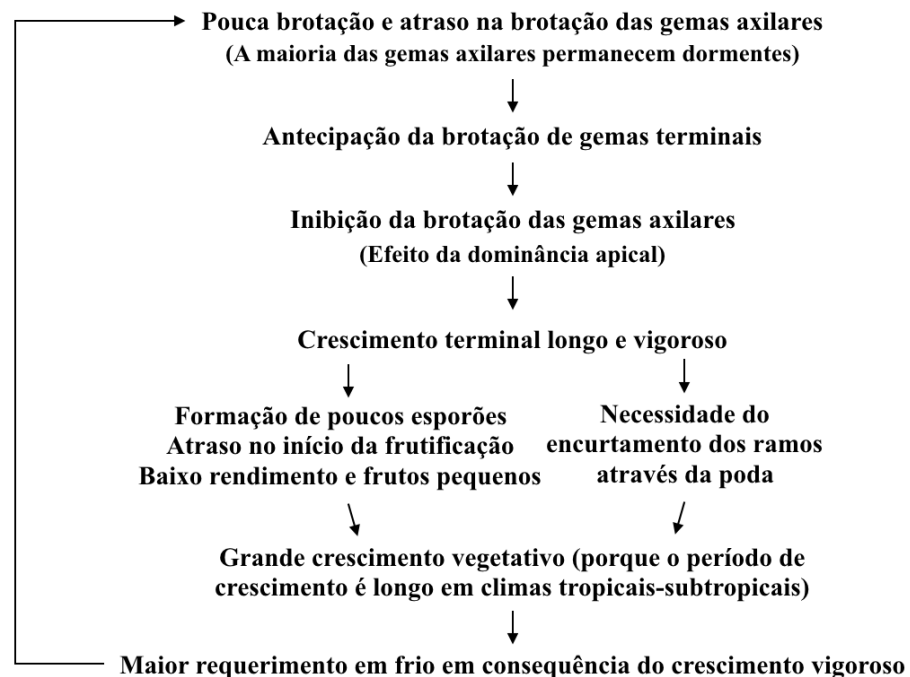


FIGURA 2. Fluxograma das consequências da insuficiência de frio hibernal em frutíferas de clima temperado. Adaptado de Erez & Zur (1974).

A possibilidade de minimização dos problemas fisiológicos resultantes do déficit de frio hibernal pela utilização de determinadas estratégias fitotécnicas é encontrada na literatura (Melke, 2015; Pio *et al.*, 2019). Exposição de mudas a frio artificial previamente ao plantio, desfolha, suspensão da irrigação, poda, incisão anelar, arqueamento de ramos e o uso de agentes químicos, possuem ampla importância (Petri *et al.*, 1996; Melke, 2015). A aplicação de agentes químicos, denominados indutores de brotação, é a mais usual (Rufato & Posser, 2019). Tais compostos, apesar de demandarem, para Campoy *et al.* (2011), estudos

aprofundados a respeito de como atuam induzindo a brotação de gemas, possuem antigo histórico e elevada importância para macieiras, pereiras e outras espécies e cultivares ao redor do mundo.

2.2 Utilização de indutores de brotação

2.2.1 Introdução aos indutores de brotação

Os indutores de brotação estimulam processos fisiológicos, auxiliando na produção de condições bioquímicas similares àquelas ocorrentes a partir da maior disponibilidade de baixas temperaturas hibernais. As primeiras referências da ação de agentes químicos na indução da brotação deram-se a partir da observação da resposta de gemas a inseticidas, no início do séc. XX, considerando estudos citados por Black (1937). Tal constatação instigou pesquisas ao redor do mundo para discriminar vantagens dessas substâncias, sobretudo quando incorporadas aos sistemas de produção de frutíferas de clima temperado.

A antecipação e a uniformização do período de florescimento de macieiras ‘White Winter Pearmain’ e pereiras ‘Bon Chretien’ (‘Williams’) e ‘Beurre Hardy’ foram apontadas por Black (1937), na África do Sul, em resposta a indutores de brotação. Efeitos sobre a floração de macieiras também foram noticiados por Samish (1945), em Israel. Para a cultivar Golden Delicious, no Brasil, Petri *et al.* (1975), Pasqual *et al.* (1978) e Pasqual & Petri (1979) reportaram aumentos em porcentagem de brotação de gemas, número de cachos florais e produção. Entretanto, reduções na frutificação efetiva foram obtidas. Tais estudos configuraram as pesquisas iniciais de indutores de brotação no país.

Iwasaki (1980) obteve incrementos no número de gemas brotadas de videiras ‘Muscat of Alexandria’, no Japão, a partir da aplicação de indutores de brotação. O autor não avaliou, entretanto, possíveis efeitos sobre a produtividade das plantas. A intensificação do florescimento de pessegueiros ‘Flordagold’, no México, pode ser igualmente obtida (Díaz *et al.*, 1987). Para macieiras ‘Gala’, aumentos em brotação de gemas, massa total e média de frutos, foram relatados por Petri & Stuker (1995) no Brasil.

Ao estudar kiwizeiros ‘Hayward’ na Nova Zelândia, Mcpherson *et al.* (2001) demonstraram que indutores de brotação anteciparam, bem como uniformizaram a brotação e a floração e aumentaram o número total de flores. Os autores destacaram, todavia, a elevada variabilidade de resultados obtidos de um ano para outro. Incrementos na brotação de gemas de pessegueiros ‘Rhodes’ e nectarineiras ‘Aprilglo’, em contraste a redução da frutificação, foram obtidos por Erez *et al.* (2000) em Israel.

Antecipações de brotação, floração e colheita de caquizeiros ‘Rubi’ pela utilização de indutores de brotação foram demonstradas por Mizobutsi *et al.* (2003), no Brasil.

Aumentos no teor de sólidos solúveis e acidez titulável dos frutos também foram obtidos pelos autores. Para Salinero *et al.* (2007), kiwizeiros ‘Hayward’ produziram frutos de maior massa média, na Espanha. Por outro lado, variáveis produtivas e qualitativas de videiras ‘Niagara Rosada’, no Brasil, não foram influenciadas por essas substâncias (Werle *et al.*, 2008).

O aumento na brotação de gemas axilares e terminais de macieiras ‘Imperial Gala’ e ‘Fuji Suprema’, no Brasil, junto a maior sincronia de florescimento entre ambas, foram encontrados por Hawerth *et al.* (2009) devido a aplicação de indutores de brotação. Reduções da frutificação efetiva foram também observadas, mas a produção total e a massa média dos frutos não foram influenciadas. Na Tunísia, intensificações em brotação, floração, produção e qualidade das nozes foram reportadas em pistacheiros cultivar Mateur (Ghrab & Mimoun, 2014). Maçãs ‘Maxi Gala’ e ‘Fuji Suprema’ não apresentaram modificações em aspectos qualitativos em resposta a indutores de brotação, conforme evidenciado por Pasa *et al.* (2018b) e Pasa *et al.* (2018a), respectivamente, no Brasil.

George *et al.* (2002) destacaram serem três as principais vantagens da aplicação de indutores de brotação: (i) reduzir parte do requerimento em frio dos genótipos; (ii) modular a época de brotação, floração e maturação dos frutos, de forma a antecipar ou aproveitar janelas de mercado e (iii) aumentar e/ou uniformizar a brotação de gemas axilares nas espécies de forte dominância apical, incrementando a floração e a produtividade.

Para Hawerth *et al.* (2010c), moléculas com ação na indução da brotação podem ser utilizadas mesmo para regiões onde a dormência é superada naturalmente, sobretudo para captar épocas preferenciais de mercado. Assim, a influência de diferentes altitudes sobre a eficácia de determinados compostos foi avaliada por Iuchi *et al.* (2002). Os autores verificaram que a aplicação pode maximizar a brotação e a formação de ramificações e estruturas reprodutivas, incrementando o potencial produtivo tanto para plantas jovens, sob qualquer altitude, quanto para plantas adultas, abaixo de 1.360 m.

A utilização de indutores de brotação é uma prática consolidada no cultivo de frutíferas temperadas em muitos locais onde o acúmulo de baixas temperaturas é insuficiente para satisfazer o quantitativo demandado em frio hibernal (Erez *et al.*, 2008). Países como Brasil, África do Sul, México, Nova Zelândia e Israel são destacados. A produção em larga escala de kiwis ‘Hayward’ na Nova Zelândia é viabilizada pela prática (Mcpherson *et al.*, 2001; Hernández & Craig, 2011). Isso é válido em grande parte das regiões produtoras de maçãs do Brasil, para macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’, de maior área cultivada (Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014).

Os indutores de brotação dependem de diversos fatores para serem eficazes, como a

ocorrência de determinado acúmulo prévio de baixas temperaturas (Erez, 2000). Dentre outras, essa é uma das possíveis causas da frequente observação, na literatura disponível, de respostas distintas à utilização do mesmo composto, sobre a mesma espécie/cultivar e condições de cultivo, mas em diferentes anos.

2.2.2 Fatores que interferem na eficácia de indutores de brotação

O manejo da indução à brotação de frutíferas temperadas a partir da utilização de indutores de brotação é dependente de fatores relacionados aos agentes químicos utilizados, às respectivas aplicações, ao clima do local e à planta, conforme ilustrado na FIGURA 3 (Petri *et al.*, 2006; Hawerth, 2018).

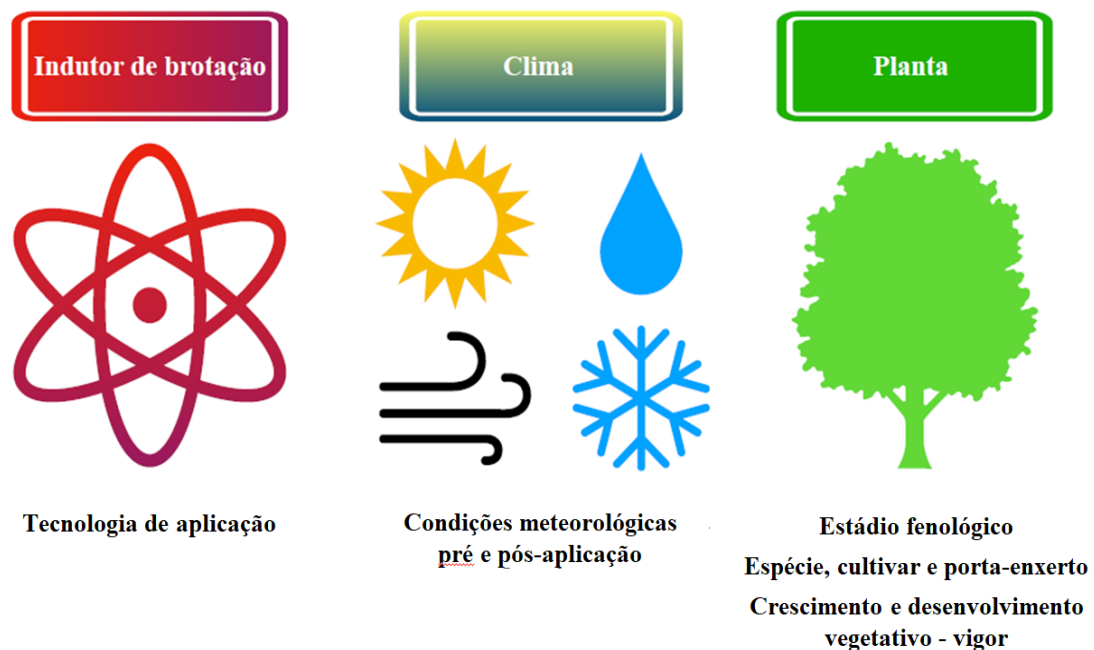


FIGURA 3. Fatores relacionados ao manejo de indutores de brotação em frutíferas de clima temperado. Adaptado de Hawerth (2018).

a) Indutor de brotação:

Inúmeras moléculas apresentam efeito na indução da brotação de frutíferas de clima temperado (Petri *et al.*, 1996; 2006). Petri *et al.* (1996; 2006) listaram óleos vegetais, óleos minerais, cálcio-cianamida, nitrato de potássio, nitrato de cálcio, cianamida hidrogenada, dinitro-ortho-cresol, dinitro-ortho-butil-fenol, dinitro-butil-fenol, tioureia, pentaclorofenolato de sódio, tidiazuron e ácido giberélico. Alguns desses, contudo, já amplamente em desuso ou mesmo proibidos devido à baixa eficácia ou elevada toxicidade.

A utilização associada de óleo mineral e sais de dinitro foi inicialmente recomendada por Samish (1945) para a indução da brotação de macieiras em Israel. Uma vez considerada de alta eficiência, logo, tal aplicação passou a ser adotada também em outros países (Petri *et*

al., 1975). Todavia, a elevada toxicidade dos sais de dinitro resultou gradualmente na proibição de uso, fazendo com que a melhor opção disponível passasse a ser a cianamida hidrogenada, isolada ou junto ao óleo mineral (Araújo *et al.*, 1991; Petri, 1997). Hawerth *et al.* (2010c) indicaram que o uso associado de duas ou mais substâncias pode apresentar benefícios, sobretudo a redução dos custos de aplicação. É possível a redução das concentrações de cianamida hidrogenada ao utilizá-la em combinação ao óleo mineral, conforme Petri *et al.* (2006). Assim, isso favoreceu a adoção da combinação por muitos anos na indução à brotação de frutíferas temperadas em Israel, África do Sul, Nova Zelândia, Brasil e outros países que cultivam espécies e cultivares sob condições de insuficiente acúmulo de frio hibernar.

A cianamida hidrogenada, comercializada por meio dos produtos Dormex[®] e Hi-Cane[®] no Brasil e na Nova Zelândia, respectivamente, apresenta elevada eficácia na indução à brotação de gemas. Logo, é a molécula mais utilizada para a superação da dormência em caquizeiro (Mizobtusi *et al.*, 2003; Ayub *et al.*, 2009), macieira (Hawerth *et al.*, 2009), pessegueiro (Marodin *et al.*, 2002; Nava *et al.*, 2009) e videira (Werle *et al.*, 2008), dentre outras. A elevada eficácia da cianamida hidrogenada é contrastada por sua alta periculosidade, passível de provocar hipotensão, aceleração do pulso, náuseas, dores de cabeça e irritações na pele (Inamdar *et al.*, 2015). Importante estudo acerca de relatos de intoxicação em humanos, por exemplo, foi realizado por Settimi *et al.* (2005), na Itália.

O produto Dormex[®] teve comercialização temporariamente suspensa em 2002, na Itália, para revisão de sua regulamentação pela União Européia (Settimi *et al.*, 2005). Após seis anos de estudos, teve registro revogado no país (ITALIA, 2008). A tendência é de que o produto, logo, sofra restrições de comercialização noutros países europeus e mundo afora em um futuro breve, todavia, continue sendo utilizado enquanto permitido.

Preconizada pela Produção Integrada de Frutas, a crescente demanda pela restrição a substâncias sintéticas na condução de pomares torna o uso de determinados indutores de brotação um fator limitante nos países cujos sistemas de produção de frutíferas temperadas dependem da prática (Hawerth *et al.*, 2010a). Algumas pesquisas a respeito de novos compostos à base de nitrogênio inorgânico (Erger[®]) (Hawerth *et al.*, 2010a; 2010b; Darde *et al.*, 2019), ácido glutâmico (Sincron[®]) (Petri *et al.*, 2016) e géis contendo polissacarídeos (Bluprins[®]) (Ziozi *et al.*, 2015) têm apresentado resultados satisfatórios na busca por indutores de brotação menos agressivos à saúde humana e ao meio ambiente.

De acordo Hawerth *et al.* (2010a; 2010b), o bioestimulante Erger[®], combinado a nitrato de cálcio, foi eficaz na indução da brotação de macieiras ‘Imperial Gala’ e ‘Fuji Suprema’ cultivadas a céu aberto. Isso também foi relatado por Pasa *et al.* (2018b) e Pasa *et*

al. (2018a) para macieiras ‘Maxi Gala’ e ‘Fuji Suprema’, respectivamente, a partir da associação de Erger[®] e óleo mineral. Coser (2018) obteve efeitos satisfatórios de Erger[®] junto a nitrato de cálcio em videiras ‘Niagara Rosada’ e ‘Cabernet Sauvignon’. A utilização de Erger[®] de maneira isolada foi eficaz, ainda, para a superação da dormência de kiwizeiros ‘Hayward’, conforme estudos de Hernández & Craig (2011).

Segundo Erez *et al.* (1980), o óleo mineral estabelece uma película ao redor da gema, o que resulta em condições anaeróbias e produção de etanol, induzindo a brotação de gemas. O modo de ação da cianamida hidrogenada, bioestimulantes e outros compostos não é completamente elucidado. Shulman *et al.* (1986) apontaram que a primeira pode promover o aumento da concentração celular de peróxido de hidrogênio devido a interferências em processos enzimáticos. Para Bulgari *et al.* (2014; 2019), os bioestimulantes podem atuar a nível molecular para incrementar a eficiência de uso de água e nutrientes. Uma vez formados por muitos componentes, tais compostos atuam em função de efeitos sinérgicos ou antagônicos desses, o que dificulta estudos precisos sobre os respectivos modos de ação (Bulgari *et al.*, 2014; 2019).

A definição de concentrações dos indutores de brotação deve ser procedida conforme espécie e cultivar, vistas as diferentes sensibilidades existentes (Leite *et al.*, 2014). Quando preconizadas junto aos estudos para a elucidação de novos compostos, adequadas concentrações auxiliam na redução dos custos de aplicação, bem como dos riscos de fitotoxicidade e contaminação ambiental (Hawerth *et al.*, 2010a). Assim, os indutores de brotação devem possuir, conforme Erez (2000), três características fundamentais: (i) elevada eficácia; (ii) baixo custo de utilização e (iii) mínima toxicidade às plantas e ao meio ambiente.

Os indutores de brotação apresentam ação localizada sobre as gemas, o que torna necessário o molhamento individual de cada meristema (Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Essa importante constatação é conhecida, no mínimo, desde a década de 30, uma vez ter sido noticiada por Black (1937). Junto ao fato das aplicações serem realizadas durante um momento de ausência de folhas, ou seja, reduzida superfície de retenção, tal particularidade ressalta a importância de estudos acerca da seleção e manejo dos bicos e respectivas estruturas, preparo, características e volume da calda formulada. Adicionalmente, da adequada calibração e regulação do maquinário, bem como da atenção às condições meteorológicas durante a aplicação. Tais fatores são amplamente descritos para produtos fitossanitários por ANDEF (2004), Antuniassi & Baio (2008) e Zambolim *et al.* (2008). Petri *et al.* (2006) exemplificaram, entretanto, algumas particularidades importantes para a utilização de indutores de brotação.

b) Clima

O uso de indutores de brotação deve ser adequado às condições meteorológicas pré, durante e após as aplicações (Petri *et al.* 2006; Hawerth, 2018). Para Erez (2000), as aplicações mostram-se eficazes somente após o acúmulo prévio de parte do frio requerido pelas espécies e cultivares utilizadas, o que acontece à medida que forem acumulados, no mínimo, 50% ou 2/3 da demanda de frio hibernal.

Petri *et al.* (2006) enfatizaram que a ocorrência de precipitações pluviométricas dentro de determinado período após as aplicações de indutores de brotação implica em dúvidas quanto à eficiência e eventual necessidade de reaplicação. Segundo Leite *et al.* (2014), é importante a ausência de chuvas por no mínimo 1 h após a aplicação. A necessidade de reaplicação de cianamida hidrogenada a partir da ocorrência de chuvas durante períodos que sucedam o tratamento em intervalo inferior a 2 h foi relatada por Nachtigal & Roberto (2005). Entretanto, conforme Maia & Camargo (2007), o período ideal para a ausência de chuvas passa a ser 4 h após a aplicação da cianamida hidrogenada.

A resposta da brotação de gemas de mudas de macieiras ao emprego de chuvas artificiais (25 mm, durante 45 min) logo após a pulverização de indutores de brotação; 30 min; 1; 2; 4; 8 e 24 h pós-aplicação foi avaliada, durante dois anos, por Palladini & Petri (1997). Os menores valores foram observados a partir da exposição das plantas à chuva logo após a aplicação, embora não tenham diferido de maneira significativa dos demais tratamentos com chuva artificial após 30 min. Assim, os autores indicam não haver a necessidade de reaplicação de cianamida hidrogenada associada a óleo mineral a partir de chuvas de até 25 mm, no período entre 30 min e 24 h após a aplicação.

Conforme Hawerth & Natchtigall (2016), a temperatura do ar é importante no período pós-aplicação, definindo a ‘janela’ de aplicação para os indutores de brotação. Depois de satisfeita a demanda em frio hibernal, as frutíferas temperadas necessitam do acúmulo de temperaturas mais altas para ‘ativar’ os processos metabólicos, exigência a qual é definida como soma-térmica (Petri, 1997; Hawerth *et al.*, 2010c). Incrementos nas temperaturas durante duas semanas após o tratamento foram associados, para Erez (1979), ao aumento da resposta na taxa de brotação de gemas de macieiras.

A necessidade de calor após a superação da dormência em frutíferas de clima temperado é variável entre genótipos, além de dependente da quantidade de frio previamente acumulado (Putti *et al.*, 2000; Okie & Blackburn, 2011). Okie & Blackburn (2011) mostraram que quanto maior o acúmulo de baixas temperaturas durante o inverno, menor a necessidade de calor para diversas cultivares de pessegueiro. Resultados similares foram encontrados por Chavarria *et al.* (2009) para a cultivar Turmalina, enquanto que por Putti *et*

al. (2000) para macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’. Portanto, recomenda-se que o momento de definição para o uso dos indutores de brotação seja também baseado na expectativa de aumento das temperaturas do ar nos dias seguintes a aplicação, de forma que a resposta das plantas seja intensificada (Petri *et al.*, 2006).

c) Planta

A época de aplicação de indutores de brotação apresenta grande efeito sobre sua eficácia, sobretudo através do estágio fenológico das frutíferas temperadas (Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Conforme a escala fenológica de Iuchi (2006), a maior frequência de antecipação da floração para macieiras é observada quando os tratamentos são realizados nos estádios A e B, bem como nos genótipos de maior exigência em frio hibernal e nos anos com menor acúmulo de baixas temperaturas do ar (Petri *et al.*, 2006).

Petri *et al.* (2006) destacaram que aplicações de indutores de brotação, quando realizadas de forma precoce ou tardia, podem promover baixos índices de brotação de gemas axilares; antecipação da brotação de gemas terminais e forte dominância apical. Logo, a formação de estruturas de frutificação pode ser comprometida e o comprimento de ramos intensificado. Intensificações no alongamento dos ramos são particularmente indesejáveis e maiores sob condições de insuficiência de frio hibernal, mostrando-se cumulativas ao longo dos anos. Uma vez comparados a ramos de menor comprimento, estruturas maiores têm gemas axilares de maior requerimento em frio e tendência acrotônica de brotação aumentada (Erez, 2000; Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Logo, proporcionalmente, gemas que apresentam menor responsividade a indutores de brotação.

Diferentes espécies e cultivares apresentam distinto desenvolvimento de ramos conforme taxas de crescimento, época do início e paralisação, capacidade de ramificação, comprimento de entrenós, tamanho de folhas e hábito de crescimento, isto é, acrotonia ou basitonia (Webster, 2005; Hawerroth & Petri, 2011). Para Hawerroth & Petri (2011), o grau de acrotonia ou basitonia parece ser o principal determinante das diferenças observadas no crescimento e desenvolvimento vegetativo.

Segundo Erez (2000) e revisado por Hawerroth & Petri (2011), o nível de dominância apical é variável entre espécies, uma vez que pomáceas e cerejeiras apresentam maior polaridade ou acrotonia que pessegueiros e ameixeiras. Devido à vantagem espacial, as gemas terminais na ausência de inibições correlativas possuem posição dominante em relação às axilares, definindo uma tendência de gradiente de brotação acrotônico (Cook & Jacobs, 2000; Hawerroth & Petri, 2011).

O crescimento dos ramos é influenciado por condições genéticas, ambientais, edáficas e de manejo (Webster, 2005; Hawerroth & Petri, 2011). A utilização de porta-enxertos, anteriormente comentada, é prática difundida para produção a nível comercial de diversas frutíferas de clima temperado (Webster, 2001; Donadio *et al.*, 2019). Conforme Jackson (2003), os principais benefícios de porta-enxertos são: controle de crescimento e desenvolvimento vegetativo - vigor, redução de mão-de-obra, rápida entrada em produção e melhoria da qualidade de frutos. Respostas diferenciadas quanto ao vigor, do ponto de vista genético, são proporcionadas por diferentes porta-enxertos, o que influencia a porcentagem de brotação de gemas (Erez, 2000). Os porta-enxertos podem induzir à cultivar copa desde alto até moderado e baixo crescimento vegetativo, fator chave que determina o tamanho das plantas, bem como a precocidade de produção (Webster, 2001).

A presença de altas temperaturas do ar, radiação incidente e precipitações pluviométricas prolonga o ciclo de crescimento das plantas, logo, contribui para o aumento do crescimento dos ramos (Hawerroth *et al.*, 2012; Hawerroth & Petri, 2014). Temperaturas entre 12°C e 25°C podem aumentar o alongamento dos ramos, mas reduzir a frutificação efetiva e a formação de gemas (Tromp & Boertjes, 1996). Hawerroth & Petri (2011) apontaram a problemática de ramos vigorosos para pomáceas em regiões tropicais e subtropicais. Tal questão, aliada muitas vezes à reduzida disponibilidade de baixas temperaturas no inverno, por exemplo, dificulta a superação da dormência nesses locais.

Para Marodin & Almeida (2016), a circulação de seiva bruta, composta por água e minerais, mostra-se mais intensa nos órgãos expostos à luz devido à maior transpiração, favorecendo, assim, seu crescimento contínuo. Adicionalmente, o decréscimo na disponibilidade de luz limita a atividade fotossintética, promove o estiolamento dos ramos e favorece também o alongamento dos entrenós (Webster, 2005; Hawerroth & Petri, 2011).

O plantio de frutíferas temperadas sobre solos profundos, de boa drenagem, livres de camadas superficiais ou subsuperficiais compactadas, além de elevada fertilidade, favorece o crescimento e desenvolvimento das plantas (Webster, 2005; Hawerroth & Petri, 2011). Inversamente, plantios sobre solos rasos, normalmente altamente compactados e propensos a períodos de deficiência hídrica, limitam o volume e aumentam as resistências para o desenvolvimento radicular, impondo restrições ao crescimento e desenvolvimento da parte aérea (Webster, 2005; Hawerroth & Petri, 2011).

As práticas culturais de adubação (Brunetto *et al.*, 2016) e poda de ramos (Rufato *et al.*, 2012) tendem a influenciar sobremaneira o crescimento vegetativo. Nutrientes minerais devem ser absorvidos em quantidade compatível ao respectivo requerimento para a manutenção do crescimento normal e das atividades metabólicas dos órgãos vegetais. Assim,

adubações desequilibradas ou em excesso, principalmente de nitrogênio, podem intensificar o alongamento dos ramos (Webster, 2005; Hawerth & Petri, 2011).

Conforme Webster (2005) e Hawerth & Petri (2011), a poda dos ramos influencia o crescimento daqueles remanescentes e das brotações posteriores de acordo, principalmente, com a época e a intensidade de execução. Podas de frutificação - durante o período de dormência das plantas, sob intensidade moderada a alta, por exemplo, resultam em maior crescimento dos ramos na estação de crescimento seguinte uma vez comparado àquele observado nas plantas não podadas (Marodin & Almeida, 2016).

O cultivo de frutíferas temperadas sob telas, sobretudo de polietileno de alta densidade, é crescente ao redor do mundo para proteção ou minimização de danos provocados por granizo ou golpes de sol (Middleton & McWaters, 2002; Giaccone *et al.*, 2012; Girona *et al.*, 2012; Kiprijanovski *et al.*, 2016). Denominadas telas antigranizo, tais estruturas promovem modificações em componentes microclimáticos, dentre os quais alterações no microclima de luz podem intensificar o crescimento e desenvolvimento vegetativo (Solomakhin & Blanke, 2008; Mupambi *et al.*, 2018).

2.3 O cultivo de macieiras sob tela antigranizo no Sul do Brasil

2.3.1 Alterações microclimáticas e impactos na fisiologia das plantas

A utilização de telas antigranizo promove alterações microclimáticas de impacto significativo na relação macieira-ambiente (Bosco *et al.*, 2017). O desenvolvimento das plantas é dinâmico, pois resulta de interações ocorrentes entre manejo empregado e temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar presentes, elementos físicos que compõem o microclima do local (Fitter & Hay, 2002; Bosco, 2011).

A temperatura do ar influencia a fenologia das plantas de tal maneira que, segundo Bergamaschi (2007) e Bergamaschi (2017), reduções e aumentos retardam e aceleram o metabolismo vegetal, respectivamente. Para Iglesias & Alegre (2006), telas antigranizo podem promover reduções de até 3°C na temperatura máxima do ar nos dias quentes, uma vez considerada a interceptação da radiação solar pela cobertura. Os autores indicaram que dias com baixa intensidade de radiação luminosa podem apresentar elevação de até 1°C na temperatura mínima, quando comparada à ocorrente nas áreas descobertas, o que pode ser atribuído ao bloqueio pela tela da radiação de onda longa refletida.

Bosco *et al.* (2013) reportaram o prolongamento do subperíodo entre a frutificação efetiva e a colheita de macieiras 'Royal Gala' sob tela antigranizo, o que retardou a maturação dos frutos. Isso ocorreu apesar da ausência de diferenças entre as temperaturas média, máxima e mínima do ar. As diferenças observadas na temperatura sob tela antigranizo

e em céu aberto são pontuais e ocorrem nos períodos de maior radiação fotossinteticamente ativa, alterando mais máximas que mínimas (Bosco, 2011).

A umidade relativa do ar, conforme características do cultivo e região, tem sido modificada por telas antigranizo (Mupambi *et al.*, 2018). Tal variável mostrou-se reduzida em 1-3% sob tela em relação àquela a céu aberto, segundo Hunsche *et al.* (2010). Solomakhin & Blanke (2007) observaram, na Alemanha, aumentos próximos a 6%, tanto em dia ensolarado quanto em dia nublado, o que não interferiu na qualidade dos frutos. Incrementos na umidade relativa do ar podem contribuir para maior duração de molhamento foliar, favorecendo o desenvolvimento de patógenos e a incidência de doenças, como a sarna da macieira e a mancha foliar de *glomerella* (Bogo *et al.*, 2012a; 2012b).

Reduções de até 9% na velocidade do vento sob tela antigranizo foram verificadas no norte de Israel (Tanny *et al.*, 2009). Bosco *et al.* (2013) relataram diminuição ainda maior, próxima a 39%, em pomar de macieiras ‘Royal Gala’ com tela preta no Sul do Brasil. Reduções na velocidade do vento podem reduzir os riscos por danos mecânicos (Iglesias & Alegre, 2006) e aumentar a eficiência da aplicação de produtos fitossanitários (Amarante *et al.*, 2012). Em contrapartida, podem prolongar o período de molhamento foliar, favorecendo o desenvolvimento de patógenos (Leite *et al.*, 2002).

A disponibilidade de radiação solar que incide sobre o dossel é menor sob tela antigranizo em relação ao ambiente externo, devido à reflexão e à absorção pela cobertura (Treder *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018). Nesse sentido, Bosco (2011) descreveu reduções na radiação fotossinteticamente ativa incidente, interceptada, absorvida, transmitida e refletida. Telas antigranizo alteram, conforme abertura de malha e respectiva coloração, a quantidade e a qualidade de luz transmitida (Mupambi *et al.*, 2018). A incorporação de elementos cromáticos ao material caracteriza as telas fotosseletivas, de coloração amarela, vermelha, azul e verde, dentre outras. Conforme Shahak *et al.* (2016), tais telas alteram o espectro da radiação pela adição de elementos dispersivos, absorventes e refletivos da luz. A tradicional tela branca é a mais preconizada na pomicultura do Sul do Brasil devido aos menores níveis de sombreamento em relação à preta, embora esta predomine em pomares antigos, utilizada pela maior durabilidade.

O uso de tela branca e preta sobre macieiras, no Sul do Brasil, promoveu redução de 21,2% e 24,8%, respectivamente, na radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acumulada ao longo do dia, em relação à área descoberta (Amarante *et al.*, 2007; 2009). Existem trabalhos, entretanto, que exibiram percentuais maiores para tela preta (Treder *et al.*, 2016; Bosco *et al.*, 2017). Para Middleton & McWaters (2002), reduções na RFA estão relacionadas ao tamanho da malha, tipo e coloração da tela antigranizo. Diferenças podem ocorrer devido ao

ângulo da radiação incidente, variante ao longo do dia, junto à cobertura (Amarante *et al.*, 2012). A idade da tela também influencia o sombreamento, uma vez que a poeira pode reduzir a transmissão de RFA em 2% ao ano (Blanke, 2009).

Reduções na RFA influenciam o desenvolvimento e a qualidade dos frutos, bem como o crescimento das plantas (Treder *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018). A intensidade desses efeitos relaciona-se a aspectos como grau de sombreamento, cultivar/porta-enxerto, densidade de plantio, manejo das plantas e região de produção (Leite *et al.*, 2002; Middleton & McWaters, 2002; Amarante *et al.*, 2007). Um dos atributos determinantes para a comercialização de maçãs é a coloração vermelha da epiderme, a qual é influenciada pela incidência de radiação ao dossel (Bosco *et al.*, 2014).

Amarante *et al.* (2009) observaram redução da porcentagem de vermelho da epiderme de maçãs ‘Royal Gala’, no Sul do Brasil. Sob as mesmas condições, aumentos no índice iodo-amido e reduções no teor de sólidos solúveis (SS) e na firmeza de polpa (FP) foram reportados por Amarante *et al.* (2012). A utilização de tela branca, no mesmo estudo, não proporcionou diferenças. Bosco *et al.* (2014) não encontraram diferenças no teor de SS de maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ sob tela preta, em relação àquelas a céu aberto. Entretanto, a FP foi inferior em um dos ciclos de avaliação.

O crescimento vegetativo e a morfologia de folhas são influenciados por reduções pela tela antigranizo na radiação solar total atingindo o dossel, embora as respostas não sejam sempre consistentes (Mupambi *et al.*, 2018). Tipicamente, intensificações no crescimento vegetativo estão relacionadas ao aumento nas porcentagens de sombreamento e a telas de colorações escuras. O teor de clorofila foliar de macieiras ‘Fuji’ aumentou em até 46% sob tela verde-preta (Solomakhin & Blanke, 2008). Efeito similar foi constatado por Amarante *et al.* (2007), para a cultivar Royal Gala sob telas branca e preta. Ainda, as áreas foliares média e específica nesse genótipo, sob tela preta, foram maiores que aquelas no cultivo sem cobertura (Amarante *et al.*, 2009).

Para Hunsche *et al.* (2010), macieiras ‘Fuji’ e ‘Pinova’ sob telas antigranizo branca e vermelho-preta, quando comparadas àquelas a céu aberto, apresentaram maior molhabilidade foliar em algumas datas de avaliação. Durante período de três anos, o aumento da área da secção transversal de tronco (ASTT) de ‘Golden Delicious’ sob tela amarela foi maior que aquele na vermelha e no céu aberto (Shahak *et al.*, 2016). Na Alemanha, Solomakhin & Blanke (2008) observaram que a ASTT, em termos de incremento anual, não foi influenciada por telas branca, vermelho-branca, vermelho-preta e verde na cultivar Pinova, e todas ainda a reduziram em ‘Fuji’. Outros fatores podem interferir na ASTT, influenciando as mudanças sob telas (Mupambi *et al.*, 2018).

Aumentos em número, comprimento médio e total de ramos de um ano de idade por planta foram relatados por Solomakhin & Blanke (2008) em macieiras ‘Pinova’ sob diferentes cores de telas antigranizo. Para a ‘Fuji’, os autores verificaram menores variações entre as cores de telas, indicando que a influência da tela pode depender do genótipo. No Sul do Brasil, embora não tenha apresentado diferenças significativas, o crescimento dos ramos mostrou tendência de intensificação sob tela preta, sendo mais acentuado em macieiras ‘Gala’ quando comparadas a ‘Fuji’ (Leite *et al.*, 2002).

A tela antigranizo preta aumentou, em quatro ciclos, o crescimento anual de ramos de macieiras ‘Mondial Gala’, na Espanha, quando comparado ao crescimento sob tela cristal e sem tela alguma (Iglesias & Alegre, 2006). Ao estudarem alterações fisiológicas promovidas por telas fotosseletivas, Bastias *et al.* (2012) encontraram também o aumento no comprimento médio dos ramos de ‘Fuji’. A explicação para tal resposta pode estar na síntese de hormônios de crescimento e na alocação de recursos para a extensão das estruturas, de forma a proporcionar o escape das condições de maior sombreamento em busca de mais favoráveis (Wit *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018).

As principais implicações do uso de telas antigranizo no Sul do Brasil, para Hawerth *et al.* (2017; 2019), estão relacionadas ao aumento do crescimento e desenvolvimento vegetativo, possíveis problemas no manejo da carga e menor coloração vermelha dos frutos. Assim sendo, é importante que algumas práticas de manejo sejam ajustadas, otimizadas para regularizar e incrementar o potencial produtivo das plantas e a viabilidade econômica da atividade (Hawerth *et al.*, 2017; 2019).

2.3.2 Manejo diferenciado da indução à brotação

2.3.2.1 Aplicação sequencial de indutores de brotação

Macieiras dos grupos ‘Gala’ e ‘Fuji’, de médio-alta exigência em frio hibernal, correspondem a mais de 90% da produção brasileira de maçãs (IBGE, 2019). Tais genótipos são cultivados na região Sul, em seus locais de altitude - 900 a 1.400 m, mas muitos frequentemente dispendo do frio requerido apenas de forma parcial. Logo, significativa parte dos cultivos comerciais - larga escala - são viabilizados por indutores de brotação.

O principal manejo de indutores de brotação no Sul do Brasil é caracterizado pelo uso de uma única aplicação (Petri *et al.*, 2006). Entretanto, a utilização padrão, numa única aplicação e concentrações atualmente preconizadas, pode mostrar-se insatisfatória em alguns anos, sobretudo quando as plantas são submetidas a quaisquer condições que aumentem seu crescimento e desenvolvimento vegetativo. Isso é ainda mais importante ao considerar que a porção superior da copa, em algumas situações, tem apresentado aumentada proporção de

estruturas verticalizadas, de modo a estabelecer um determinado gradiente de vigor (FIGURA 4). Dessa maneira, gradientes de brotação e floração, bem como a redução da eficiência de práticas culturais subsequentes são potenciais consequências (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018).



FIGURA 4. Gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa de macieiras 'Fuji Lee' conduzidas em líder central, onde se observa maior proporção de ramos verticalizados na porção superior em relação às demais. Vacaria, RS, Brasil, 2015. Foto: Fernando José Hawerroth.

A aplicação sequencial de indutores de brotação, isto é, realização de uma segunda pulverização, pode ser qualificada como alternativa dentro do manejo da indução da brotação de macieiras cujo comprimento de ramos é intensificado (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018). Tal prática vem a ser ferramenta, por exemplo, para o cultivo em regiões tropicais e subtropicais, uma vez apresentar potencial para aumentar e uniformizar a brotação de gemas que permaneceriam dormentes ou seriam abortadas devido à utilização de uma aplicação única.

Fenili *et al.* (2017) obtiveram incrementos nos índices de brotação de macieiras 'Maxi Gala', em ano de insuficiente acúmulo de frio hibernal, pelo uso de duas aplicações de óleo mineral espaçadas em 10 dias, em relação ao tratamento convencional. O mesmo foi determinado em macieiras 'Baigent' por Goularte *et al.* (2018), após realizarem duas aplicações de cianamida hidrogenada associada a óleo mineral, em um intervalo de 7 dias. Hawerroth *et al.* (2018) salientaram, ainda, a possibilidade da aplicação sequencial aumentar a antecipação de brotação/florescimento - visando a antecipação da colheita, bem como a eficiência do manejo de fitorreguladores no raleio químico, por exemplo.

A aplicação sequencial de indutores de brotação pode ser direcionada a toda parte aérea das plantas ou apenas à porção superior da copa, quando presente gradiente diferenciado de vigor (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018). É possível observar macieiras vigorosas sem e com o estabelecimento de gradiente nas FIGURAS 5 e 6, respectivamente. Tanto na situação 1 da FIGURA 5, quanto nos esquemas 1 e 2 da situação 2 da FIGURA 6, a primeira aplicação é realizada de maneira tradicional, direcionada à totalidade da parte aérea. A segunda aplicação pode ser direcionada de maneira similar a primeira objetivando potencializar a prática - situação 1 e esquema 1 da situação 2, ou, ainda, apenas à porção superior da copa para proporcionar redução de custos dispendidos - esquema 2 da situação 2 (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018).

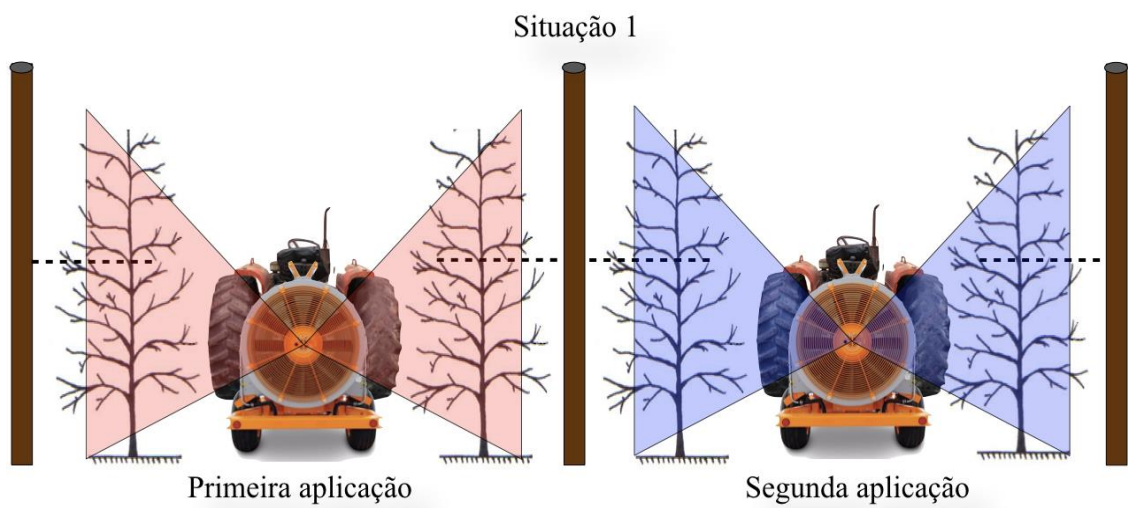


FIGURA 5. Aplicação sequencial de indutores de brotação sobre macieiras vigorosas caracterizadas pela ausência de gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa. Aplicações 1 e 2 direcionadas à totalidade da parte aérea. Adaptado de Hawerroth *et al.* (2018).

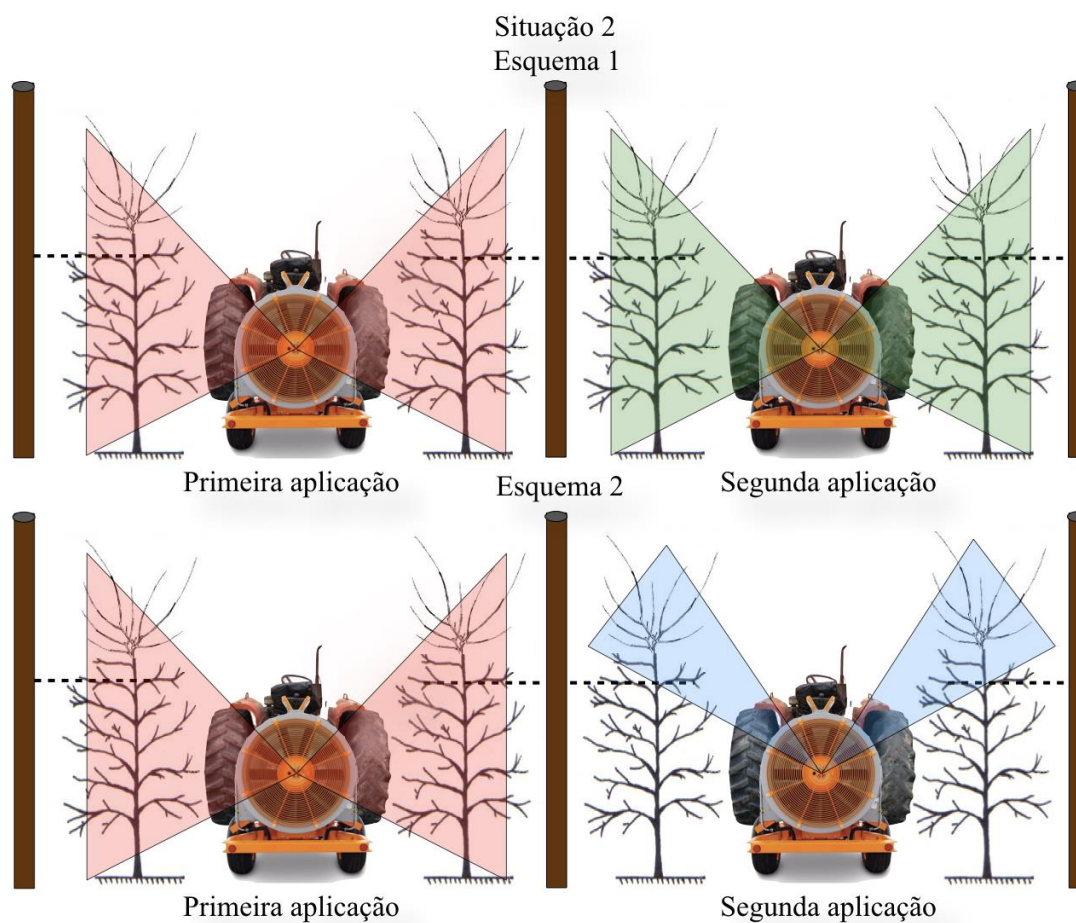


FIGURA 6. Aplicação sequencial de indutores de brotação sobre macieiras vigorosas que apresentam gradiente de vigor - comprimento de ramos - ao longo da copa. Aplicações 1 e 2 direcionadas à totalidade da parte aérea (esquema 1) ou apenas à porção superior da copa (esquema 2). Adaptado de Hawerth *et al.* (2018).

Para Hawerth (2017) e Hawerth *et al.* (2018), diversas combinações de produtos, concentrações e intervalos entre aplicações podem ser adotados e são critérios a serem definidos no esquema de aplicação sequencial de indutores de brotação. As aplicações podem consistir nos principais produtos recomendados à cultura da macieira no Sul do Brasil, como Dormex[®], Erger[®], Sincron[®], óleos minerais e nitrato de cálcio. Resultados preliminares indicam que o uso de compostos com diferentes modos de ação, e.g., Dormex[®] x Erger[®], é passível de promover ganhos satisfatórios na indução à brotação, sobretudo pela presença de Dormex[®] ou óleo mineral na primeira aplicação e Erger[®], Sincron[®] ou nitrato de cálcio na segunda (Hawerth, 2017; Hawerth *et al.*, 2018).

O intervalo decorrente entre a primeira e a segunda aplicação em um esquema de aplicação sequencial de indutores de brotação pode ser variável, de 1 a 20 dias. Dentre os fatores que devem determiná-lo, a temperatura do ar é destacada, uma vez que altas temperaturas tendem a acelerar a fenologia das plantas, conforme Bergamaschi (2017). Logo, tal período deve ser ampliado e reduzido a partir da ocorrência de temperaturas mais

baixas e mais altas, respectivamente (Hawerth *et al.*, 2018).

Ao considerar a importância de temperaturas do ar mais elevadas após a aplicação de indutores de brotação (Hawerth & Natchtigall, 2016), a aplicação sequencial apresenta-se pela vantagem de ampliar a ‘janela’ de aplicação. O aumento da ‘janela’ pode garantir a eficiência de brotação mesmo sob situações meteorológicas adversas. Por exemplo, quando após a primeira aplicação as temperaturas permanecerem baixas, as condições após a segunda podem ser inversas, contribuindo para o acúmulo necessário da exigida somatémica, logo, à brotação de gemas (Petri, 1997; Hawerth *et al.*, 2010c).

O uso da aplicação sequencial de indutores de brotação sobre os principais genótipos de macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’, no Sul do Brasil, deve estar ligado a pesquisas teórico-práticas que relacionem as aplicações a serem definidas no esquema ao manejo empregado nos pomares e às condições climáticas nas respectivas regiões de cultivo.

2.4 Referências bibliográficas

AGUSTÍ, M. Latencia, brotación y floración. *In*: AGUSTÍ, M. (Ed.). **Fruticultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 2010. cap. 6, p. 107-125.

ALLAN, P. Winter chilling in areas with mild winters: its measurement and supplementation. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 662, p. 47-52, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.662.3>. Acesso em: 14 dez. 2018.

AMARANTE, C. V. T. *et al.* Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras ‘Royal Gala’ cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 925-931, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2007000700003>. Acesso em: 26 jan. 2019.

AMARANTE, C. V. T. *et al.* Disponibilidade de luz em macieiras ‘Fuji’ cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 664-670, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452009000300007>. Acesso em: 26 jan. 2019.

AMARANTE, C. V. T.; MIQUELOTO, A.; STEFFENS, C. A. Cultivo de macieira em ambiente protegido. *In*: CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. (Ed.). **Fruticultura em ambiente protegido**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 3, p. 75-104.

ANDEF - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Campinas: ANDEF, 2004. 52 p.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. *In*: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa, 2008. p. 173-212.

ARAÚJO, M. M.; FORTES, G. R. L.; SANTOS FILHO, B. G. Thidiazuron: uma alternativa para superar a dormência de gemas de macieira (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 13, n. 3, p. 249-253, 1991.

AYUB, R. A.; BLUM, J.; MALGARIM, M. B. Época e princípios ativos para a quebra de dormência de caqui cv. Fuyu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 644-649, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s010029452009000300004>. Acesso em: 14 jan. 2019.

BASTÍAS, R. M.; MANFRINI, L.; GRAPPADELLI, L. C. Exploring the potential use of photoselective nets for fruit growth regulation in apple. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 72, n. 2, p. 224-231, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392012000200010>. Acesso em: 27 jan. 2019.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. *In*: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELATTO, L. P. C. (Ed.). **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa, 2007. cap. 16, p. 291-310.

BERGAMASCHI, H. Temperatura do ar. *In*: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. (Org.). **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. cap. 6, p. 137-185.

- BLACK, M. W. Some physiological effects of oil sprays upon deciduous fruit trees. **Journal of Pomology and Horticultural Science**, London, v. 14, n. 2, p. 175-202, 1937. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/03683621.1937.11513469>. Acesso em: 4 jan. 2019.
- BLANKE, M. The structure of coloured hail nets affects light transmission, light spectrum, phytochrome and apple fruit colouration. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 817, p. 177-184, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2009.817.17>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- BLEICHER, J. História da macieira. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 1, p. 29-36.
- BOGO, A. *et al.* The effect of hail protection nets on Glomerella leaf spot in ‘Royal Gala’ apple. **Crop Protection**, Guildford, v. 31, n. 1, p. 40-44, 2012a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.024>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- BOGO, A. *et al.* Effect of hail protection nets on apple scab in ‘Royal Gala’ and ‘Fuji’ apple cultivars. **Crop Protection**, Guildford, v. 38, p. 49-52, 2012b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.020>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- BONHOMME, M. *et al.* Influences of cold deprivation during dormancy on carbohydrate contents of vegetative and floral primordia and nearby structures of peach buds (*Prunus persica* L. Batch). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 223-240, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.015>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- BOSCO, L. C. **Alterações microclimáticas causadas por cobertura antigranizo e efeitos sobre o desenvolvimento e produção de macieiras**. 2011. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BOSCO, L. C. *et al.* **Tela antigranizo sobre pomares de macieira em Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2013. 8 p. (Comunicado Técnico, 144).
- BOSCO, L. C. *et al.* Apple production and quality when cultivated under anti-hail cover in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, Amsterdam, v. 59, n. 7, p. 773-782, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0893-6>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- BOSCO, L. C. *et al.* Microclimate alterations caused by agricultural hail net coverage and effects on apple tree yield in subtropical climate of Southern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 1, p. 181-192, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016459>. Acesso em: 11 nov. 2018.
- BOTZEN, W. J. W.; BOUWER, L. M.; VAN DEN BERG, J. C. J. M. Climate change and hailstorm damage: empirical evidence and implications for agriculture and insurance. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 341-362, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2009.10.004>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- BULGARI, R.; FRANZONI, G.; FERRANTE, A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 6, 306, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9060306>. Acesso em: 17 jan. 2019.

- BULGARI, R. *et al.* Biostimulants and crop responses: a review. **Biological Agriculture & Horticulture**, Abingdon, v. 31, n. 1, p. 1-17, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- BRUNETTO, G. *et al.* Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. cap. 9, p. 141-158.
- CAMPOY, J. A.; RUIZ, D.; EGEEA, J. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 130, n. 2, p. 357-372, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>. Acesso em: 19 dez. 2018.
- CHAMPAGNAT, P. Quelques réflexions sur la dormance des bourgeons des végétaux ligneux. **Physiologie Végétale**, Paris, v. 20, n. 3, p. 607-618, 1983.
- CHAVARRIA, G. *et al.* Mild temperatures on bud breaking dormancy in peaches. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2016-2021, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103 84782009000700010>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- CONSIDINE, M. J.; CONSIDINE, J. A. On the language and physiology of dormancy and quiescence in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 11, p. 3189-3203, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erw138>. Acesso em: 5 nov. 2018.
- COOK, N.; JACOBS, G. Progression of apple (*Malus x domestica* Borkh.) bud dormancy in two mild winter climates. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v. 75, n. 2, p. 233-236, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2000.11511229>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- COOK, N. C. *et al.* Diverse patterns in dormancy progression of apple buds under variable winter conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 226, p. 307-315, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.028>. Acesso em: 9 dez. 2018.
- COOKE, J. E. K.; ERIKSSON, M. E.; JUNTILA, O. The dynamic nature of bud dormancy in trees: environmental control and molecular mechanisms. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 35, n. 10, p. 1707-1728, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02552.x>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- COSER, G. M. A. G. **Uso de indutores de brotação nas cultivares de videira Niagara Rosada e Cabernet Sauvignon**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.
- 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, VA, v. 110, n. 4, p. 579-581, 1985.
- DARDE, D. C.; ALMEIDA, G. K.; MARODIN, G. A. B. Budburst and flowering intensity by the spraying of dormancy breaking products in 'Eva' apple trees. **Semina: Ciências**

- Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 1049-1062, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1049>. Acesso em: 16 jan. 2019.
- DÍAZ, D. H.; ALVAREZ, A.; SANDOVAL, J. Cultural and chemical practices to induce uniform budbreak of peach and apple under warm climates in Mexico. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 199, p. 129-136, 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1987.199.31>. Acesso em: 4 jan. 2019.
- DONADIO, L. C. *et al.* Dwarfing-canopy and rootstock cultivars for fruit trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, [art.] e-997, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019997>. Acesso em: 16 dez. 2018.
- DOOREMBOS, J. Review of literature on dormancy in buds of woody plants. **Mededeling van de Landblouwhogeschool te Hageningen**, Wageningen, v. 53, n. 1, p. 1-24, 1953.
- EBERT, A. *et al.* First experiences with chill unit models in southern Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 184, p. 89-96, 1986. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1986.184.8>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- EREZ, A. The effect of temperature on the activity of oil + dinitro-o-cresol sprays to break the rest of apple buds. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 14, n. 2, p. 141-142, 1979.
- 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, 2000. cap. 2, p. 17-48. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2. Acesso em: 10 dez. 2018.
- EREZ, A.; LAVEE, S. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 96, n. 6, p. 711-714, 1971.
- EREZ, A.; ZUR, A. **Recent advances in breaking the dormancy of deciduous fruit trees**. In: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS, 19., 1974, Varsóvia. **Proceedings** [...]. Varsóvia: [s.n.], 1974. p. 69-78
- EREZ, A.; COUVILLON, G. A.; KAYS, S. J. The effect of oxygen concentration on the release of peach leaf buds from rest. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 15, n. 1, p. 39-41, 1980.
- EREZ, A.; FAUST, M.; LINE, M. J. Changes in water status in peach buds on induction, development and release from dormancy. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 73, n. 2/3, p. 111-123, 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0304-4238\(97\)00155-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-4238(97)00155-6). Acesso em: 11 dez. 2018.
- EREZ, A.; YABLOWITZ, Z.; KORCINSKI, R. Temperature and chemical effects on competing sinks in peach bud break. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 514, p. 51-58, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2000.514.5>. Acesso em: 9 jan. 2019.
- EREZ, A. *et al.* Dormancy breaking chemicals; efficiency with reduced phytotoxicity. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 772, p. 105-112, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2008.772.12>. Acesso em: 12 jan. 2019.

FALAVIGNA, V. S. *et al.* I want to (bud) break free: the potential role of DAM and SVP-like genes in regulating dormancy cycle in temperate fruit trees. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 1-17, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.01990>. Acesso em: 5 nov. 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **[Base de dados FAOSTAT]**. Rome, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 5 jan. 2019.

FAUST, M. Physiological considerations for growing temperate-zone fruit crops in warm climates. In: EREZ, A. (Ed.). **Temperate fruit crops in warm climates**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. cap. 7, p. 137-156. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_7. Acesso em: 8 nov. 2018.

FAUST, M. *et al.* Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 395, p. 47-56, 1995. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1995.395.4>. Acesso em: 15 dez. 2018.

FAUST, M. *et al.* Bud dormancy in perennial fruit trees: physiology basis for dormancy induction, maintenance, and release. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 32, n. 4, p. 623-629, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.32.4.623>. Acesso em: 23 nov. 2018.

FENILI, C. L. *et al.* Indução da brotação de macieira com dupla aplicação de óleo mineral. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa**, Bagé, v. 14, p. 1858-1870, 2017.

FIORAVANÇO, J. C.; CZERMAINSKI, A. B. C.; OLIVEIRA, P. R. D. **Avaliação da cultivar de macieira Baigent (Brookfield®) em Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2013. 7 p. (Comunicado Técnico, 140).

FITTER, A. H.; HAY, R. K. **Environmental physiology of plants**. Londres: Academic Press, 2002. 367 p.

GUAK, S.; NEILSEN, D. Chill unit models for predicting dormancy completion of floral buds in apple and sweet cherry. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, New York, v. 54, n. 1, p. 29-36, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13580-013-0140-9>. Acesso em: 14 dez. 2018.

GHRAB, M.; MIMOUN, M. B. Effective hydrogen cyanamide (Dormex®) application for bud break, flowering and nut yield of pistachio trees CV. mateur in warm growing areas. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 50, n. 3, p. 398-460, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0014479713000550>. Acesso em: 12 jan. 2019.

GEORGE, A. P.; EREZ, A. Stone fruit species under warm subtropical and tropical climates. In: EREZ, A. (Ed.). **Temperate fruit crops in warm climates**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. cap. 9, p. 231-265. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_9. Acesso em: 19 dez. 2018.

GEORGE, A. P. *et al.* Effects of new restbreaking chemicals on flowering, shoot production and yield of subtropical tree crops. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 575, p. 835-840, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2002.575.99>. Acesso em: 12 jan. 2019.

GIACCONE, M.; FORLANI, M.; BASILE, B. Tree vigor, fruit yield and quality of nectarine trees grown under red photosensitive anti-hail nets in southern Italy. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 962, p. 387-394, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2012.962.53>. Acesso em: 21 jan. 2019.

GIRONA, J. *et al.* Effect of hail nets on the microclimate, irrigation requirements, tree growth, and fruit yield of peach orchards in Catalonia (Spain). **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v. 87, n. 6, p. 545-550, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2012.11512909>. Acesso em: 21 jan. 2019.

GOULARTE, N. A. A. *et al.* Aplicação sequencial de indutores de brotação em macieiras Baigent. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 13., 2018, São Joaquim. **Anais [...]**. Florianópolis: Epagri, 2018. p. 210.

HAUAGGE, R. Potencialidade para a pomicultura no Estado do Paraná. In: ENCONTRO PARANAENSE DE FRUTICULTURA, 1., 2007, Guarapuava. **Anais [...]**. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2007. p. 50-60.

HAWERROTH, F. J. Aplicações sequenciais de indutores de brotação na cultura da macieira. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã**, Vacaria, v. 280, p. 8-9, set. 2017.

HAWERROTH, F. J. Manejo da indução da brotação de gemas na cultura da macieira. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã**, Vacaria, v. 291, p. 6-7, ago. 2018.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. **Controle do desenvolvimento vegetativo em macieira e pereira**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 35 p. (Documento, 147).

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. Crescimento vegetativo de macieiras 'Fuji Suprema' sob influência da época de aplicação de proexadione cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 373-380, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-375/13>. Acesso em: 9 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J.; NACHTIGALL, G. R. **Condições meteorológicas de outono e inverno e suas influências na safra de maçã 2016/17 na região de Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2016. 8 p. (Comunicado Técnico, 190).

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Erger and Calcium nitrate Concentration for Budbreak Induction in Apple Trees. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 872, p. 239-244, 2010b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2010.872.32>. Acesso em: 8 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Fenologia, brotação de gemas e produção de frutos de macieira em resposta à aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 961-971, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052009000400016>. Acesso em: 12 jan. 2019.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Brotação de gemas em macieiras 'Imperial Gala' e 'Fuji Suprema' pelo uso de Erger[®] e nitrato de cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**,

Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 343-350, 2010a. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/s010029452010005000074>. Acesso em: 8 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Dormência em frutíferas de clima temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010c. 56 p. (Documento, 310).

HAWERROTH, F. J. *et al.* Redução da poda hiberna e aumento da produção de pereiras ‘Hosui’ pelo uso de prohexadiona cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 7, p. 939-947, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2012000700010>. Acesso em: 9 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Manejo de pomares sob telas antigranizo. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 15., 2017, Fraiburgo. **Anais [...]**. Fraiburgo: Epagri, 2017. p. 53-57.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Manejo de indutores de brotação em macieira: uso de aplicações sequenciais. **Jornal da Fruta**, Lages, p. 6, jun. 2018. Caderno Especial 13º Senafrut.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Manejo de pomares de macieira sob tela antigranizo. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã (AGAPOMI)**, Vacaria, v. 299, p. 6-7, abr. 2019.

HERNÁNDEZ, G.; CRAIG, R. L. Effects of alternatives to hydrogen cyanamide on commercial kiwifruit production. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 913, p. 357-363, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2011.913.47>. Acesso em: 14 jan. 2019.

HILLMANN, L.; KAUFMANN, H.; BLANKE, M. Bioindicators for the dormancy status of fruit trees. **Erwerbs-Obstbau**, Berlin, v. 58, n. 3, p. 141-157, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10341-016-0284-8>. Acesso em: 11 dez. 2018.

HORVATH, D. Bud dormancy and growth. *In*: PUA, E. C.; DAVEY, M. R. (Ed.). **Plant developmental biology: biotechnological perspectives**. Berlin: Springer, 2010. cap. 4, p. 53-70. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02301-9_4. Acesso em: 25 nov. 2018.

HUNSCHE, M.; BLANKE, M. M.; NOGA, G. Does the microclimate under hail nets influence micromorphological characteristics of apple leaves and cuticles? **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 167, n. 12, p. 974-980, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2010.02.007>. Acesso em: 27 jan. 2019.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Base de Dados. [2019]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 6 jan. 2019.

IGLESIAS, I.; ALEGRE, S. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of ‘Mondial Gala’ apples. **Journal of Applied Horticulture**, Lucknow, v. 8, n. 2, p. 91-100, 2006.

INAMDAR, S. Z. *et al.* Hydrogen cyanamide induced cutaneous reactions: occupational pesticide poisoning and need for surveillance. **Indian Journal of Pharmacy Practice**,

Bangalore, v. 8, n. 2, p. 84-86, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5530/ijopp.8.2.7>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ITALIA. Ministero della Salute. Sicurezza degli Alimenti e della Nutrizione. Decreto 18 marzo 2008. Revoca del prodotto fitosanitario denominato Dormex, registrato al n. 10247. **Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana**: Serie Generale, Roma, n. 84, 9 apr. 2008. Disponível em: <http://www.trovanorme.salute.gov.it/norme/dettaglioAtto?id=25545>. Acesso em: 15 jan. 2019.

IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. *In*: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 3, p. 59-102.

IUCHI, V. L. *et al.* Quebra da dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh) em São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 168-174, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000100037>. Acesso em: 12 jan. 2019.

IWASAKI, K. Effects of bud scale removal, calcium cyanamide, ga₃, and Ethephon on bud break of 'Muscat of Alexandria' grape (*Vitis vinifera* L.). **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v. 48, n. 4, p. 395-398, 1980. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2503/jjshs.48.395>. Acesso em: 4 jan. 2019.

JACKSON, J. E. Mechanisms of rootstocks and interstock effects on scion vigour. *In*: JACKSON, J. E. (Ed.). **Biology of apples and pears**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. cap. 5, p. 141-156.

KAUFMANN, H.; BLANKE, M. Changes in carbohydrate levels and relative water content (RWC) to distinguish dormancy phases in sweet cherry. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 218, p. 1-5, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2017.07.004>. Acesso em: 12 dez. 2018.

KIPRIJANOVSKI, M.; GJAMOVSKI, V.; ARSOV, T. The effects of anti-hail net in protection of pear orchard after hailstorm occurrence. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1139, p. 529-534, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2016.1139.91>. Acesso em: 21 jan. 2019.

KIST, B. B. *et al.* **Anuário Brasileiro da Maçã**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2019. 56 p.

LANG, G. A. Dormancy, a new universal terminology. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 22, n. 5, p. 817-820, 1987.

LANG, G. A. *et al.* Dormancy: toward a reduced universal terminology. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 20, n. 5, p. 809-811, 1985.

LANG, G. A. *et al.* Endo-, para-, ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 22, n. 3, p. 371-377, 1987.

LATIMER, J. G.; ROBITAILLE, H. A. Sources of variability in apple shoot selection and handling for but rest determination. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 106, p. 794-798, 1981.

- LEITE, G. B. **Evolution des Etats des Bourgeons et de leur hétérogénéité Le Long Du Rameau d'un de pêcher sous différents régimes de températures après l'installation de l'endormance**. 2004. Thèse (Docteur D'Université (Spécialité: Physiologie et Génétique Moléculaires) - École Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2004.
- LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; MONDARDO, M. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 714-716, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000300037>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; COUTO, M. Dormência das fruteiras de clima temperado. In: PIO, R. (Ed.). **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões tropicais e subtropicais**. Lavras: UFLA, 2014. cap. 2, p. 57-79.
- LLORET, A.; BADENES, M. L.; RÍOS, G. Modulation of dormancy and growth responses in reproductive buds of temperate trees. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 1-12, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.01368>. Acesso em: 7 dez. 2018.
- LUEDELING, E.; BROWN, P. H. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. **International Journal of Biometeorology**, Amsterdam, v. 55, n. 3, p. 411-421, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-010-0352-y>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- MAIA, J. D. G.; CAMARGO, U. A. **Produção de uva Isabel para processamento, no sistema GDC, em região tropical do Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2007. 13 p. (Comunicado Técnico, 79).
- MARODIN, G. A. B.; SARTORI, I. A.; GUERRA, D. S. Efeito da aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral na quebra de dormência e produção do pessegueiro 'Flamecrest'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 426-430, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000200029>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- MARODIN, G. A. B.; ALMEIDA, G. K. Poda e condução de frutíferas. In: MARODIN, G. A. B.; SOUZA, P. V. D. (Org.). **Pomar doméstico: planejamento, formação e tratamentos culturais**. Porto Alegre: Dom Quixote, 2016. cap. 10, p. 100-134.
- MARTIN, G. C. Bud dormancy in deciduous fruit trees. In: STEWARD, F. C. (Ed.). **Plant physiology: growth and development**. Ithaca: Academic Press, 1991. cap. 3, p. 183-225.
- MARTINS, J. A. *et al.* Climatology of destructive hailstorms in Brazil. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 184, p. 126-138, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.10.012>. Acesso em: 9 nov. 2018.
- MCPHERSON, H. G. *et al.* Effects of hydrogen cyanamide on budbreak and flowering in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward'). **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v. 29, n. 4, p. 277-285, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01140671.2001.9514189>. Acesso em: 8 jan. 2019.

- MELKE, A. The physiology of chilling temperature requirements for dormancy release and bud-break in temperate fruit trees grown at mild winter tropical climate. **Journal of Plant Studies**, Toronto, v. 4, n. 2, p. 110-156, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5539/jps.v4n2p110>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- METIVIER, J. R. Dormência e germinação. *In*: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1985. cap. 12, p. 343-392.
- MIDDLETON, S.; MCWATERS, A. Hail netting of apple orchards: Australian experience. **Compact Fruit Tree**, Middleburg, v. 35, n. 2, p. 51-55, 2002.
- MIZOBUTSI, G. P. *et al.* Efeito da aplicação de cianamida hidrogenada e de óleo mineral em caquizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 89-92, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452003000100026>. Acesso em: 9 jan. 2019.
- MUPAMBI, G. *et al.* The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 236, p. 60-72, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>. Acesso em: 9 nov. 2018.
- NAOR, A. *et al.* Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 128, n. 5, p. 636-641, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.128.5.0636>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- NACHTIGAL, J. C.; ROBERTO, S. R. Poda e quebra de dormência. *In*: EMBRAPA. **Sistema de produção de uva de mesa no norte do Paraná**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. (Sistema de Produção, 10). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteParana/poda.htm>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- NAVA, G. A. *et al.* Fenologia e produção de pessegueiros 'granada' com aplicação de cianamida hidrogenada e boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 297-304, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452009000200003>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- OKIE, W. R.; BLACKBURN, B. Increasing chilling reduces heat requirement for floral budbreak in peach. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 46, n. 2, p. 245-252, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.46.2.245>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- OLSEN, J. E. Mechanisms of dormancy regulation. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 727, p. 157-166, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2006.727.18>. Acesso em: 5 nov. 2018.
- PALLADINI, L. A.; PETRI, J. L. Influência da chuva artificial na eficiência do tratamento para quebra de dormência em macieira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 7, p. 715-717, 1997.
- PASA, M. S. *et al.* Performance of 'Fuji Suprema' apple trees treated with budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, [art.] e-325, 2018a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018325>. Acesso em: 8 nov. 2018.

- PASA, M. S. *et al.* Performance of ‘Maxi Gala’ apple trees as affected by budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 5, [art.] e-537, 2018b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018537>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- PASQUAL, M.; PETRI, J. L. Efeito de diferentes sais de dinitro na quebra da dormência da macieira. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 5., 1979, Pelotas. **Anais [...]**, Pelotas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1979. p. 339-350.
- PASQUAL, M.; PETRI, J. L.; FORTES, G. R. L. Nitrato de potássio, como agente de quebra de dormência da macieira (*Malus domestica*), cultivar Golden Delicious. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 45-51, 1978.
- PETRI, J. L. Dormência da macieira. *In*: EMPASC (Ed.). **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis: Empasc, 1986. cap. 7, p. 163-201.
- PETRI, J. L. Indução da brotação de gemas de macieira por cianamida hidrogenada e óleo mineral sob influência da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 1, p. 71-75, 1997.
- PETRI, J. L.; STUKER, H. Effect of mineral oil and hydrogen cyanamide concentrations on apple dormancy, cv. Gala. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 395, p. 161-167, 1995. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1995.395.17>. Acesso em: 5 jan. 2019.
- PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 662, p. 53-60, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.662.4>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução da brotação da macieira. *In*: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 8, p. 261-297.
- PETRI, J. L. *et al.* Efeito da combinacao de produtos quimicos na quebra da dormencia da cultivar de macieira Golden delicious. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 3., 1975, Rio de Janeiro. **Resumos [...]**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1975. p. 448-454.
- PETRI, J. L. *et al.* **Dormência e indução da brotação em fruteiras de clima temperado**. Florianópolis: EPAGRI, 1996. 110 p. (Boletim Técnico, 75).
- PETRI, J. L. *et al.* Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 48-56, 2011. Número especial. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452011000500007>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- PETRI, J. L. *et al.* A new product to induce apple bud break and flowering – Synchron[®]. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1130, p. 103-110, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2016.1130.15>. Acesso em: 16 jan. 2019.
- PIO, R. *et al.* Advances in the production of temperate fruits in the tropics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 41, n. 1, [art.] e39549, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39549>. Acesso em: 5 nov. 2018.

- PUTTI, G. L.; MENDEZ, M. E.; PETRI, J. L. Unidades de frio e de calor para a brotação de macieira (*Malus domestica*, Borck), “Gala” e “Fuji”. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 3, p. 194-196, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v6I3.347>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 210-212, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452003000200006>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 9, n. 4, p. 331-332, 1974.
- RINNE, P. L. H.; KAIKURANTA, P. M.; VAN DER SCHOOT, C. The shoot apical meristem restores its symplasmic organization during chilling-induced release from dormancy. **The Plant Journal**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 249-264, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-313x.2001.01022.x>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- ROMBERGER, J. A. **Meristems, growth, and development in woody plants: an analytical review of anatomical, physiological, and morphogenic aspects**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture/Forest Service, 1963. 225 p. (Technical Bulletin, 1293).
- RUFATO, L.; POSSER, A. J. Evolution of dormancy: processes of induction and overcoming in fruit trees of temperate climate. *In*: BOTELHO, R. V. (Ed.). **Plant dormancy: mechanisms, causes and effects**. Nova York: Nova Science, 2019. cap. 1, p. 1-12.
- RUFATO, L. *et al.* Intensidade e épocas de poda verde em pereira 'Abate Fetel' sobre dois porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 475-481, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452012000200021>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- SALINERO, C.; PIÑON, M. P.; SAINZ, M. J. Field response to CPPU application in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward') orchards treated with hydrogen cyanamide in northwest Spain. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 753, p. 555-560, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2007.753.73>. Acesso em: 9 jan. 2019.
- SAMISH, R. M. The use of dinitrocresol mineral oil sprays for the control of prolonged rest in apple orchards. **Journal of Pomology and Horticultural Science**, London, v. 21, n. 1, p. 164-179, 1945.
- SAMISH, R. M. Dormancy in woody-plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 5, n. 1, p. 183-204, 1954.
- SAURE, M. C. Dormancy release in deciduous fruit trees. *In*: JANICK, J. (Ed.). **Horticultural Reviews**. Hoboken: John Wiley, 1985. cap. 6, p. 239-300. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118060735.ch6>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- SETTIMI, L. *et al.* Update: Hidrogen Cyanamide-related Illnesses-Italy, 2002-2004. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, [Atlanta], v. 54, p. 405-408, 2005.

SEVER, M. B.; TOJNKO, S.; UNUK, T. Impact of various types of anti-hail nets on light exposure in orchards and quality parameters of apples-a review. **Agricultura**, Maribor, v. 12, n. 1/2, p. 25-31, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1515/agricultura-2016-0004>. Acesso em: 20 fev. 2019.

SHAHAK, Y.; KONG, Y.; RATNER, K. The wonders of yellow netting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1134, p. 327-334, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2016.1134.43>. Acesso em: 26 jan. 2019.

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

SHULMAN, Y.; NIR, G.; LAVEE, S. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 179, p. 141-148, 1986. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1986.179.11>. Acesso em: 17 jan. 2019.

SMITH, C. J. Advancing and improving bud break in vines. **Deciduous Fruit Grower**, Cape Town, v. 35, n. 5, p. 271-276, 1985.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Overcoming adverse effects of hailnets on fruit quality and microclimate in an apple orchard. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, n. 14, p. 2625-2637, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3022>. Acesso em: 25 jan. 2019.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 56, n. 3, p. 211-218, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-008-9302-7>. Acesso em: 12 nov. 2018.

TAIZ, L. *et al.* Crescimento vegetativo e organogênese. In: TAIZ, L. *et al.* (Org.). **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. cap. 19, p. 553-590.

TANNY, J. *et al.* The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 807, p. 103-108, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2009.807.11>. Acesso em: 25 jan. 2019.

TREDER, W. *et al.* Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, Lublin, v. 15, n. 3, p. 17-27, 2016.

TROMP, J.; BOERTJES, B. C. The effect of air temperature in successive periods of the growing season on sylleptic shoot formation in young apple trees. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 19, n. 2, p. 177-182, 1996. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00024583>. Acesso em: 21 jan. 2019.

VEGIS, A. Dormancy in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 15, n. 1, p. 185-224, 1964. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001153>. Acesso em: 23 nov. 2018.

- WANG, S. Y.; FAUST, M. Changes of membrane lipids in apple buds during dormancy and budbreak. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 115, n. 5, p. 803-808, 1990. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.115.5.803>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- WEBSTER, A. D. Rootstocks for temperate fruit crops: current uses, future potential and alternative strategies. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 557, p. 25-34, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2001.557.1>. Acesso em: 16 dez. 2018.
- WEBSTER, A. D. Shoot growth. *In*: TROMP, J.; WEBSTER, A. D.; WERTHEIM, S. J. (Ed.). **Fundamentals of temperate zone tree fruit production**. Leiden: Backhuys, 2005. cap. 11, p. 120-135.
- WEINBERGER, J. H. Chilling requirements of peach varieties. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, NY, v. 56, p. 122-128, 1950.
- WERLE, T. *et al.* Influência da cianamida hidrogenada na brotação e produção da videira ‘Niagara Rosada’ na região oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 20-24, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019120>. Acesso em: 12 jan. 2019.
- WIT, M.; GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Light-mediated hormonal regulation of plant growth and development. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 67, n. 1, p. 513-537, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112252>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- ZAMBOLIM, L. *et al.* Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em pequenas propriedades e regiões montanhosas. *In*: ZAMBOLIM, L. *et al.* (Ed.). **Produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas)**. Viçosa, MG: UFV/DFP, 2008. cap. 15, p. 607-649.
- ZIOSI, V. *et al.* Effect of Bluprins[®] application on bud release from dormancy in kiwifruit, cherry, and table grape. *In*: ANDERSON, J. V. (Ed.). **Advances in plant dormancy**. Cham: Springer, 2015. cap. 19, p. 301-308. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14451-1_19. Acesso em: 17 jan. 2019.

3 CAPÍTULO 1

**Sequential application of budbreak promoters in 'Baigent' apple trees under hail net
in southern Brazil: Erger[®] with mineral oil and canopy stratification**

3.1 Introduction

A major trait of the apple tree (*Malus domestica* Borkh.) is its ability to avoid frost damage in winter through dormancy, a phase of development when no visible growth occurs within the plant. Once the dormancy period has started, normal growth is not resumed until a certain amount of cold and heat is accumulated (Melke, 2015). Chilling requirements can vary widely from one cultivar to another and are generally expressed as hours less than or equal to 7.2°C and chilling units (CU).

Medium to high-chill cultivars Gala accounts for more than 58% of the Brazilian apple production (Fioravanço *et al.*, 2013), which was 1.31 million tons in 2017 (FAO, 2019). In Brazil, these genotypes are concentrated in the altitude areas of the southern region - 900 to 1.400 m, where 'Baigent' is one of the most explored (Fioravanço *et al.*, 2013). However, mild and irregular winters with high air temperatures and rainfall amounts during the growth cycle are characteristic and commonly occur in important growing locations. These meteorological factors intensify vegetative growth, making it greater than in typical temperate regions (Hawerroth & Petri, 2014). Under such conditions, poor-uneven budburst/flowering, increased apical dominance and decreased fruit production/quality can occur because of the common lack of cold to satisfy 'Baigent' chilling requirements (Petri & Leite, 2004).

Using budbreak promoters is one of the main strategies capable of minimizing the physiological problems shown by some temperate fruit crops in mild winter areas (Rufato & Posser, 2019). They are chemicals that make feasible large-scale cultivations of the cultivar Baigent in most apple-producing localities of southern Brazil (Petri *et al.*, 2006). In the country's apple production system, budbreak promoters have historically been used once a year, and the application of hydrogen cyanamide (HC) - a highly toxic substance - with mineral oil (MO) prevails.

According to Erez (2000), the main desirable features of budbreak promoters are efficacy, low cost, and minimum toxicity to plants and the environment. Thus, many low-toxicity compounds were studied as alternatives to HC, some of them often with similar efficacy. The biostimulant Erger® is highlighted when its sprayings are carried out with calcium nitrate or, more recently, with MO in southern Brazil (Hawerroth *et al.*, 2010; Darde *et al.*, 2019; Pasa *et al.*, 2018a; 2018b).

The efficacy of budbreak promoters is related to applied compounds and their respective application conditions, pre-and post-application meteorological factors, and plant characteristics, particularly vegetative growth (Petri *et al.*, 2006; Hawerroth, 2018). The longer the shoot length, the greater the chilling requirement of axillary buds and the acrotonic

tendency (Erez, 2000; Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Consequently, given the many efficacy-associated aspects of the chemicals, unsatisfactory results have been observed in some years, markedly in important cultivars covered by hail nets.

A high incidence of hailstorms in the apple-producing regions of southern Brazil has led to the increasing use of hail nets, the most effective method of protecting (Bosco *et al.*, 2017). With gains against the hail damage, protective netting modifies orchard microclimate, and changes in the light environment (e.g., intensity) are highlighted (Bosco *et al.*, 2017). These factors interfere with plant-environment interactions according to net characteristics, cultivar/rootstock combination, planting density, orchard management, and climatic factors (Leite *et al.*, 2002; Middleton & McWaters, 2002; Amarante *et al.*, 2007).

Hail nets influence the vegetative growth of apple trees, and increases in average or total shoot length are reported worldwide (Iglesias & Alegre, 2006; Solomakhin & Blanke, 2008; Bastias *et al.*, 2012). According to Mupambi *et al.* (2018), increased vigor typically corresponds to increased shading percentages and darker colors of nets. A possible explanation is that reduced photosynthetic active radiation (PAR) and other shading effects induce modifications in hormone levels and stimulate resource allocation into extending shoots (Wit *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018). Vigor-increasing conditions can be especially relevant in southern Brazil, where the upper canopy has sometimes displayed an increased proportion of verticalized structures regardless of the presence of netting.

A potential tool to enhance the effect of budbreak promoters is performing a sequential application, i.e., two applications. Many apple growers in southern Brazil are adopting it, especially in low winter chill accumulation years. Better results compared to single treatments, e.g., for budbreak variables, were already observed. Fenili *et al.* (2017) and Goularte *et al.* (2018) showed some outcomes, but there is little literature and no study with hail nets. The whole scheme must be planned according to orchard management, climatic conditions, resource availability and can involve many compounds and combinations (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018). Despite that, the crescent demand for low-toxicity products stimulates using Erger[®]. Moreover, preliminary results indicate that combining different modes of action, such as Erger[®] and MO, provides promising effects (Hawerroth, 2017; Hawerroth *et al.*, 2018).

Along the canopy, this work aimed to evaluate Erger[®] with MO as a sequential treatment for budbreak induction of ‘Baigent’ apple trees under hail net in southern Brazil.

3.2 Material and Methods

The study was conducted in a commercial orchard in Vacaria, Rio Grande do Sul

State, Brazil (lat. 28° 30' S, long. 50° 56' W, 971 m elevation), during the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Black hail net (from 25% to 35% less PAR) was fixed in a permanent system in 2010. At the time, that was the most used color because of its high lifespan. According to Köppen's classification, the region's climate is Cfb, constantly moist temperate with mild summer. Monthly averages of maximum and minimum air temperatures and rainfall were presented in Appendices (APPENDIX 1). Accumulated chilling hours ($\leq 7.2^{\circ}\text{C}$) and chilling units (Modified North Carolina Model - Ebert *et al.*, 1986) during April 1st to August 31st were 371 and 1086.4, respectively, for 2017, while 675 and 1235.6, respectively, for 2018 (Automatic Surface Weather Station A880 of INMET; its location is described in APPENDIX 1).

None, one or two applications of budbreak promoters were performed on the whole canopy of twelve-year-old 'Baigent' apple trees. Erger[®] was one of the main products used; it is a formulation that contains inorganic nitrogen and polysaccharides, in addition to proprietary components. The block had two cultivars grafted on M.9 rootstock, established together in a high-density system - overall spacing of 3.5 m between rows x 0.45 m within the row, and trained as a central leader. Thus, the pollination scheme was based on planting three rows of 'Baigent' and one row of 'Fuji Kiku 8'. Orchard management was always conducted according to recommendations in southern Brazil, and all experimental units were addressed similarly. To evaluate the intrinsic characteristics of the treatments, different plants were used in both growing seasons. Each had its respective canopy marked in the middle, delimiting two strata herein called the lower and upper portions/parts.

The levels of budbreak promoter studied were: 1. Control (no application); 2. Erger[®] 1.5% + MO 3.5%; 3. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (Application 1 - AP1) and (Application 2 - AP2); 4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (15.5% N, 19% Ca); 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2); 6. HC 0.34% (49% a.i. - Dormex[®]) + MO 3.5%; 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2). A non-ionic surfactant was added in all chemical treatments, Break-thru[®] at 0.05%. Products Assist[®] (75.6% a.i. - 2017/18) and Agefix[®] (92% a.i. - 2018/19) were used as commercial source of MO.

Both applications were made when buds were between stages A (dormant) and B (swollen), according to the phenological scale in Iuchi (2006). AP1 was executed on August 25th and AP2 on September 4th, in the 2017/18 growing season, while in 2018/19, on August 28th and September 12th, respectively. All sprayings were carried out using a motorized trailed sprayer at the volume of 1,000 L ha⁻¹, with air temperature, relative humidity, and wind speed ranging from 20-25°C, 70-80%, and 1.5-2.4 km h⁻¹, respectively; conditions recorded using a termo-higro-anemometer model THAR-300.

Variables analyzed

1. Vegetative variables: in the 2017/18 growing season, dates of budburst, start, full, and end of bloom were determined visually in the lower and upper parts of the canopy. Budburst was considered when buds were between green tip and half-inch green (C-C₃); start of bloom (F) with 5% of opened flowers, full (F₂) and end of bloom when more than 70% and the last flowers were opened, respectively - the content within parentheses refers to phenological stages described by Iuchi (2006). The period (days) between the first application, start of budburst, and blooming was then calculated, as well as flowering duration. Because of the high chilling accumulation during the winter of 2018 and greater homogenization observed among the treatments, phenology recordings were not performed in this season.

Budbreak intensity was evaluated for axillary and terminal buds and expressed as a percentage. Axillary budbreak was obtained by the ratio of burst buds to the total number in five one-year-old shoots (uniform vigor brindles) previously selected in both lower and upper portions of the canopy. A scaffold branch was also marked in both parts to estimate terminal budbreak. To compare the uniformity of the first within each treatment, the coefficient of variation [CV: (std/average axillary budbreak)*100] was calculated and named heterogeneity index of axillary budbreak (HIAB) (Hawerth *et al.*, 2009). All budbreak attributes were assessed at 25 and 66 days after the first application (DAFA) in the 2017/18 growing season, while in 2018/19, at 27 and 56 DAFA.

2. Fructification variables: all inflorescences with fruit and fruits per plant were counted in the lower and upper parts of the canopy to set their total number. From these data, mean number of fruits per inflorescence was established. All fructification attributes were assessed at 86 and 89 DAFA during the 2017/18 and 2018/19 growing seasons, respectively.

3. Fruit production variables: at commercial maturity, in both lower and upper portions of the canopy, fruits were picked, counted and weighed on March 2nd, 9th, 17th, 2018. The weight per plant (kg) and relative contribution of each pass-through were obtained. In the 2018/19 growing season, the former was achieved by the same procedure after a single pass-through on February 6th and average fresh fruit weight (g) was estimated by the ratio of weight to number.

4. Fruit quality variables: after each pass-through analysis, fruits picked from the lower and upper parts of the canopy were grouped into one box per replicate and then submitted to a visual evaluation of coloring. For that purpose, the following categorizations based on the red color on their surface were used: less than 25% (i); 25 to 50% (ii); greater than 50% to less than 75% (iii); and greater than or equal to 75% (iv). To determine calibers, 100 fruits per replicate were individually weighed and grouped into five classes: 1) less than or equal

to 80 (greater than 212.5 g); 2) 90 to 100 (171.5 to 212.5 g); 3) 110 to 120 (141.5 to 171.49 g); 4) 135 to 165 (104.5 to 141.49 g) and 5) greater than or equal to 180 (less than 104.5 g) (Adapted from BRASIL, 2002). Caliber definition was based on the number of fruits in a Mark IV cardboard box with the capacity to store 18 kg of product. The color and caliber data were expressed as percentages of the number of fruits evaluated.

A 20-fruits sample per replicate was taken to gather quality attributes. Mean length and diameter (mm) were obtained by measuring lying and standing fruits, respectively, with tape. Based on these data, the length to diameter ratio was assessed. At two opposite points in the equatorial region of each fruit, a skin section of 2 cm in diameter were removed and pulp firmness (N) was measured with a manual Effegi penetrometer, model FT 327 - 11 mm diameter probe. Then, the fruit juice was quickly collected and soluble solids content (°Brix) was determined with a digital refractometer, model PAL-1. A thin transversal part of the fruit was removed and soaked into an iodine solution to perform the starch-iodine test. According to the color pattern resulted from the reaction between fruit starch and iodine, an index ranging from 1 - the lowest - to 9 was applied to determine the ripening stage (Bender & Ebert, 1985). At last, seeds were counted and their mean number per fruit was estimated.

A randomized complete block was adopted as the experimental design, with four replicates and experimental units of two useful plants. Data were subjected to analysis of variance, but those expressed as percentages were previously transformed. While square root ($x+1$) was chosen for HIAB, $\arcsin [\text{square root } (x+1)]$ was adopted for the others. Vegetative, fructification and fruit production attributes were analyzed in response to budbreak promoter, canopy portion and their interaction. Only the effect of budbreak promoter was assessed on fruit quality. When the F-test indicated significance, the respective attribute had its means separated by Scott-Knott's test, both at the 5% level. All statistical analyses were run using the Sisvar software, version 5.6 (Ferreira, 2014).

3.3 Results and Discussion

Vegetative variables

The budbreak promoters advanced budburst and blooming but did not significantly affect flowering duration (TABLE 1). The lowest duration of 'Application 1 (A-B)-C-C₃' was, on average, nearly 19 days between the lower and upper portions of the canopy for HC + MO (L6, L7) and Erger[®] + MO (L2, L3) plants. These differed up to a maximum of 2 days from the control (no application) (L1) ones, which were only 1 day delayed compared to those treated with Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2) (L5). Using Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7), no differences

were observed in relation to the single treatments (L2, L4, L6). A similar response was registered for blooming anticipation and, in general, by Fenili *et al.* (2017) with MO as sequential application after MO, 10 days spaced, in non-netted ‘Maxi Gala’ and ‘Fuji Suprema’ apple trees.

The findings regarding the effect of sequential application of budbreak promoters on budburst and flowering timing do not corroborate with Hawerroth *et al.* (2018), who stated a possibility of using it to advance phenology. Differences in this regard may be justified by a potentially increased relative contribution of terminal buds on flowering due to elevated chilling during the winter of 2016 and the defined application schemes.

Phenological homogenization and anticipations of budburst and blooming by budbreak promoters are well stressed in non-netted medium to high-chill Galas in southern Brazil (Petri *et al.*, 2016; Fenili *et al.*, 2018). Even with the benefits of these compounds, temporal and spatial differences are common to be seen. Temporal differences occur by the presence of buds in several development stages simultaneously, while spatial ones occur by forming a budburst and flowering gradient on the same branch (Leite, 2004). Moreover, there are no reports regarding possible disparities along the canopy, and significant influences were obtained in this study.

The upper portion exhibited, on average, nearly 5 days delayed ‘Application 1 (A-B)-C-C₃’, ‘Application 1 (A-B)-F’ and 3 days longer ‘F-G’, in relation to the lower one (TABLE 1). A budburst and flowering gradient may be explained by a vigor one formed or intensified by the hail net. For example, increased shoot length tends to hamper total budbreak (Erez, 2000; Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). And it has been shown to be more significant in the upper canopy. An increased proportion of verticalized structures may be linked to inadequate winter pruning, the hail net itself, and the apple species’ natural acrotonic growth habit. Using Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7) could thus provide phenological homogenization between the canopy portions. However, no such effect was recorded in the 2017/18 growing season since they exhibited values similar to those induced by the single treatments.

TABLE 1. Phenological stages (budburst; start, full and end of bloom) dates (month-day-year) and phenological subperiods duration of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹		Phenological stages dates							
		Budburst (C-C ₃)		Start of bloom (F)		Full bloom (F ₂)		End of bloom (G)	
		(green tip to half-inch green)		5% of opened flowers		70% of opened flowers		Last flowers to open	
Application 1	Application 2	LPC	UPC	LPC	UPC	LPC	UPC	LPC	UPC
1. Control (no application)	-	09-13-17	09-19-17	09-23-17	09-29-17	09-27-17	10-03-17	10-01-17	10-10-17
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	09-12-17	09-17-17	09-21-17	09-25-17	09-23-17	09-30-17	09-27-17	10-04-17
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	09-12-17	09-16-17	09-20-17	09-25-17	09-22-17	09-30-17	09-25-17	10-06-17
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	09-13-17	09-18-17	09-21-17	09-26-17	09-24-17	09-30-17	09-28-17	10-06-17
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	09-13-17	09-17-17	09-20-17	09-26-17	09-22-17	09-30-17	10-03-17	10-06-17
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	09-12-17	09-16-17	09-20-17	09-24-17	09-22-17	09-28-17	09-25-17	10-04-17
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	09-12-17	09-16-17	09-20-17	09-24-17	09-22-17	09-28-17	09-25-17	10-05-17

Budbreak promoter ¹		Phenological subperiods duration (days)								
		Application 1 (A-B)-C-C ₃			Application 1 (A-B)-F			F-G		
		LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
Application 1	Application 2	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no application)	-	18.5	24.8	21.7 a	28.5	34.5	31.5 a	8.2	10.7	9.4 ns
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	17.3	22.0	19.7 c	26.0	30.0	28.0 b	6.5	9.5	8.0
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	17.0	21.8	19.4 c	25.0	30.2	27.6 b	5.0	10.7	7.8
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	18.3	23.0	20.7 b	26.7	31.2	28.9 b	6.5	10.5	8.5
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	18.0	22.5	20.3 b	25.5	31.2	28.3 b	6.5	10.2	8.4
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	17.3	21.5	19.4 c	25.0	29.2	27.1 b	5.0	10.2	7.6
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	17.0	21.5	19.3 c	25.0	29.2	27.1 b	5.0	11.0	8.0
Mean		17.6 B	22.4 A		26.0 B	30.8 A		7.1 B	10.4 A	

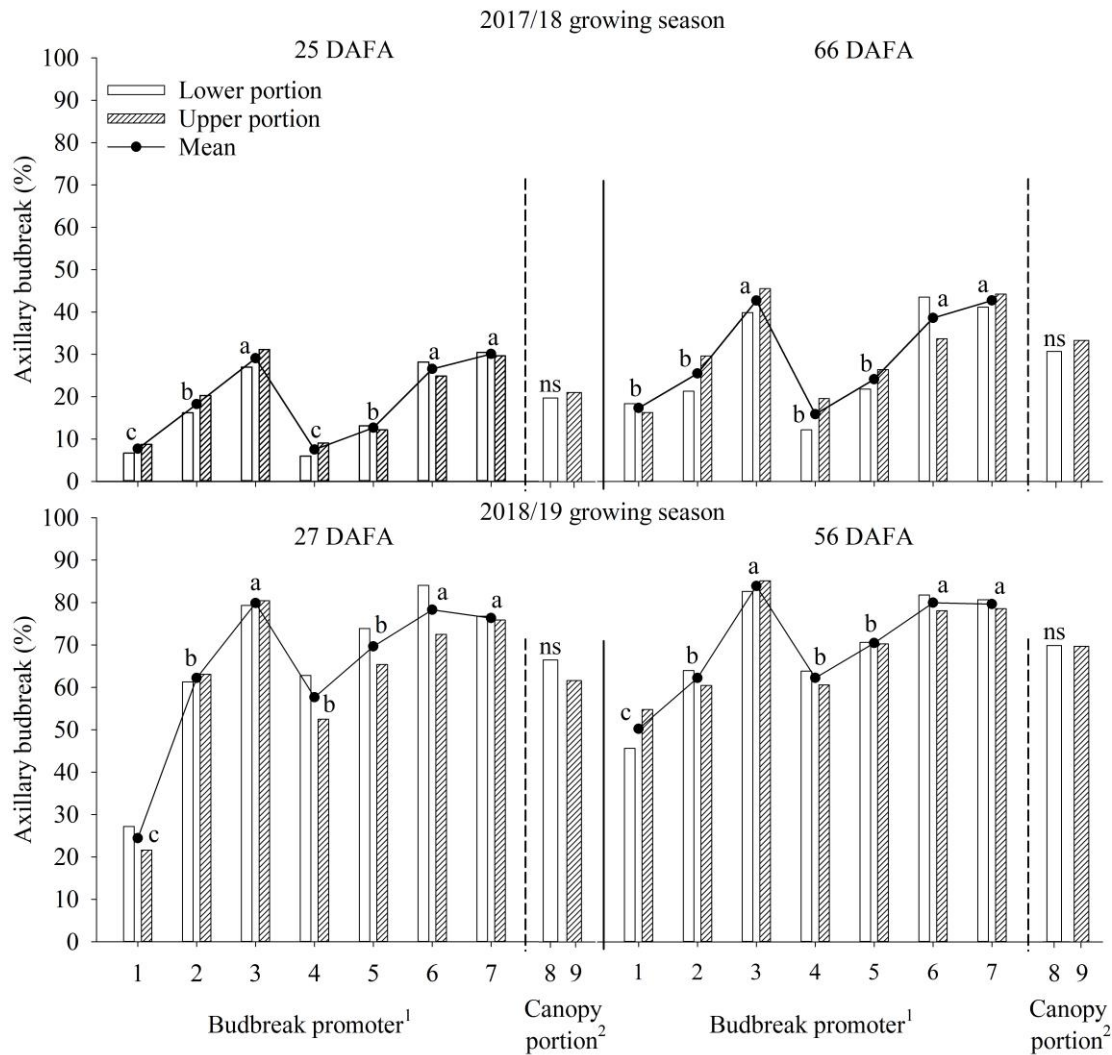
¹ Break-thru® 0.05% was added in all chemical treatments. Letters refer to phenological stages described by Iuchi (2006). LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test (p>0.05). Different letters within lines and columns represent significant differences by Scott-Knott's test (p≤0.05).

In the 2017/18 growing season, the vigor gradient indicated between the lower and upper parts of the canopy could lead to lower axillary budbreak in the second. Probably due to the evaluated one-year-old shoots vigor uniformity, there were no significant differences between them (FIGURE 1). Besides, anticipated flowering in the lower portion could also have lowered the percentages because of intensified apical dominance stemming from the increased relative contribution of terminal buds. However, no such pattern was observed, and an explanation is the predominance of flowering on spurs (Petri *et al.*, 2012), which were not the structures studied. Presenting higher than 60% on average in the 2018/19 season, both canopy parts will increase the number of reproductive structures for the coming years.

Budbreak promoter influenced axillary budbreak at 25 and 66 DAFA in the 2017/18 growing season, while at 27 and 56 DAFA in 2018/19 (FIGURE 1). Using Erger® 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7), high increases were seen only after Erger® 1.5% + MO 3.5% (L3) in relation to the respective single treatment (L2) and Erger® 3% + Calcinit® 3% (L4). With HC + MO (L6, L7), this sequential level provided the highest means between the lower and upper parts of the canopy. Despite the similarity between HC + MO levels (L6, L7), two applications 7 days spaced increased this variable in comparison to only one in Goularte *et al.* (2018). Less than 10% were obtained in Erger® 3% + Calcinit® 3% (L4) plants, similar to those of control (no application) (L1) at 25 DAFA in 2017/18. A single application of Erger® + Calcinit® induced high axillary budbreak to non-netted apple trees in Hawerroth *et al.* (2010) and Darde *et al.* (2019), though.

According to Petri *et al.* (2006) and Hawerroth (2018), the efficacy of budbreak promoters is related to applied compounds, application conditions, pre-and post-application meteorological factors, and plant characteristics. These aspects interfere with their effects, clarifying different responses among works. As a consequence of the elevated amount of chilling during dormancy, budbreak was expressively intensified in the 2018/19 growing season (FIGURE 1 and FIGURE 2). Rufato *et al.* (2010) reported similar responses. While Erger® 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2) (L3) plants exhibited axillary budbreak between 26-45% in 2017/18, this level provided at least 80% between the canopy portions in 2018/19.

The budbreak promoters maximized axillary budbreak at 27 and 56 DAFA in the 2018/19 growing season (FIGURE 1). Using Erger® 3% + Calcinit® 3% (AP1) and Erger® 1.5% + MO 3.5% (AP2) (L5) induced similar results to those of Erger® 3% + Calcinit® 3% (L4) and Erger® 1.5% + MO 3.5% (L2). An important report is that axillary budbreak rate is the variable that better expresses the efficacy of budbreak promoters (Petri, 2014), but such response may be masked by the high chilling accumulated in this season.



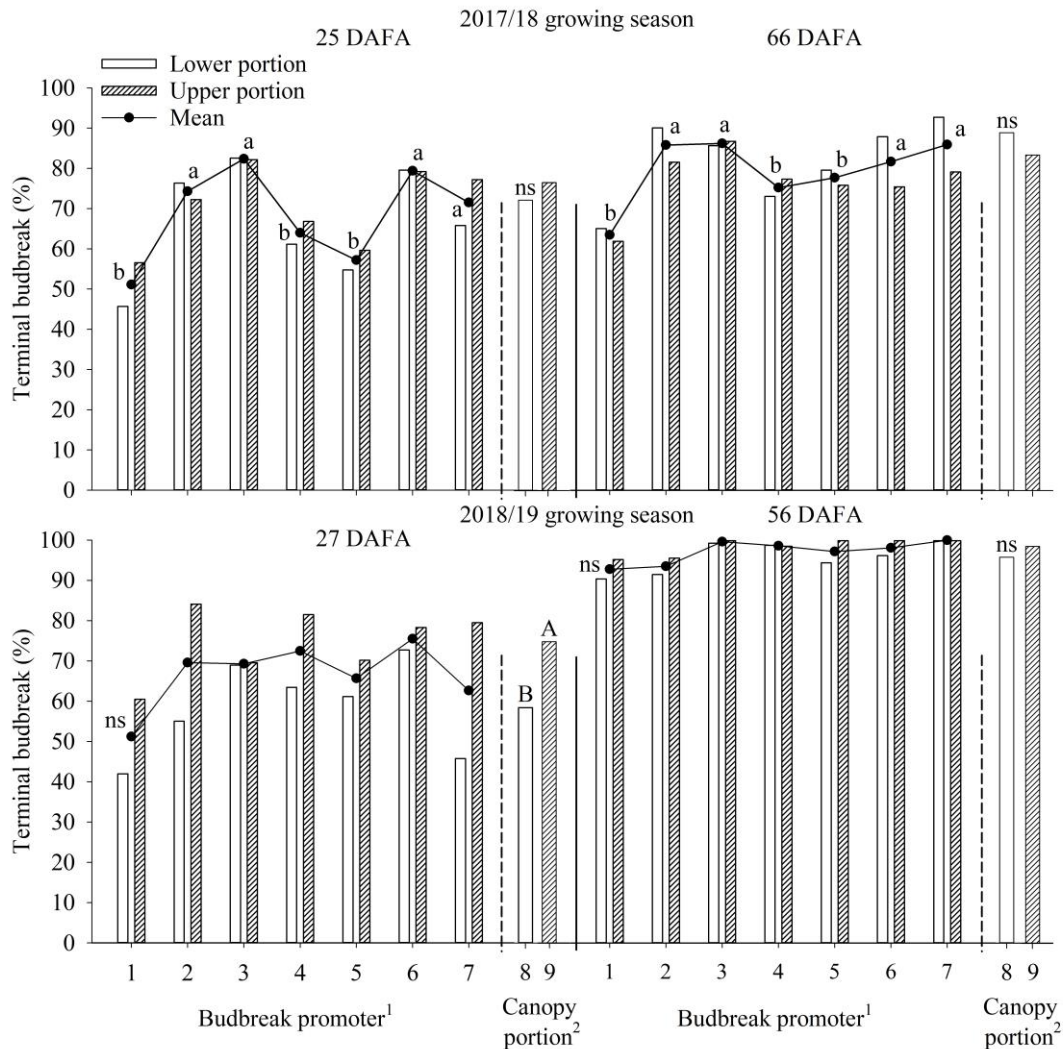
1. Control (no application) 2. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% 3. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2)
4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
6. HC 0.34% + MO 3.5% 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
8. Lower portion 9. Upper portion

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments. ² Mean values from the seven levels of budbreak promoter. DAFA: days after the first application. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Different letters within levels of budbreak promoter represent significant differences by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).

FIGURE 1. Axillary budbreak of hail netted 'Baigent' apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Using Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7), terminal budbreak was increased only after Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (L3) and HC 0.34% + MO 3.5% (L7) in comparison to Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (L4) (FIGURE 2). Two groups were formed, and HC + MO (L6, L7) and Erger[®] + MO (L2, L3) provided from 71 to 86% on average between the lower and upper portions of the canopy in the 2017/18 growing season. While these levels induced the highest results, the lowest ones were seen in control (no

application) (L1) and Erger[®] + Calcinit[®] (L4, L5) plants, at 25 and 66 DAFA.



1. Control (no application) 2. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% 3. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2)
4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
6. HC 0.34% + MO 3.5% 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
8. Lower portion 9. Upper portion

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments. ² Mean values from the seven levels of budbreak promoter. DAFA: days after the first application. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Different letters within levels of budbreak promoter and levels of canopy portion represent significant differences by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).

FIGURE 2. Terminal budbreak of hail netted 'Baigent' apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

With almost 100% in both lower and upper parts of the canopy at the end of the evaluation period in the 2018/19 growing season, there was no budbreak promoter effect on terminal budbreak (FIGURE 2). The average of 74.8% in the upper part was significantly superior to the 58.4% in the lower one at 27 DAFA. Initial disparities were compensated, though, considering no differences at 56 DAFA. Pasa *et al.* (2018a) and Pasa *et al.* (2018b)

showed similar control (no application) percentages in non-netted 'Fuji Suprema' and 'Maxi Gala' apple trees, respectively, in a higher altitude area. This finding is attributed to high chilling accumulation since terminal buds have much lower chilling requirement than axillaries (Naor *et al.*, 2003). Thus, studying sequential treatments becomes more important to increase and homogenize axillary budbreak in relation to terminals, especially in years of low chilling during dormancy like 2017.

Elevated HIAB is not desirable because of high variability within different sampled shoots (Hawerth *et al.*, 2009). Significant influences of budbreak promoter were recorded at 25 and 66 DAFA in the 2017/18 growing season, while at 27 and 56 DAFA in 2018/19 (TABLE 2). As also found by Hawerth *et al.* (2009), the highest HIAB was generally induced by control (no application). Since HIAB is related to axillary budbreak, two notes should be made. For instance, it explains the highest percentages between the lower and upper portions of the canopy, not just in control (no application) (L1), but in Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (L2) and Erger[®] + Calcinit[®] (L4, L5) plants, especially in 2017/18. Likewise, the significant reductions provided by Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2) (L3) and HC + MO (L6, L7) also stand out.

A drastic reduction of HIAB due to the high chilling accumulation occurred in the 2018/19 growing season, as in the budbreak (TABLE 2). Thus, the budbreak promoters reduced this variable at 27 DAFA. The lowest results were nearly 35% between both canopy parts, not much different from those with a single application in Pasa *et al.* (2018a; 2018b). At 56 DAFA, similar results were found but Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (L2) and Erger[®] + Calcinit[®] (L4, L5) did not differ from control (no application) (L1).

Influences of canopy portion on HIAB were assessed; however, no significant effect was achieved in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons (TABLE 2). On average, roughly 130% was exhibited at 25 DAFA, but the lower and upper portions presented 117.6% and 90.2%, respectively, at 66 DAFA in 2017/18. The budbreak promoters highly reduced the percentages in 2018/19, especially at 27 DAFA, acting in conjunction with the high chilling accumulation. Interestingly, these conditions could increase the efficiency of important subsequent cultural practices, such as growth regulators management, phytosanitary control, and harvest.

TABLE 2. Heterogeneity index of axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹		Heterogeneity index of axillary budbreak (HIAB - %)					
		2017/18 growing season					
		25 DAFA			66 DAFA		
Application 1	Application 2	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no application)	-	175.3	145.9	160.6 a	151.4	124.1	137.8 a
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	130.8	129.1	129.9 a	137.4	89.9	113.7 a
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	102.9	91.6	97.2 b	81.8	69.2	75.5 b
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	186.2	163.9	175.0 a	194.5	104.0	149.3 a
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	129.8	164.1	146.9 a	113.2	103.3	108.3 a
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	92.4	96.4	94.4 b	73.6	72.0	72.8 b
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	97.6	101.4	99.5 b	71.0	69.1	70.1 b
Mean		130.7 ns	127.5		117.6 A	90.2 B	
Budbreak promoter ¹		2018/19 growing season					
		27 DAFA			56 DAFA		
		Application 1	Application 2	LPC	UPC	Mean	LPC
1. Control (no application)	-	152.0	135.8	143.9 a	70.6	53.3	62.0 a
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	54.2	51.8	53.0 b	49.1	40.4	44.7 a
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	33.5	28.3	30.9 c	22.0	18.0	20.0 b
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	46.9	55.7	51.3 b	30.1	49.0	39.6 a
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	61.1	47.5	54.3 b	60.1	30.9	45.5 a
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	23.8	39.6	31.7 c	24.1	25.0	24.6 b
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	33.9	33.3	33.6 c	26.7	24.2	25.4 b
Mean		57.9 ns	56.0		40.4 ns	34.4	

¹ Break-thru® 0.05% was added in all chemical treatments. DAFA: days after the first application. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p>0.05$). Different letters within lines and columns represent significant differences by Scott-Knott's test ($p\leq 0.05$).

Fructification variables

An apple tree trained to a central leader system and in a high-density planting receives less PAR as its canopy portions get closer to the ground, which is intensified by hail nets (Bosco *et al.*, 2017). Increased incident PAR in the upper part favors higher fertility bud formation, which may be the reason for its highest fructification attributes in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons (TABLE 3). For example, the averages of 79.8 fruits per plant in 2017/18 and 22.4 in 2018/19 were 34.7% and 344% higher than the amounts in the lower portion, respectively. Through these results, it can be partly seen that fructification was highly reduced in 2018/19. High intensity of budbreak generally leads to low fruit set due to well-established nutritional competition between vegetative and reproductive sinks (Erez *et al.*, 2000), which can be an explanation.

Petri *et al.* (2016) showed decreases in fruit set of non-netted 'Maxi Gala' apple trees with a single application of budbreak promoters. Compared to control (no application) (L1), that could lead to a greater reduction in fructification by adding Erger® 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7) in relation to the single treatments (L2, L4, L6). Such effect was just partly observed in the 2017/18 growing season since mean number of fruits per inflorescence was the only attribute influenced by budbreak promoter (TABLE 3). On the other hand, there were no significant responses in 2018/19. The highest average was provided by control (no application) (L1) and Erger® 3% + Calcinit® 3% (L4) in 2017/18. These levels induced the lowest budbreak. Using Erger® 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7), significant lower results occurred only after Erger® 3% + Calcinit® 3% (L5), in comparison to the single treatments (L2, L4, L6).

The low effect of budbreak promoters on fructification may be interpreted as a consequence of the high chilling accumulation during the winter of 2016. It would have increased the number of reproductive structures and the relative contribution of terminal buds in the 2017/18 growing season. Therefore, one hypothesis is that the results obtained would be quite different without that cooling regime. In 2018/19, reduced values as less than 27 inflorescences with fruit per plant (mostly of one fruit) in control (no application) (L1) were highlighted (TABLE 3). Petri *et al.* (2017) reported apple tree fruit set depends on genetics, orchard management techniques, and climate. Then, in addition to high budbreak, adverse environmental conditions during and near flowering occurred in 2018. Heavy rains and even the regime itself may have impaired the activity of pollinating insects, while the commonly associated cloudiness probably reduced fruiting by diminishing the photosynthetic activity; the rainfall amounts are exhibited in APPENDIX 1.

TABLE 3. Number of inflorescences with fruit per plant, mean number of fruits per inflorescence and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹		Number of inflorescences with fruit per plant			Mean number of fruits per inflorescence			Number of fruits per plant		
		2017/18 growing season								
Application 1	Application 2	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no application)	-	52.9	44.4	48.6 ns	1.39	1.83	1.61 a	73.0	79.1	76.1 ns
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	34.1	48.6	41.4	1.29	1.67	1.48 b	44.4	80.0	62.2
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	48.4	46.9	47.6	1.27	1.53	1.40 b	62.1	71.6	66.9
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	42.3	42.9	42.6	1.39	1.65	1.52 a	57.9	72.8	65.3
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	44.6	36.6	40.6	1.33	1.56	1.44 b	58.9	56.1	57.5
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	52.8	77.8	65.3	1.21	1.59	1.40 b	63.8	123.1	93.4
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	42.8	45.5	44.1	1.28	1.68	1.48 b	54.6	75.8	65.2
Mean		45.4 ns	48.9		1.31 B	1.64 A		59.2 B	79.8 A	
Budbreak promoter ¹		2018/19 growing season								
Application 1	Application 2	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no application)	-	6.0	20.7	13.4 ns	0.92	1.32	1.12 ns	8.3	31.0	19.7 ns
2. Erger® 1.5% + MO 3.5%	-	7.8	14.3	11.1	1.40	1.43	1.41	12.8	21.4	17.1
3. Erger® 1.5% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	3.9	14.3	9.1	1.29	1.62	1.45	5.3	24.1	14.7
4. Erger® 3% + Calcinit® 3%	-	7.1	15.9	11.5	1.25	1.45	1.35	9.3	24.6	16.9
5. Erger® 3% + Calcinit® 3%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	1.8	7.8	4.8	0.94	1.32	1.13	2.3	9.9	6.1
6. HC 0.34% + MO 3.5%	-	1.5	14.5	8.0	0.86	1.51	1.18	1.9	22.4	12.1
7. HC 0.34% + MO 3.5%	Erger® 1.5% + MO 3.5%	4.3	15.0	9.7	1.50	1.54	1.52	6.1	23.4	14.8
Mean		4.6 B	14.6 A		1.17 B	1.46 A		6.5 B	22.4 A	

¹ Break-thru® 0.05% was added in all chemical treatments. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test (p>0.05). Different letters within lines and columns represent significant differences by Scott-Knott's test (p≤0.05).

Fruit production variables

Budbreak promoters can be used to anticipate budbreak, flowering, and harvest to capture preferential market times (George *et al.*, 2002). Due to fruit aspects linked to genetics, central leader training, and the frequent phenology heterogeneity in most apple-producing areas, the main cvs. present hampered harvest in southern Brazil. Thus, three or more passes-through to harvest ‘Baigent’ apples at their commercial maturity might sometimes be required. This study evaluated the possibility of reducing costs by increasing ripening uniformity through Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7) for budbreak induction in 2017, a low winter chill accumulation year (FIGURE 3).

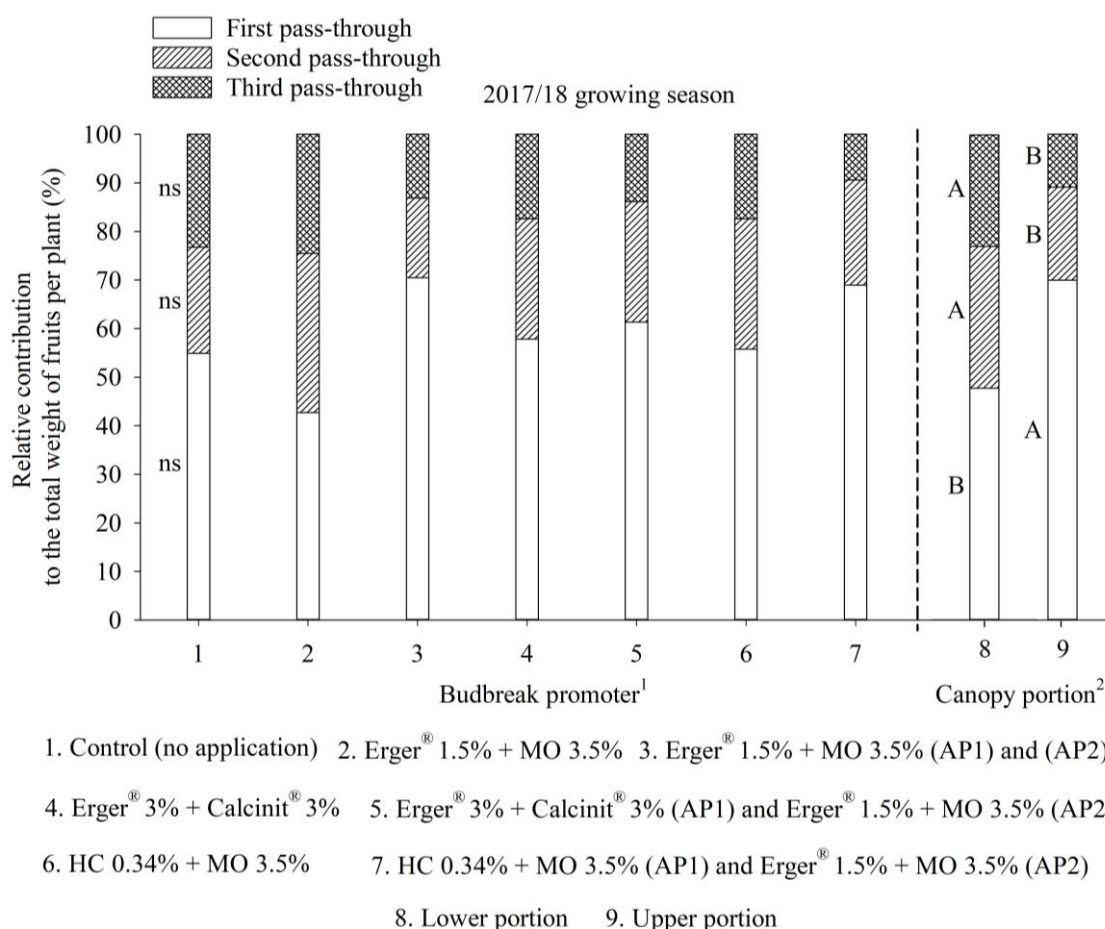
Relative contributions of the first, second, and third passes-through to the total weight of fruits per plant were not significantly affected by budbreak promoter (FIGURE 3). However, plants treated with Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7) tended to exhibit increased first pass-through percentages, especially in response to Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2) (L3) followed by HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2) (L7).

Earlier flowering does not provide, in the same proportion, anticipations of fruit ripening (Petri *et al.*, 2006). Despite the delayed flowering in the upper portion of the canopy, a significant 70% of the total weight of fruits per plant was obtained in the first pass-through (FIGURE 3). Such a result may be attributed to the higher incident PAR in this part in relation to the lower one (Bosco *et al.*, 2017). In contrast, the contribution of the lower portion was higher in the second and third passes-through.

During two seasons, Fenili *et al.* (2017) found variable results on fruit production attributes using their scheme with a sequential application of MO in non-netted ‘Fuji Suprema’ apple trees. The effects of budbreak promoters depend on meteorological factors during fruit growth period (Petri *et al.*, 2006; Hawerroth *et al.*, 2009). No significant influences have been found under adequate conditions, which can explain why weight of fruits per plant and average fresh fruit weight were not significantly altered by the use of Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (L3, L5, L7) and the single treatments (L2, L4, L6) in the 2018/19 growing season (FIGURE 4).

Budbreak promoters can enhance the productive potential in the orchard, especially when consolidated in the production system (Iuchi *et al.*, 2002). This benefit is well-known and is related to the increased number of reproductive structures by releasing more lateral buds from dormancy. Specific comparisons between both 2017/18 and 2018/19 growing seasons could not be made because of some contrasting conditions, e.g., the use of different plants to discern the impacts of the treatments without residual effects. But indeed, they

generally increased budbreak percentages in both years, which already provides the idea of increasing the existing production capacity.



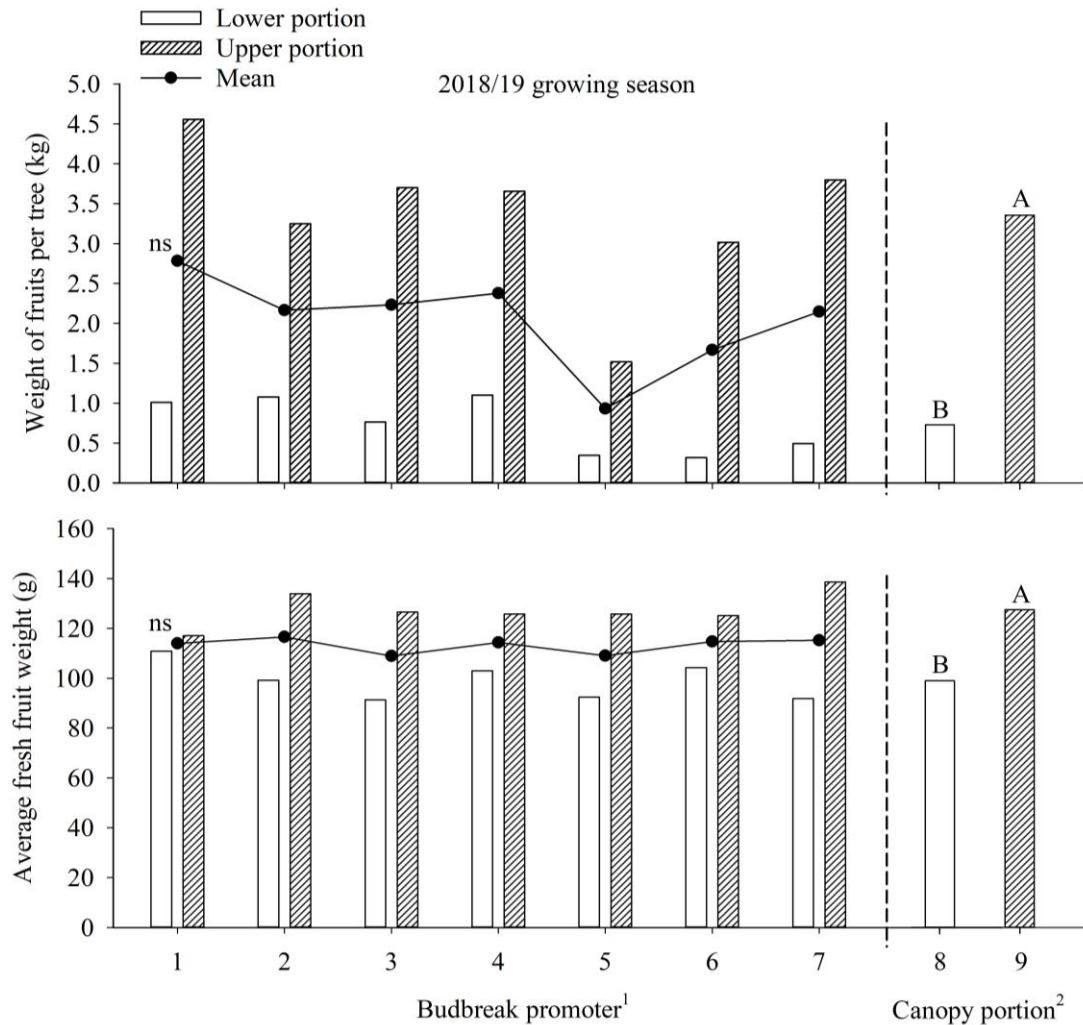
¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments, and data are mean from the two levels of canopy portion. ² Mean values from the seven levels of budbreak promoter. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Different letters within levels of canopy portion represent significant differences by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).

FIGURE 3. Relative contribution of the first, second, and third pass-through to the total weight of fruits per plant of hail netted 'Baigent' apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Less than a total of 6 kg per plant were obtained in the 2018/19 growing season, which does not satisfy the activity's profitability in southern Brazil (FIGURE 4). Insufficient amounts do not invariably occur, and clearly, they were linked to the fructification results. A high number of fruits per plant generally leads to low fruit weight caused by intense competition for carbohydrates (Robinson, 2011). However, number of fruits per plant was not significantly affected by budbreak promoter, and as a consequence, the same response was verified for average fresh fruit weight.

The averages of 3.4 kg per plant and 97 g per fruit in the upper portion of the canopy were significantly superior to those in the lower one (FIGURE 4). Such results are

consequences of its highest fructification and so justified by low carbohydrate competition due to the reduced amounts in the lower portion. Szot & Lipa (2019) found no influences of canopy portion on weight of non-netted ‘Szampion’ apples, despite observing a greater number of fruits in the lower part. These contrasting results may be associated with differences in plant density, management, and hail net presence.



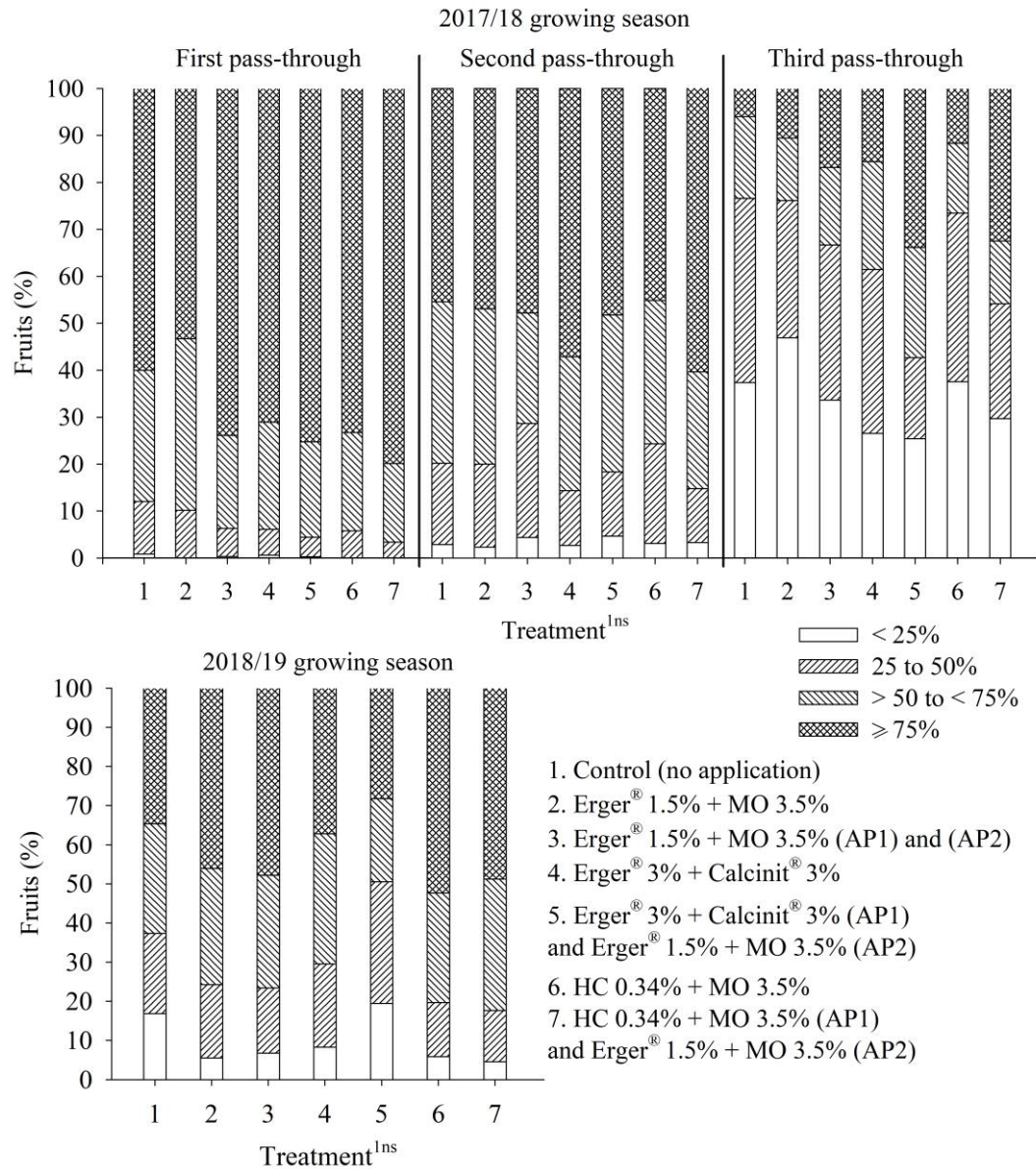
1. Control (no application) 2. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% 3. Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP1) and (AP2)
 4. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% 5. Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
 6. HC 0.34% + MO 3.5% 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger[®] 1.5% + MO 3.5% (AP2)
 8. Lower portion 9. Upper portion

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments. ² Mean values from the seven levels of budbreak promoter. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Different letters within levels of canopy portion represent significant differences by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).

FIGURE 4. Weight of fruits per plant and average fresh fruit weight of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the lower and upper canopy in the 2018/19 growing season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Fruit quality variables

There was no influence of Erger[®] 1.5% + MO 3.5% addition as a sequential application (T3, T5, T7) and the single treatments (T2, T4, T6) on the red coloration of fruit surface (FIGURE 5). This was observed for the first, second, and third passes-through of the 2017/18 growing season and in 2018/19. In accordance with Pasa *et al.* (2018a), the effects of budbreak promoters on apple quality attributes have been little defined and reported in literature.



¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$).

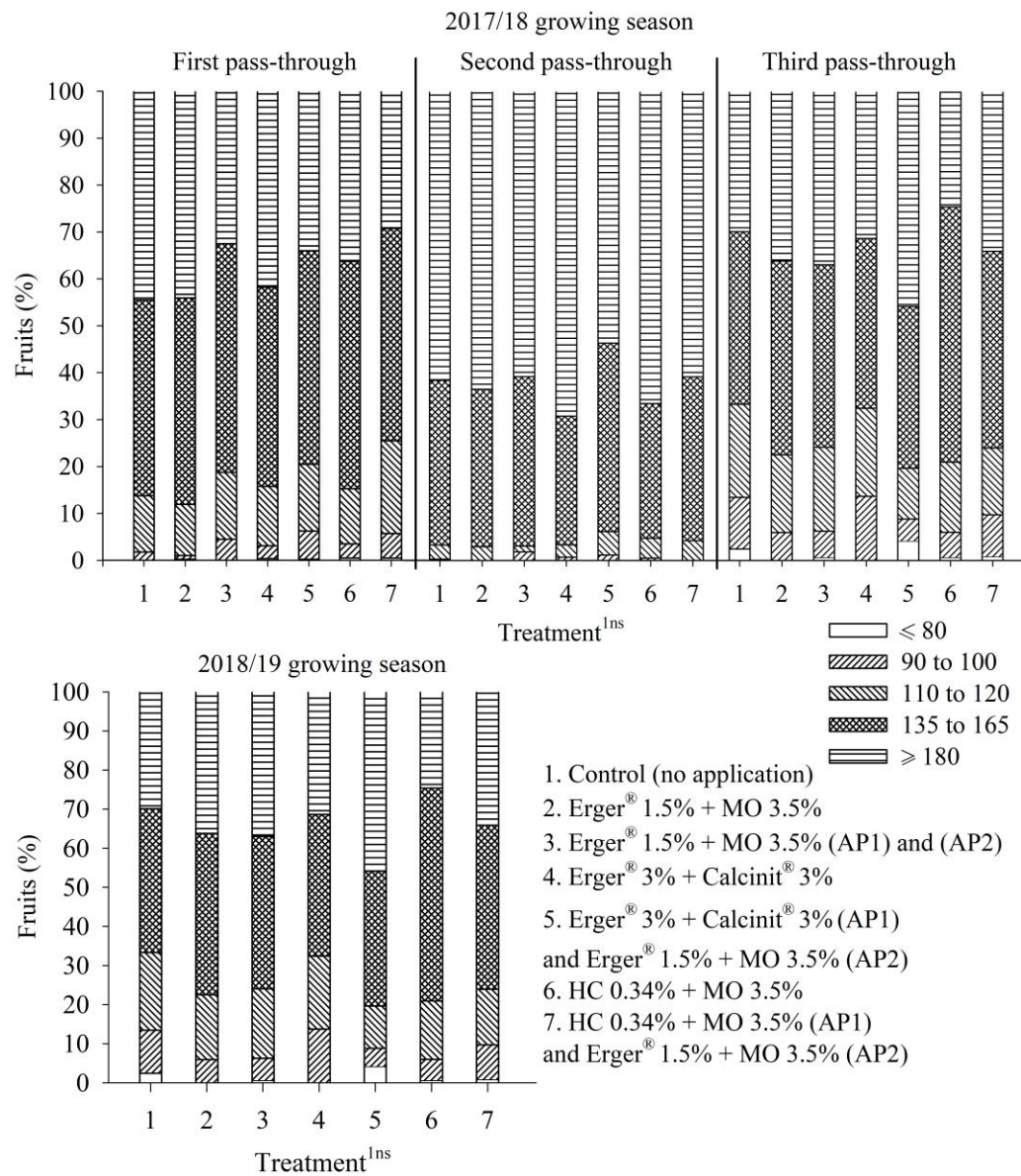
FIGURE 5. Percentage of hail netted 'Baigent' apples according to four intervals based on the red color on their surface (less than 25%, 25 to 50%, greater than 50% to less than 75%, and greater than or equal to 75%) in response to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first, second, and third passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

All treatments provided the highest proportion of fruits with greater than or equal to 75% of red color on their surface in the first pass-through of the 2017/18 growing season (FIGURE 5). Anticipated ripening is likely related to more colorful fruits in the upper part of the canopy than in the lower one due to its higher incident solar radiation (Bosco *et al.*, 2017), which triggers the synthesis of anthocyanins (Ubi, 2004; Honda & Moriya, 2018). Despite homogenization among the other classes resulting from harvesting in a single pass-through, similar responses were observed in the 2018/19 season.

Apple size and shape depend on meteorological conditions and the reproductive structure where it is beared (Petri & Leite, 2004). Therefore, these attributes might be modified by budbreak promoters since they can interfere with fruiting patterns (Hawerroth *et al.*, 2009). There was no influence of adding Erger[®] 1.5% + MO 3.5% as a sequential application (T3, T5, T7) and the single treatments (T2, T4, T6) on caliber though (FIGURE 6). Such a response was recorded in all evaluations, i.e., in the first, second, and third passes-through of the 2017/18 growing season and in 2018/19. Yet, the highest proportion of fruits for all treatments was categorized in the biggest caliber classes, i.e., 135 to 165 (weight range of 104.5 to 141.49 g) and greater than or equal to 180 (less than 104.5 g), in the first and second passes-through of 2017/18 and in 2018/19. Greater homogenization among the other classes occurred in the second season, considering harvesting in a single pass-through.

Mean fruit length and diameter, length/diameter ratio, and mean number of seeds were not affected by the budbreak promoters in the first, second, and third passes-through of the 2017/18 growing season and in 2018/19 (TABLE 4). Larger fruits were harvested in the first pass-through compared to those in the second one. The size reduction was not followed by mass reduction given the high proportion of fruits categorized in the caliber classes of 135 to 165 and greater than or equal to 180 in the second pass-through (FIGURE 6). Apple growth is properly measured in weight gain. Since length and diameter are, individually, only one dimension of a 3-dimensional fruit, increases or decreases can be deceiving (Lakso & Goffinet, 2013). Moreover, the length to diameter ratio was 0.98, and mean number of seeds was 3.3, both similar to those of the first pass-through of 2017/18.

Length/diameter ratio near 1.0 indicates rounded-shaped fruits, while ratios higher than 1.0 are a consequence of longer apples. From all treatments, mean length and diameter were 63.4 mm and 62.3 mm, respectively, in the 2018/19 growing season (TABLE 4). In relation to 2017/18, fruits were longer, but they also had smaller diameters, resulting in length/diameter ratio of 1.02. These differences are justified by distinct meteorological conditions during fruit's growth between the growing seasons, as Dennis (2003) documented.



¹ Break-thru[®] 0.05% was added in all chemical treatments. AP1, AP2: applications 1 and 2, respectively. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$).

FIGURE 6. Percentage of hail netted 'Baigent' apples according to five caliber classes (less than or equal to 80, 90 to 100, 110 to 120, 135 to 165 and greater than or equal to 180) in response to budbreak promoters in a single application and Erger[®] with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first, second, and third passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Pulp firmness, soluble solids content, and starch-iodine index are important harvest attributes to determine whether fruits will be marketed or stored, i.e., their destination (Argenta, 2006). These physicochemical variables did not respond to the budbreak promoters in the first and second passes-through of the 2017/18 growing season and in 2018/19 (TABLE 4). Compared to HC, higher levels of soluble solids content and dry matter of non-netted 'Hayward' kiwifruit were obtained by Hernández & Craig (2011) with Erger[®]. Contrasting results regarding the effects of budbreak promoters on fruit quality variables

may be associated with phenological modifications, and all of them probably are dependent on species and climatic conditions. Considering the first and second-passes-through values of all treatments in 2017/18 and those of 2018/19, it is possible to infer those fruits were at the end of their commercial maturity, according to Argenta's (2006) specifications for non-netted cultivars Gala.

TABLE 4. Mean length and diameter, length/diameter ratio, pulp firmness, soluble solids content, starch-iodine index and mean number of seeds of hail netted ‘Baigent’ apples in response to budbreak promoters in a single application and Erger® with mineral oil (MO) as a sequential one. Data from the 2017/18 (first and second passes-through) and 2018/19 growing seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Treatment ¹	Mean fruit length (mm)	Mean fruit diameter (mm)	Length/diameter ratio	Pulp firmness (N)	Soluble solids content (°Brix)	Starch-iodine index (1-9)	Number of seeds per fruit	Mean fruit length (mm)	Mean fruit diameter (mm)	Length/diameter ratio	Pulp firmness (N)	Soluble solids content (°Brix)	Starch-iodine index (1-9)	Number of seeds per fruit
	2017/18 growing season													
	First pass-through				Second pass-through									
1	59.0 ns	62.4 ns	0.94 ns	53.0 ns	11.3 ns	8.2 ns	4.2 ns	59.3 ns	62.0 ns	0.96 ns	56.7 ns	11.2 ns	8.2 ns	3.7 ns
2	60.0	61.5	0.98	52.5	11.0	8.3	3.6	58.2	59.9	0.97	56.5	11.4	8.0	3.6
3	61.8	63.5	0.97	54.0	11.1	8.2	3.7	59.0	60.5	0.98	57.4	11.2	8.0	3.0
4	61.5	63.4	0.97	54.7	11.1	8.5	3.4	57.3	59.3	0.97	60.1	11.5	8.0	3.3
5	63.5	65.0	0.98	54.7	11.0	8.2	3.3	60.6	60.9	1.00	57.8	11.3	8.1	3.2
6	60.4	62.8	0.96	53.0	11.3	8.4	3.0	59.7	61.4	0.97	56.5	11.1	8.1	3.4
7	63.2	64.6	0.98	54.0	11.5	8.0	3.3	60.7	60.3	1.01	60.1	11.4	7.6	3.2
Mean	61.3	63.3	0.97	53.7	11.2	8.3	3.5	59.3	60.6	0.98	57.9	11.3	8.0	3.3
Treatment ¹	Mean fruit length (mm)	Mean fruit diameter (mm)	Length/diameter ratio	Pulp firmness (N)	Soluble solids content (°Brix)	Starch-iodine index (1-9)	Number of seeds per fruit	2018/19 growing season						
1	65.4 ns	63.8 ns	1.03 ns	63.6 ns	11.0 ns	6.7 ns	5.3 ns							
2	62.2	60.9	1.02	64.1	11.7	5.5	5.0							
3	63.6	62.7	1.01	62.7	11.5	6.2	5.3							
4	63.6	62.6	1.02	63.2	11.8	6.4	5.1							
5	62.0	60.5	1.02	62.3	11.5	5.8	4.9							
6	63.5	62.9	1.01	66.3	12.0	5.9	5.0							
7	63.5	62.6	1.01	63.6	11.6	6.5	4.3							
Mean	63.4	62.3	1.02	63.7	11.6	6.1	5.0							

¹ 1. Control (no application); 2. Erger® 1.5% + MO 3.5%; 3. Erger® 1.5% + MO 3.5% (Application 1 - AP1) and (Application 2 - AP2); 4. Erger® 3% + Calcinit® 3%; 5. Erger® 3% + Calcinit® 3% (AP1) and Erger® 1.5% + MO 3.5% (AP2); 6. HC 0.34% + MO 3.5%; 7. HC 0.34% + MO 3.5% (AP1) and Erger® 1.5% + MO 3.5% (AP2). Break-thru® 0.05% was added in all chemical treatments. HC: hydrogen cyanamide. ns: not significant by the F-test (p>0.05).

3.4 Conclusions

1) There was no effect of Erger[®] 1.5% + mineral oil 3.5% as a sequential application on the anticipation of budburst/blooming and flowering period. The beginning of budburst/blooming was delayed, while the flowering period was prolonged in the upper portion of the canopy compared to the lower one.

2) Axillary budbreak is intensified and presents high homogeneity in response to two applications of Erger[®] 1.5% + mineral oil 3.5%. This treatment induces similar results to those of hydrogen cyanamide 0.34% + mineral oil 3.5% applications. There are no differences regarding variables of axillary buds between the lower and upper parts of the canopy with the methodology adopted.

3) The effect of Erger[®] 1.5% + mineral oil 3.5% as a sequential application on fructification variables is probably masked. Higher amounts are exhibited by the upper portion of the canopy in relation to the lower one.

4) It might be possible to use Erger[®] 1.5% + mineral oil 3.5% as a sequential application in programs to capture preferential market times through the anticipation of harvest, especially after the same treatment; and there is no influence on fruit quality. Harvest is anticipated in the upper part of the canopy in comparison to the lower one.

Further studies regarding the use of budbreak promoters in the presence of a vigor gradient along the canopy are needed, especially in a higher number of seasons. Overall, considering the schemes adopted, two applications of Erger[®] 1.5% + mineral oil 3.5% are an alternative to its single treatment and Erger[®] 3% + Calcinit[®] 3% for budbreak induction of 'Baigent' apple trees under hail net in these conditions of southern Brazil.

3.5 Literature Cited

ARGENTA, L. C. Fisiologia pós-colheita: Maturação, colheita e armazenagem dos frutos. *In: EPAGRI. A cultura da macieira*. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 20, p. 691-732.

BASTÍAS, R. M.; MANFRINI, L.; GRAPPADELLI, L. C. Exploring the potential use of photoselective nets for fruit growth regulation in apple. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 72, n. 2, p. 224-231, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392012000200010>. Acesso em: 27 jan. 2019.

BENDER, R. J.; EBERT, A. **Determinação do ponto de colheita de cultivares de macieira**. Teste iodo amido. Florianópolis: Empasc, 1985. 6 p. (Documento, 54).

BOSCO, L. C. *et al.* Microclimate alterations caused by agricultural hail net coverage and effects on apple tree yield in subtropical climate of Southern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 1, p. 181-192, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016459>. Acesso em: 11 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 50, de 3 de setembro de 2002. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação da Maçã, em anexo. Estabelecer que, em se tratando de importação de Maçã dos demais países membros do MERCOSUL, será observado, para efeito de classificação, o que preconiza o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade da Maçã, aprovado pela Resolução GMC nº 117/96. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 5 set. 2002.

DARDE, D. C.; ALMEIDA, G. K.; MARODIN, G. A. B. Budburst and flowering intensity by the spraying of dormancy breaking products in ‘Eva’ apple trees. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 1049-1062, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1049>. Acesso em: 16 jan. 2019.

DENNIS, J. F. G. Flowering, pollination and fruit set and development. *In*: FERREE, D. C.; WARRINGTON, I. J. (Ed.). **Apples: botany, production and uses**. Wallingford: CABI, 2003. cap. 7, p. 156-166.

EBERT, A. *et al.* First experiences with chill unit models in southern Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 184, p. 89-96, 1986. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1986.184.8>. Acesso em: 17 dez. 2018.

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, 2000. cap. 2, p. 17-48. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2. Acesso em: 10 dez. 2018.

EREZ, A.; YABLOWITZ, Z.; KORCINSKI, R. Temperature and chemical effects on competing sinks in peach bud break. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 514, p. 51-58, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2000.514.5>. Acesso em: 9 jan. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **[Base de dados FAOSTAT]**. Rome: FAO, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 6 jan. 2019.

FENILI, C. L. *et al.* Indução da brotação de macieira com dupla aplicação de óleo mineral. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa**, Bagé, v. 14, p. 1858-1870, 2017.

FENILI, C. L. *et al.* Bluprins[®] as alternative bud break promoter for ‘Maxi Gala’ and ‘Fuji Suprema’ apple trees. **Journal of Experimental Agriculture International**, Dhaka, v. 26, n. 2, p. 1-13, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9734/jeai/2018/43649>. Acesso em: 3 fev. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>. Acesso em: 3 fev. 2019.

FIORAVANÇO, J. C.; CZERMAINSKI, A. B. C.; OLIVEIRA, P. R. D. **Avaliação da cultivar de macieira Baigent (Brookfield[®]) em Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2013. 7 p. (Comunicado Técnico, 140).

GEORGE, A. P. *et al.* Effects of new restbreaking chemicals on flowering, shoot production and yield of subtropical tree crops. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 575, p. 835-840, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2002.575.99>. Acesso em: 12 jan. 2019.

GOULARTE, N. A. A. *et al.* Aplicação sequencial de indutores de brotação em macieiras Baigent. *In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO*, 13., 2018, São Joaquim. **Anais [...]**. Florianópolis: Epagri, 2018. p. 210.

HAWERROTH, F. J. Aplicações sequenciais de indutores de brotação na cultura da macieira. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã**, Vacaria, v. 280, p. 8-9, set. 2017.

HAWERROTH, F. J. Manejo da indução da brotação de gemas na cultura da macieira. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã**, Vacaria, v. 291, p. 6-7, ago. 2018.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. Crescimento vegetativo de macieiras 'Fuji Suprema' sob influência da época de aplicação de proexadione cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 373-380, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-375/13>. Acesso em: 9 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Fenologia, brotação de gemas e produção de frutos de macieira em resposta à aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 961-971, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052009000400016>. Acesso em: 12 jan. 2019.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Brotação de gemas em macieiras 'Imperial Gala' e 'Fuji Suprema' pelo uso de Erger® e nitrato de cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 343-350, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s010029452010005000074>. Acesso em: 8 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Manejo de indutores de brotação em macieira: uso de aplicações sequenciais. **Jornal da Fruta**, Lages, p. 6, jun. 2018. Caderno Especial 13º Senafrut.

HERNÁNDEZ, G.; CRAIG, R. L. Effects of alternatives to hydrogen cyanamide on commercial kiwifruit production. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 913, p. 357-363, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2011.913.47>. Acesso em: 14 jan. 2019.

HONDA, C.; MORIYA, S. Anthocyanin biosynthesis in apple fruit. **The Horticulture Journal**, Tokyo, v. 87, n. 3, p. 305-314, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2503/hortj.okd-r01>. Acesso em: 12 fev. 2019.

IGLESIAS, I.; ALEGRE, S. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. **Journal of Applied Horticulture**, Lucknow, v. 8, n. 2, p. 91-100, 2006.

IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. *In: EPAGRI. A cultura da macieira*. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 3, p. 59-102.

IUCHI, V. L. *et al.* Quebra da dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh) em São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 168-174, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000100037>. Acesso em: 12 jan. 2019.

LAKSO, A. N.; GOFFINET, M. C. Apple fruit growth. **New York Fruit Quarterly**, Rochester, v. 21, n. 1, p. 11-14, 2013.

LEITE, G. B. **Evolution des Etats des Bourgeons et de leur hétérogénéité Le Long Du Rameau d'un de pêcher sous différents régimes de températures après l'installation de l'endormance**. 2004. Thèse (Docteur D'Université (Spécialité: Physiologie et Génétique Moléculaires) - École Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2004.

LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; COUTO, M. Dormência das fruteiras de clima temperado. *In*: PIO, R. (Ed.). **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões tropicais e subtropicais**. Lavras: UFLA, 2014. cap. 2, p. 57-79.

MELKE, A. The physiology of chilling temperature requirements for dormancy release and bud-break in temperate fruit trees grown at mild winter tropical climate. **Journal of Plant Studies**, Toronto, v. 4, n. 2, p. 110-156, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5539/jps.v4n2p110>. Acesso em: 17 dez. 2018.

MUPAMBI, G. *et al.* The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 236, p. 60-72, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>. Acesso em: 9 nov. 2018.

NAOR, A. *et al.* Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 128, n. 5, p. 636-641, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.128.5.0636>. Acesso em: 15 dez. 2018.

PASA, M. S. *et al.* Performance of 'Fuji Suprema' apple trees treated with budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, [art.] e-325, 2018a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018325>. Acesso em: 8 nov. 2018.

PASA, M. S. *et al.* Performance of 'Maxi Gala' apple trees as affected by budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 5, [art.] e-537, 2018b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018537>. Acesso em: 8 nov. 2018.

PETRI, J. L. Práticas de manejo da quebra de dormência em pomáceas. *In*: SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA FRUTALES DE PEPITA, 1., 2014, Las Brujas. **Anais [...]**. Las Brujas: INIA, 2014.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 662, p. 53-60, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.662.4>. Acesso em: 8 nov. 2018.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução da brotação da macieira. *In*: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 8, p. 261-

297.

PETRI, J. L.; SEZERINO, A. A.; FAGUNDES, E. Frutificação efetiva da macieira. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO*, 15., 2017, Fraiburgo. **Anais** [...]. Fraiburgo: Epagri, 2017. p. 12-16.

PETRI, J. L. *et al.* Apple Phenology in subtropical climate conditions. *In: ZHANG, X.* (Ed.). **Phenology and climate change**. Londres: IntechOpen, 2012. cap. 11, p. 195-216. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/34301>. Acesso em: 7 fev. 2019.

PETRI, J. L. *et al.* A new product to induce apple bud break and flowering – Synchron[®]. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1130, p. 103-110, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2016.1130.15>. Acesso em: 16 jan. 2019.

ROBINSON, T. L. High density pear production with *Pyrus communis* rootstocks. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 909, p. 259-269, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2011.909.28>. Acesso em: 12 fev. 2019.

RUFATO, L. *et al.* Bud break in different cultivars of apple trees in two regions of Santa Catarina state, Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 884, p. 643-646, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2010.884.85>. Acesso em: 7 fev. 2019.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 56, n. 3, p. 211-218, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-008-9302-7>. Acesso em: 12 nov. 2018.

SZOT, I.; LIPA, T. Apple trees yielding and fruit quality depending on the crop load, branch type and position in the crown. **Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus**, Lublin, v. 18, n. 2, p. 205-215, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24326/asphc.2019.2.18>. Acesso em: 12 fev. 2019.

UBI, B. E. External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. **Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1234/4.2004.168>. Acesso em: 12 fev. 2019.

WIT, M.; GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Light-mediated hormonal regulation of plant growth and development. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 67, n. 1, p. 513-537, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112252>. Acesso em: 12 nov. 2018.

4 CAPÍTULO 2

Hydrogen cyanamide levels and mineral oil for budbreak induction of ‘Baigent’ apple trees under hail net in southern Brazil: an approach with canopy stratification

4.1 Introduction

Apple trees (*Malus domestica* Borkh.) start dormancy in fall to avoid unfavorable environmental conditions during winter when no visible growth occurs in response to growth-arresting physiological conditions (Cesaraccio *et al.*, 2004). Once the plant is dormant, normal growth is not resumed until it has been exposed to a certain amount of cold followed by an amount of heat, both cultivar-dependent. For example, cold exposure is generally expressed for plants as the sum of hours under conditions less than or equal to 7.2°C - chilling hours, and chilling units (CU) (Melke, 2015).

In Brazil, apple production was 1.31 million tons in 2017, the eleventh-biggest in the world (FAO, 2019). Mainly in its altitude localities - 900 to 1.400 m, the southern region has the largest cultivated area and accounted for 99% of the total that year (IBGE, 2019). A wide range of genotypes are available for growing, but medium to high-chill cultivars Gala, e.g., Baigent (Fioravanço *et al.*, 2013), are the most important and represent around 60% of the national production (Petri *et al.*, 2011). Large-scale cultivations of these apples have been made possible, though, because of chemical agents, given mild, irregular winters and the common lack of cold to satisfy their chilling requirements. Such chemicals, known as budbreak promoters, can increase budburst/flowering intensity, uniformity, fruit production/quality, minimizing the physiological anomalies under these cropping conditions (Petri *et al.*, 2006).

Hydrogen cyanamide (HC) is a substance used globally to induce budbreak of apple (Hawerroth *et al.*, 2009) and other temperate climate fruit trees, such as persimmon (Ayub *et al.*, 2009), peach (Nava *et al.*, 2009), and vine (Werle *et al.*, 2008). In southern Brazil, HC application is extensively carried out with mineral oil (MO) on cultivars Gala. Its concentrations are defined annually, taking into account plant vegetative growth and chilling accumulation during dormancy. The standard rule is the longer the shoot length and the lower the intensity/regularity of the winter, the higher the concentration to be applied (Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Despite HC's proven efficacy, reduced budbreak induction has been observed in some years within commonly used concentrations, markedly in important cultivars covered by hail nets.

Hail is one of the main environmental phenomena responsible for significant losses in apple trees, given substantial damages to wood, leaves, and fruits (Mupambi *et al.*, 2018). According to Bosco *et al.* (2017), using hail nets is the most effective alternative for producers against the increasing hailstorms in apple-producing areas of southern Brazil. Combined with its protection benefits, though, netting alters the orchard microclimate, including changes in the light environment, e.g., intensity (Bosco *et al.*, 2017). These events

interfere with plant-environment interactions according to net characteristics, cultivar/rootstock combo, planting density, orchard management, and climatic factors (Leite *et al.*, 2002; Middleton & McWaters, 2002; Amarante *et al.*, 2007).

The vegetative growth of apple trees is influenced by hail nets. Solomakhin & Blanke (2008) and Bastias *et al.* (2012) reported increases in total shoot length of cultivars Fuji in Germany and Italy, respectively. According to Mupambi *et al.* (2018), increased vigor typically corresponds to increased shading percentages and darker colors of nets. Milivojevic *et al.* (2016) stressed light intensity significantly influences floral initiation, number, and also shoot elongation. A possible explanation is that reduced photosynthetic active radiation (PAR) and other shading effects induce modifications in hormone levels and stimulate resource allocation into extending shoots (Wit *et al.*, 2016; Mupambi *et al.*, 2018).

In southern Brazil, a vigor gradient has sometimes been characterized along the canopy, with the upper part exhibiting the highest proportion of verticalized structures regardless of the presence of netting. Inadequate winter pruning, the hail net itself, and the apple species' natural acrotonic growth habit are aspects that may be linked to this scenario. Many orchards in the region can thus be highlighted given their (still) high proportion of black netting areas. Therefore, seeking to establish regularity and increase the productive potential of 'Baigent' trees, alternatives to improve budbreak induction should be found.

The objective of this work was to evaluate, along the canopy, HC concentrations with MO to induce budbreak of 'Baigent' apple trees under hail net in southern Brazil.

4.2 Material and Methods

- Site description and study duration

The study was conducted in a commercial orchard in Vacaria, Rio Grande do Sul State, Brazil (lat. 28° 30' S, long. 50° 56' W, 971 m a.s.l.), during the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Black hail net (from 25% to 35% less PAR) was fixed in a permanent system in 2010. At the time, that was the most used color because of its high lifespan.

According to the Köppen classification, the region's climate is Cfb, temperate constantly humid with cool summer and without a dry season. Monthly averages of maximum and minimum air temperatures and rainfall were reported in Appendices (APPENDIX 1). Accumulated chilling hours ($\leq 7.2^{\circ}\text{C}$) and chilling units (Modified North Carolina Model - Ebert *et al.*, 1986) during April 1st to August 31st were 371 and 1086.4, respectively, for 2017, while 675 and 1235.6, respectively, for 2018 (Automatic Surface Weather Station A880 of INMET; its location is described in APPENDIX 1).

- Plant material and orchard design

Uniform twelve-year-old 'Baigent' apple trees were submitted or not to HC concentrations with MO to induce budbreak. The cultivars Baigent and Fuji Kiku 8 were planted in clayey soil in the block; both were grafted on M.9 rootstock, established together in high-density at 6,350 per hectare - overall spacing of 3.5 m between rows and 0.45 m within the row, and trained to a central leader system. Thus, the pollination scheme consisted of three rows of the former and one row of the latter. Orchard management was always conducted according to recommendations in southern Brazil, and all experimental units were addressed similarly. To evaluate the intrinsic characteristics of the treatments, different plants were used in the two seasons. After being chosen, their canopies were marked in the middle, delimiting two strata herein called the lower and upper portions/parts.

- Statistical arrangement and treatments

A randomized complete block design was adopted with three replicates, each composed of two useful plants. The levels of budbreak promoter studied were: 1. Control (no spraying); 2. MO 3.5%; 3. HC 0.17% + MO 3.5%; 4. HC 0.34% + MO 3.5% (standard application); 5. HC 0.51% + MO 3.5%; 6. HC 0.69% + MO 3.5%; and 7. HC 0.86% + MO 3.5%. The applications of HC with MO were made on the whole canopy. They were carried out on 08/29/2017 and 09/06/2018 when buds were between stages A (dormant) and B (swollen), according to the phenological scale in Iuchi (2006). A non-ionic surfactant was added in all treatments with chemicals, Break-thru[®] at 0.05%. The commercial product Dormex[®] (49% a.i.) was used as the HC source, while Assist[®] (75.6% a.i. - 2017/18) and Agefix[®] (92% a.i. - 2018/19) were applied as MO. All applications were sprayed using a motorized trailed sprayer at the volume of 1,000 L ha⁻¹, with air temperature, relative humidity, and wind speed ranging from 23-25°C, 75-80% and 1-2.6 km h⁻¹, respectively; conditions recorded using a termo-higro-anemometer model THAR-300.

- Variables analyzed:

1) Vegetative attributes: in the 2017/18 crop season, dates of budburst, start, full, and end of bloom were determined visually in the lower and upper parts of the canopy. Budburst was considered when buds were between green tip and half-inch green (C-C₃); start of bloom (F) with 5% of opened flowers, full (F₂) and end of bloom when more than 70% and the last flowers were opened, respectively - the content within parentheses refers to phenological stages described by Iuchi (2006). Based on these data, the length of flowering subperiods and total duration were calculated (days). Because of the elevated chilling accumulation in the winter of 2018 and greater homogenization observed among the treatments, phenology recordings were not performed in the 2018/19 season.

Intensities of axillary and terminal budbreak were assessed at two different moments - Sept./Nov. 2017 and Oct./Nov. 2018, and expressed as percentages of burst buds in relation to the total number evaluated. To assess the former, ten one-year-old shoots (uniform vigor brindles) were previously selected in the lower and upper portions of the canopy - five for each part. Terminal budbreak was estimated from two scaffold branches in the same portions - one for each part. Then, two indexes named heterogeneity index of axillary budbreak (HIAB - %) (Hawerroth *et al.*, 2009) and abortion index of axillary buds (AIAB - %) were calculated from the axillary budbreak data.

3) Fructification attributes: all clusters with fruit and fruits per plant were counted - Dec. 2017 and Nov. 2018 - in the lower and upper parts of the canopy to determine their total number. Mean number of fruits per cluster was obtained from the relation between both.

4) Fruit production and quality attributes: at commercial maturity, fruits were picked, counted and weighed - Feb. 2018 and Mar. 2019. The total mass per plant (kg) was achieved and used with the number to estimate average fresh fruit mass (g). After harvested, they were grouped into one box per replicate to evaluate their proportion according to four different size classes: less than 55 mm; 55 to 65 mm; 65 to 70 mm; and greater than 70 mm.

Data were subjected to analysis of variance, but those expressed as percentages were previously transformed by square root ($x+1$). Vegetative and fructification variables were analyzed in response to budbreak promoter, canopy portion and their interaction. Only the first was studied on the others. When the F-test indicated significance, the respective attribute had its means separated by Scott-Knott's test, both at the 5% level. Polynomial regression analysis was also performed to discern the effect of HC concentrations with MO. All statistical analyses were run using the Sisvar software, version 5.6 (Ferreira, 2014).

4.3 Results and Discussion

A budburst and flowering gradient along the canopy of control (no spraying) (L1) plants elucidates that all phenological stages dates in the upper portion were delayed in relation to the lower one (TABLE 1). This observation was also made using the budbreak promoters. With HC 0.17% (L3) and concentrations above + MO 3.5% (L4, L5, L6, L7), the stages were anticipated, and both gradients occurred in shorter intervals of days. Budburst (C-C₃) was advanced in 1 day, while start (F), full (F₂), and end of bloom (G) in 2 days in the lower part. A similar effect was recorded in the upper one, especially with HC above 0.34% + MO 3.5% (L5, L6, L7).

Budbreak promoter did not affect flowering subperiods 'F-F₂', 'F₂-G', and total duration, i.e., 'F-G' (TABLE 1). The same outcome was found by increasing HC + MO 3.5%

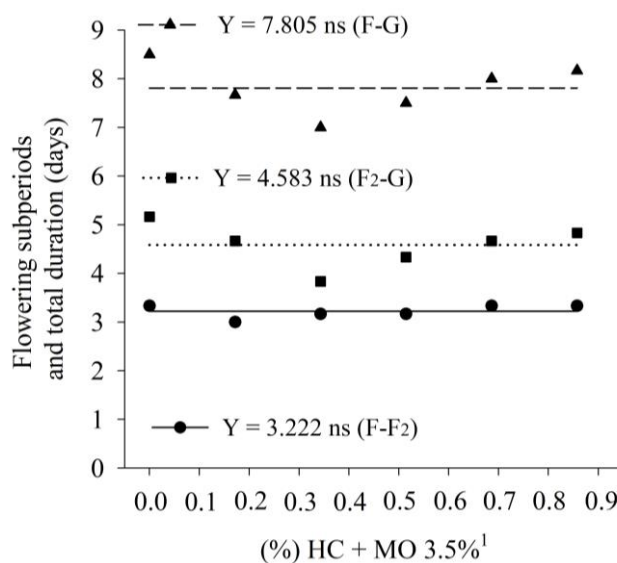
(FIGURE 1). Little or no effects of budbreak promoters on flowering phenology may be justified by elevated chilling during the winter of 2016, which would have increased the relative contribution of terminal buds in the 2017/18 crop season. Moreover, this can contrast with higher synchronization between productive cultivars and pollinizers, possibly increasing fruit set (Hawerth *et al.*, 2009). However, the canopy portions showed differentiated results. Duration of 'F-F₂' was least affected, but 'F₂-G' and 'F-G' took an extra time in the upper part compared to the lower one. These results come from the previously discussed dates of the phenological stages.

A budburst and flowering gradient along the canopy may be justified by a vigor one, either formed or intensified by the hail net. The higher the shoot length, the higher the chilling requirement of axillary buds and the acrotonic tendency, possibly resulting in cumulative effects (Erez, 2000; Petri *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2014). Then, an increased proportion of verticalized structures in the upper canopy would explain lower responses to budbreak promoters. In addition, some practices such as chemical thinning and harvest are also hampered when different phenological stages occur at the same time within the plant, highlighting studies to improve budbreak induction in these situations (Petri & Leite, 2004).

TABLE 1. Phenological stages (budburst, start, full, and end of bloom) dates, flowering subperiods and total duration of hail netted 'Baigent' apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 crop season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹	Phenological stages dates								
	Budburst (C-C ₃)		Start of bloom (F)		Full bloom (F ₂)		End of bloom (G)		
	(green tip to half-inch green)		5% of opened flowers		70% of opened flowers		Last flowers to open		
	LPC	UPC	LPC	UPC	LPC	UPC	LPC	UPC	
1. Control (no spraying)	11 Sept.	18 Sept.	22 Sept.	25 Sept.	25 Sept.	30 Sept.	28 Sept.	5 Oct.	
2. MO 3.5%	11 Sept.	19 Sept.	22 Sept.	26 Sept.	25 Sept.	29 Sept.	28 Sept.	7 Oct.	
3. HC 0.17% + MO 3.5%	10 Sept.	17 Sept.	20 Sept.	24 Sept.	23 Sept.	27 Sept.	26 Sept.	4 Oct.	
4. HC 0.34% + MO 3.5%	10 Sept.	16 Sept.	20 Sept.	25 Sept.	23 Sept.	28 Sept.	26 Sept.	3 Oct.	
5. HC 0.51% + MO 3.5%	10 Sept.	14 Sept.	20 Sept.	24 Sept.	23 Sept.	27 Sept.	26 Sept.	3 Oct.	
6. HC 0.69% + MO 3.5%	10 Sept.	13 Sept.	20 Sept.	24 Sept.	23 Sept.	27 Sept.	26 Sept.	3 Oct.	
7. HC 0.86% + MO 3.5%	10 Sept.	13 Sept.	20 Sept.	22 Sept.	23 Sept.	26 Sept.	26 Sept.	3 Oct.	
Budbreak promoter ¹	Flowering subperiods and total duration (days)								
	F-F ₂			F ₂ -G			F-G		
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
	1. Control (no spraying)	2.3	4.3	3.3 ns	3.0	5.7	4.4 ns	5.3	10.0
2. MO 3.5%	3.0	3.7	3.4	3.0	7.3	5.2	6.0	11.0	8.5
3. HC 0.17% + MO 3.5%	3.0	3.0	3.0	3.0	6.3	4.7	6.0	9.3	7.7
4. HC 0.34% + MO 3.5%	3.3	3.0	3.2	2.7	5.0	3.9	6.0	8.0	7.0
5. HC 0.51% + MO 3.5%	3.3	3.0	3.2	2.7	6.0	4.4	6.0	9.0	7.5
6. HC 0.69% + MO 3.5%	3.7	3.0	3.4	2.7	6.7	4.7	6.3	9.7	8.0
7. HC 0.86% + MO 3.5%	3.3	3.3	3.3	2.7	7.0	4.0	6.0	10.3	8.1
Mean	3.1 ns	3.3		2.8 B	6.3 A		5.9 B	9.6 A	

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in treatments with chemicals. Letters refer to phenological stages described by Iuchi (2006). LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Means followed by different uppercase letters within lines statistically differ by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).



¹ Break-thru® 0.05% was added. Letters refer to phenological stages described by Iuchi (2006). ns: not significant by the F-test at 5% probability.

FIGURE 1. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on flowering subperiods and total duration of hail netted 'Baigent' apple trees. Data from the 2017/18 crop season. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Heterogeneous budburst and flowering and thus the indication of a vigor gradient between the lower and upper parts of the canopy could lead to lower axillary budbreak in the first in the 2017/18 crop season. On average, there were no differences between them (TABLE 2). Although this may be justified by the vigor uniformity of the evaluated one-year-old shoots, some notes (2) should be made. The higher 10 to 20% in the lower portion of HC 0.34% and 0.51% + MO 3.5% (L4, L5) plants, in relation to the upper one (1), and the uniformization induced by HC above 0.51% + MO 3.5% (L6, L7) (2) are highlighted in this regard. These results were opposite to the 2018/19 season ones, when the elevated chilling during dormancy expressively increased all percentages, enhancing plants' productive potential (Jackson, 2003).

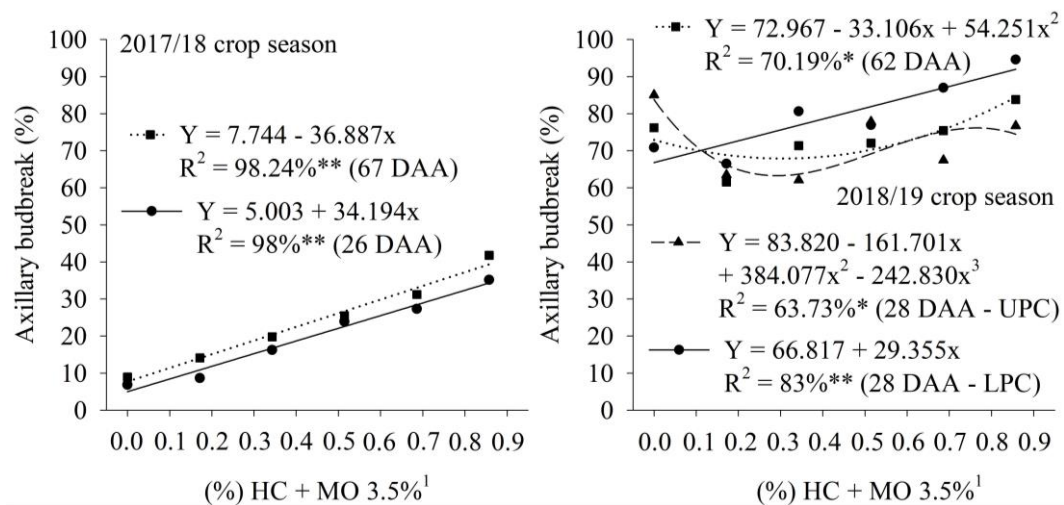
Cruz Júnior & Ayub (2002) and Roberto *et al.* (2006) studied increases of HC up to 1.5% and 1%, respectively, with MO and reported high budbreak in non-netted apple trees. The same response was seen at 26 and 67 DAA in the 2017/18 crop season, while at 28 and 62 DAA in 2018/19, with axillary budbreak responsive to budbreak promoter (TABLE 2). Three groups were formed in 2017/18. Using HC above 0.51% + MO 3.5% (L6, L7), the highest averages between both lower and upper portions of the canopy were provided. Plants submitted to these levels exhibited 27.3 to 41.8% at 26 and 67 DAA, respectively. There were no differences between HC 0.34% and 0.51% + MO 3.5% (L4, L5) though, which were superior to the rest. Thus, little or no effect was seen from HC 0.17% + MO 3.5% (L3). Despite applying HC, this level induced less than 14.5% and the lowest results at the end of

the evaluation time with control (no spraying) (L1) and MO 3.5% (L2).

TABLE 2. Axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹	Axillary budbreak (%)					
	2017/18 crop season					
	26 DAA			67 DAA		
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	3.6	5.3	4.4 c	11.6	12.8	12.2 c
2. MO 3.5%	7.7	5.9	6.8 c	8.2	9.7	8.9 c
3. HC 0.17% + MO 3.5%	7.0	10.2	8.6 c	14.0	14.3	14.1 c
4. HC 0.34% + MO 3.5%	20.4	12.1	16.2 b	24.9	14.7	19.8 b
5. HC 0.51% + MO 3.5%	34.7	13.1	23.9 b	41.0	10.0	25.5 b
6. HC 0.69% + MO 3.5%	27.7	26.9	27.3 a	31.3	31.1	31.2 a
7. HC 0.86% + MO 3.5%	34.4	35.8	35.1 a	38.8	44.9	41.8 a
Mean	19.4 ns	15.6		24.2 ns	19.6	
Budbreak promoter ¹	2018/19 crop season					
	28 DAA			62 DAA		
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	44.2	40.6	42.4 b	45.3	49.1	47.2 c
2. MO 3.5%	70.9	85.1	78.0 a	68.4	84.0	76.2 a
3. HC 0.17% + MO 3.5%	66.5	63.5	65.0 a	60.3	62.7	61.5 b
4. HC 0.34% + MO 3.5%	80.6	62.1	71.4 a	76.1	66.6	71.4 a
5. HC 0.51% + MO 3.5%	76.9	77.8	77.4 a	73.0	71.2	72.1 a
6. HC 0.69% + MO 3.5%	87.0	67.4	77.2 a	83.2	67.6	75.4 a
7. HC 0.86% + MO 3.5%	94.6	76.7	85.7 a	90.8	76.8	83.8 a
Mean	74.4 ns	67.6		71.0 ns	68.3	

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in treatments with chemicals. DAA: days after the application. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Means followed by different lowercase letters within columns statistically differ by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).



¹ Break-thru[®] 0.05% was added. DAA: days after the application. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. **, *: significant by the F-test at 1% and 5% probability, respectively.

FIGURE 2. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on axillary budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

The efficacy of budbreak promoters is highly related to genotype, plant growth, concentration of the compounds and application timing, i.e., phenology and chilling during

winter (Petri *et al.*, 2006; Hawerroth, 2018). Interestingly, no phytotoxicity was caused by the HC applications in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons, which may be due to buds' phenological stages at the application dates (Sagredo *et al.*, 2005). The budbreak promoters maximized axillary budbreak in 2018/19 (TABLE 2). With HC 0.86% + MO 3.5% (L7), nearly 86% and 84% were achieved between the lower and upper parts of the canopy at 28 and 62 DAA, respectively. At 28 DAA, there were no differences among applications, and a similar response occurred at 62 DAA. However, applying HC 0.17% + MO 3.5% (L3) induced the lowest increase.

There are no reports of axillary budbreak higher than 80% resulting from HC + MO application in apple trees in southern Brazil, not even in higher altitude areas (Iuchi *et al.*, 2002; Pasa *et al.*, 2018a; 2018b). Increasing HC with MO 3.5%, higher percentages would be obtained with HC above 0.86% in the 2017/18 crop season (FIGURE 2). This was also achieved in the lower canopy in 2018/19, at 28 DAA - greater than 90%. In contrast, effects have shown to be too much variable in the upper canopy, decreasing from 0% and increasing from 0.34%. Increases up to 83.8% with HC 0.86% at 62 DAA indicate that even with elevated chilling during dormancy, high HC can still intensify axillary budbreak in 'Baigent' apple trees under hail net. This finding is the opposite of that shown by Petri *et al.* (2006) and Hawerroth *et al.* (2010), with non-netted cultivars.

About 55% and 75% of terminal budbreak were induced as averages between both lower and upper portions of the canopy by control (no spraying) (L1) and MO 3.5% (L2), respectively, at 26 and 67 DAA in the 2017/18 crop season (TABLE 3). These results were the lowest, increasing to greater than 70% by HC 0.17% (L3) and concentrations above + MO 3.5% (L4, L5, L6, L7) at 26 DAA. With HC 0.51% (L5) and concentrations above + MO 3.5% (L6, L7), such percentages were nearly 10 to 15% higher, despite no significant differences. Similar responses were observed at 67 DAA, but HC 0.17% + MO 3.5% (L3) also provided the lowest effects. The average of 76% in the lower part was significantly superior to the 64.1% in the upper one at 26 DAA. However, initial disparities were compensated, considering no differences at 67 DAA.

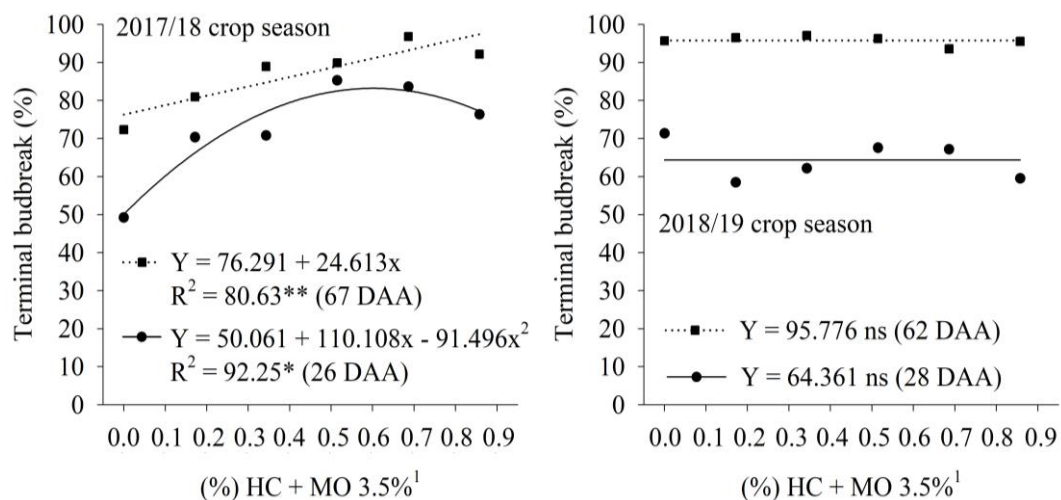
Terminal buds have lower chilling requirement than axillaries (Naor *et al.*, 2003) and percentages higher than 60% commonly occur, even in years of low chilling during dormancy in southern Brazil. Therefore, the lack of influences of budbreak promoters and canopy portion on terminal budbreak in high chilling seasons such as 2018/19 may be explained - especially at 62 DAA (TABLE 3). Increasing HC + MO 3.5%, this variable was intensified only up to 0.6% (point of maxima) at 26 DAA in 2017/18, starting to decrease from this point (FIGURE 3). At 67 DAA, higher percentages would possibly be obtained

with HC above 0.86%. Hawerroth *et al.* (2009) also found linear (+) and quadratic responses in apple trees, varying according to the non-netted cultivar.

TABLE 3. Terminal budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹	Terminal budbreak (%)					
	2017/18 crop season					
	26 DAA			67 DAA		
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	51.3	57.5	54.4 b	71.7	76.4	74.1 b
2. MO 3.5%	59.5	39.0	49.2 b	83.0	61.7	72.3 b
3. HC 0.17% + MO 3.5%	78.9	61.7	70.3 a	83.8	78.1	80.9 b
4. HC 0.34% + MO 3.5%	79.6	62.1	70.8 a	95.2	82.7	88.9 a
5. HC 0.51% + MO 3.5%	88.0	82.6	85.3 a	88.2	91.6	89.9 a
6. HC 0.69% + MO 3.5%	93.8	73.5	83.6 a	98.5	95.1	96.8 a
7. HC 0.86% + MO 3.5%	80.7	72.0	76.3 a	92.6	91.8	92.2 a
Mean	76.0 A	64.1 B		87.6 ns	82.5	
Budbreak promoter ¹	2018/19 crop season					
	28 DAA			62 DAA		
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	68.4	54.6	61.5 ns	96.8	91.4	94.1 ns
2. MO 3.5%	71.6	71.0	71.3	95.4	96.0	95.7
3. HC 0.17% + MO 3.5%	55.7	61.2	58.5	95.4	97.6	96.5
4. HC 0.34% + MO 3.5%	58.9	65.4	62.2	97.5	96.6	97.1
5. HC 0.51% + MO 3.5%	61.8	73.3	67.6	95.3	97.3	96.3
6. HC 0.69% + MO 3.5%	64.4	70.0	67.2	97.5	89.6	93.6
7. HC 0.86% + MO 3.5%	61.2	57.8	59.5	97.2	93.9	95.5
Mean	63.1 ns	64.8		96.5 ns	94.6	

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in treatments with chemicals. DAA: days after the application. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Means followed by different uppercase letters within lines and lowercase letters within columns statistically differ by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).



¹ Break-thru[®] 0.05% was added. DAA: days after the application. ns: not significant by the F-test at 5% probability. **, *: significant by the F-test at 1% and 5% probability, respectively.

FIGURE 3. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on terminal budbreak of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Increased HIAB is not desired, according to Hawerroth *et al.* (2009). The higher the

HIAB, the lower the homogenization of axillary budbreak and subsequent cultural practices' efficiency. Since HIAB is directly related to axillary budbreak, similar responses were found for both variables at 26 DAA in the 2017/18 crop season (TABLE 4). Budbreak promoter also affected HIAB in 2018/19. Using HC above 0.17% + MO 3.5% (L4, L5, L6, L7), the lowest averages between the lower and upper parts of the canopy were determined in this study. These levels induced between 95 to 123% in 2017/18, but less than 40.5% in 2018/19 when they did not contrast from MO 3.5% (L2). In the same season, HIAB was up to 15.7% lower in plants treated with HC 0.51% (L5) and concentrations above + MO 3.5% (L6, L7), which is noteworthy although no significant differences were recorded.

Considering the 2018/19 crop season results, similar percentages of HIAB were reported in non-netted 'Maxi Gala' (Pasa *et al.*, 2018b) and 'Fuji Suprema' (Pasa *et al.*, 2018a) apple trees in a higher altitude area. Thus, the importance of high chilling during dormancy to homogenize axillary budbreak was highlighted in the present study. Increasing HC + MO 3.5%, HIAB was not affected in 2017/18, but less than 15% would be achieved in the lower portion of the canopy with HC above 0.86% in 2018/19 (FIGURE 4). On the other hand, the effects were variable in the upper one, with HC 0% inducing one of the lowest results and presenting a similar response to axillary budbreak at 28 DAA.

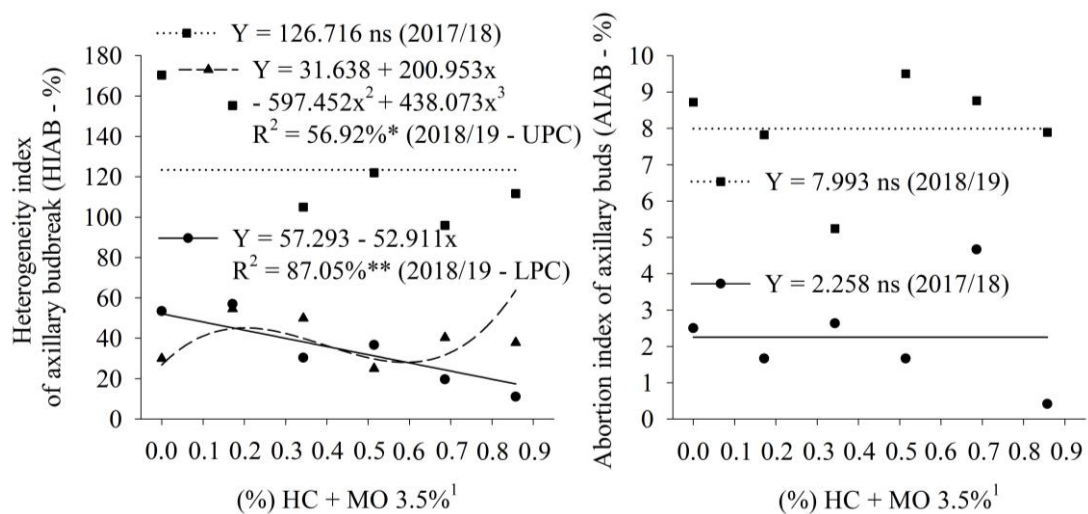
A common observation in southern Brazil is the abortion of axillary buds in medium to high-chill apple trees, occurring in a post-budbreak moment and at variable intensity. There are no reports of such losses, which can be quantified by means of the AIAB. According to Faust (2000), the onset of leaf and fruit development depends on accumulated reserves during the previous season. Through increases of budbreak with HC above 0.51% + MO 3.5% (L6, L7) in the 2017/18 crop season, it was expected that AIAB would also be intensified. Even though the absence of abortion in control (no spraying) (L1) plants, there were no significant effects of budbreak promoter and increases of HC + MO 3.5% (TABLE 4 and FIGURE 4). This result was also observed in 2018/19, but that level induced 7.9% between both lower and upper parts of the canopy.

Despite the similarity between the canopy parts in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons, the consequences for AIAB of high chilling during dormancy are noteworthy. While this variable was 0.6% and 3.3% on average in the lower and upper portions, respectively, in 2017/18, both presented about 8% in 2018/19 (TABLE 4). Such outcomes are justified by the high axillary budbreak and competition for previously formed reserves.

TABLE 4. Heterogeneity index of axillary budbreak and abortion index of axillary buds of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹	Heterogeneity index of axillary budbreak (HIAB - %) ²			Abortion index of axillary buds (AIAB - %) ³		
	2017/18 crop season					
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	210.3	123.9	167.1 a	0.0	0.0	0.0 ns
2. MO 3.5%	188.8	152.0	170.4 a	1.7	3.3	2.5
3. HC 0.17% + MO 3.5%	158.7	151.9	155.3 a	0.0	3.3	1.7
4. HC 0.34% + MO 3.5%	97.0	113.0	105.0 b	0.0	5.3	2.6
5. HC 0.51% + MO 3.5%	99.3	144.7	122.0 b	0.0	3.3	1.7
6. HC 0.69% + MO 3.5%	96.5	95.3	95.9 b	2.7	6.7	4.7
7. HC 0.86% + MO 3.5%	111.7	90.5	101.1 b	0.0	0.8	0.4
Mean	134.9 A	124.5 B		0.6 ns	3.3	
Budbreak promoter ¹	2018/19 crop season					
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
	1. Control (no spraying)	71.6	64.9	68.3 a	6.7	9.1
2. MO 3.5%	53.4	29.9	41.7 b	11.8	5.6	8.7
3. HC 0.17% + MO 3.5%	56.9	54.5	55.7 a	8.2	7.4	7.8
4. HC 0.34% + MO 3.5%	30.3	49.9	40.1 b	7.6	2.8	5.2
5. HC 0.51% + MO 3.5%	36.6	25.0	30.8 b	9.2	9.8	9.5
6. HC 0.69% + MO 3.5%	19.6	40.3	30.0 b	7.5	10.1	8.8
7. HC 0.86% + MO 3.5%	11.0	37.8	24.4 b	6.8	9.0	7.9
Mean	39.9 ns	43.2		8.3 ns	7.7	

¹ Break-thru® 0.05% was added in treatments with chemicals. ² [(std/average axillary budbreak)*100] at 26 and 28 days after the application (DAA) in 2017/18 and 2018/19, respectively. ³ {average [(burst axillary buds (a) 1st evaluation - (b) 2nd evaluation)*100/b]}, if a > b, at 67 and 62 DAA in 2017/18 and 2018/19, respectively. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test (p>0.05). Means followed by different uppercase letters within lines and lowercase letters within columns statistically differ by Scott-Knott's test (p≤0.05).



¹ Break-thru® 0.05% was added. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test at 5% probability. **, *: significant by the F-test at 1% and 5% probability, respectively.

FIGURE 4. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on heterogeneity index of axillary budbreak and abortion index of axillary buds of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Apple trees trained to a central leader system and in a high-density planting receive

increased PAR in their upper part of the canopy in comparison to the others, particularly when they are covered with hail nets (Bosco *et al.*, 2017). This contributes to the development of higher quality floral buds, explaining the common highest number of clusters with fruit per plant, mean number of fruits per cluster, and number of fruits per plant in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons (TABLE 5). A concentrated flowering period in the lower portion may also have contributed to its lower values given increases in carbohydrate competition and reductions in sucrose importation by floral buds in 2017/18, which is intensified in mild winter climates (Marafon *et al.*, 2011).

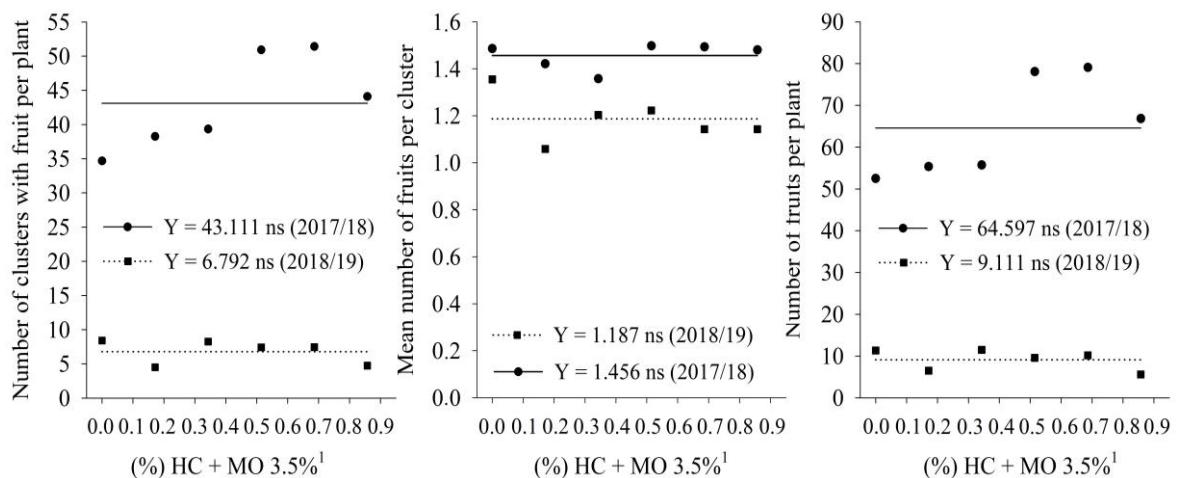
Little effect of budbreak promoter on fructification was noted in the 2017/18 crop season, and the only significant influence was found on number of fruits per plant (TABLE 5). In contrast, no attributes were affected in 2018/19, when those were expressively reduced. Increases in budbreak can reduce fructification because of nutritional competition between vegetative and reproductive sinks (Erez *et al.*, 2000). Indeed, the highest average was 84.6 fruits per plant and induced by control (no spraying) (L1) in 2017/18. Though, this level did not differ from HC 0.51% (L5) and concentrations above + MO 3.5% (L6, L7), which provided up to 78.1 fruits. Such similarities may be due to the high chilling accumulation during the winter of 2016, increasing axillary budbreak of that year and the number of reproductive structures and relative contribution of terminal buds in the fruiting of 2017/18. Therefore, these results cannot be considered consequences of a typical response, as they probably would not have happened without the scenario highlighted above.

Low fructification attributes, as the maximum of 14.8 clusters with fruit per plant adding both lower and upper portions of the canopy in HC 0.51% + MO 3.5% (L5), were possibly related to some conditions in the 2018/19 crop season (TABLE 5). For instance, the high budbreak, increasing number of sinks, and environmental factors during and near the flowering period. Influences of the weather on apple tree fruit set were well reported by Petri *et al.* (2017). In 2018, heavy rains and high amounts may have impaired the activity of pollinating insects, and the commonly associated cloudiness probably reduced fruiting by diminishing photosynthetic activity; the rainfall amounts are exhibited in APPENDIX 1. Furthermore, even though different plants were used in both seasons, an overall high crop load in 2017/18 can have helped deplete reserves, causing biennial bearing (Castro *et al.*, 2015). Thus, the effects of budbreak promoters were likely masked by these fruiting problems and orchard conditions.

TABLE 5. Number of clusters with fruit per plant, mean number of fruits per cluster and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the lower and upper canopy in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

Budbreak promoter ¹	Number of clusters with fruit per plant ²			Mean number of fruits per cluster ²			Number of fruits per plant ²		
	2017/18 crop season								
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
1. Control (no spraying)	48.5	60.2	54.3 ns	1.39	1.72	1.56 ns	66.5	102.7	84.6 a
2. MO 3.5%	34.5	34.8	34.7	1.27	1.54	1.41	45.5	59.5	52.5 b
3. HC 0.17% + MO 3.5%	32.3	44.2	38.3	1.24	1.82	1.53	42.2	68.5	55.3 b
4. HC 0.34% + MO 3.5%	32.0	46.7	39.3	1.31	1.59	1.45	38.8	72.7	55.8 b
5. HC 0.51% + MO 3.5%	40.2	61.7	50.9	1.30	1.69	1.49	52.2	104.0	78.1 a
6. HC 0.69% + MO 3.5%	39.3	63.5	51.4	1.34	1.58	1.46	53.8	104.3	79.1 a
7. HC 0.86% + MO 3.5%	39.8	48.3	44.1	1.30	1.65	1.48	52.7	81.0	66.8 a
Mean	38.1 B	51.3 A		1.31 B	1.66 A		50.2 B	84.7 A	
Budbreak promoter ¹	2018/19 crop season								
	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean	LPC	UPC	Mean
	1. Control (no spraying)	4.0	3.2	3.6 ns	1.21	1.40	1.30 ns	4.8	5.0
2. MO 3.5%	7.5	9.3	8.4	1.21	1.50	1.36	9.0	13.7	11.3
3. HC 0.17% + MO 3.5%	3.3	5.7	4.5	0.96	1.16	1.06	4.7	8.3	6.5
4. HC 0.34% + MO 3.5%	6.2	10.3	8.3	1.09	1.32	1.20	7.3	15.7	11.5
5. HC 0.51% + MO 3.5%	6.5	8.3	7.4	1.14	1.30	1.22	7.7	11.5	9.6
6. HC 0.69% + MO 3.5%	6.7	8.2	7.4	0.98	1.31	1.14	7.8	12.5	10.2
7. HC 0.86% + MO 3.5%	5.3	4.2	4.8	0.93	1.35	1.14	6.0	5.2	5.6
Mean	5.6 ns	7.0		1.07 B	1.34 A		6.8 ns	10.3	

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in treatments with chemicals. ² Evaluated at 102 and 77 days after the application in 2017/18 and 2018/19, respectively. LPC, UPC: lower and upper portions of the canopy, respectively. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$). Means followed by different uppercase letters within lines and lowercase letters within columns statistically differ by Scott-Knott's test ($p \leq 0.05$).



¹ Break-thru[®] 0.05% was added. ns: not significant by the F-test at 5% probability.

FIGURE 5. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on number of clusters with fruit per plant, mean number of fruits per cluster and number of fruits per plant of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

In general, the budbreak promoters anticipated flowering and increased fruit growth period until harvest in 2018. However, mass of fruits per plant and average fresh fruit mass

were not affected in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons (TABLE 6 and FIGURE 6). Fruit production responses vary over the years, and the effects of the compounds depend on meteorological factors during the growth period (Petri *et al.*, 2006; Hawerroth *et al.*, 2009). No significant influences have been found under adequate conditions, explaining the results achieved.

All treatments provided 17.1 kg in the 2017/18 crop season and 3 kg per plant in 2018/19, quite different averages (TABLE 6). Totalizing 19 tons per hectare in the latter, economic viability in southern Brazil was not reached, and this can certainly be taken as a consequence of the low fructification attributes. Then, one of the most positive effects of budbreak promoters is the increase in the number of reproductive structures for the coming years (Iuchi *et al.*, 2002; Sagredo *et al.*, 2005). Specific comparisons between both seasons could not be performed because of some contrasting conditions, e.g., the use of different plants to discern the impacts of the treatments without residual effects.

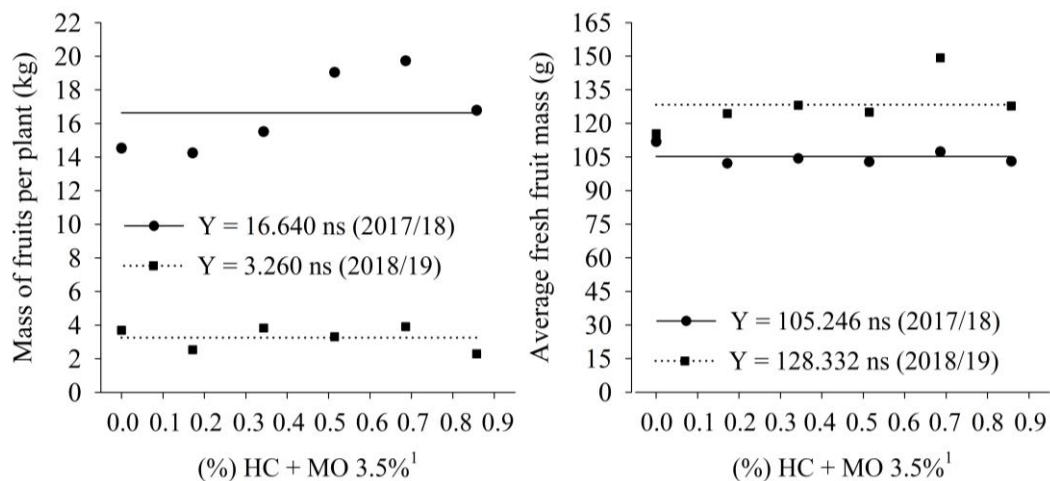
The budbreak promoters did not alter fruit percentage in any size classes evaluated in the 2017/18 and 2018/19 crop seasons (TABLE 6 and FIGURE 7). This response was related, at least in part, to the results for average fresh fruit mass. Fruit size is mainly determined by carbon competition among developing fruits, which leads to a common negative correlation between their masses and crop load (Robinson, 2011; Castro *et al.*, 2015). Despite the highest number in control (no spraying) (L1) and HC above 0.34% + MO 3.5% (L5, L6, L7) plants in 2017/18, there were no differences in comparison to the other treatments (TABLE 5).

Hawerroth *et al.* (2010) obtained higher fruit masses of non-netted apple trees by increasing HC up to 0.59% with MO 3.2%, relative to not using chemicals. Those applications increased fruit mass by reducing crop load, which may clarify the absence of such or similar effects in this study. The highest number of fruits was categorized into the 55 to 65 mm class, the second lowest, considering 52.8% and 46.1% on average of all treatments in the 2017/18 and 2018/19 seasons, respectively (TABLE 6). Following the same line of interpretation, the second predominant class was 65 to 70 mm, i.e., both intermediaries. However, the low number of fruits harvested in 2018/19 makes it challenging to discuss yield and quality attributes because of the inherent inability to evaluate larger samples.

TABLE 6. Mass of fruits per plant, average fresh fruit mass and fruit size categorization of hail netted ‘Baigent’ apple trees submitted to concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) for budbreak induction. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

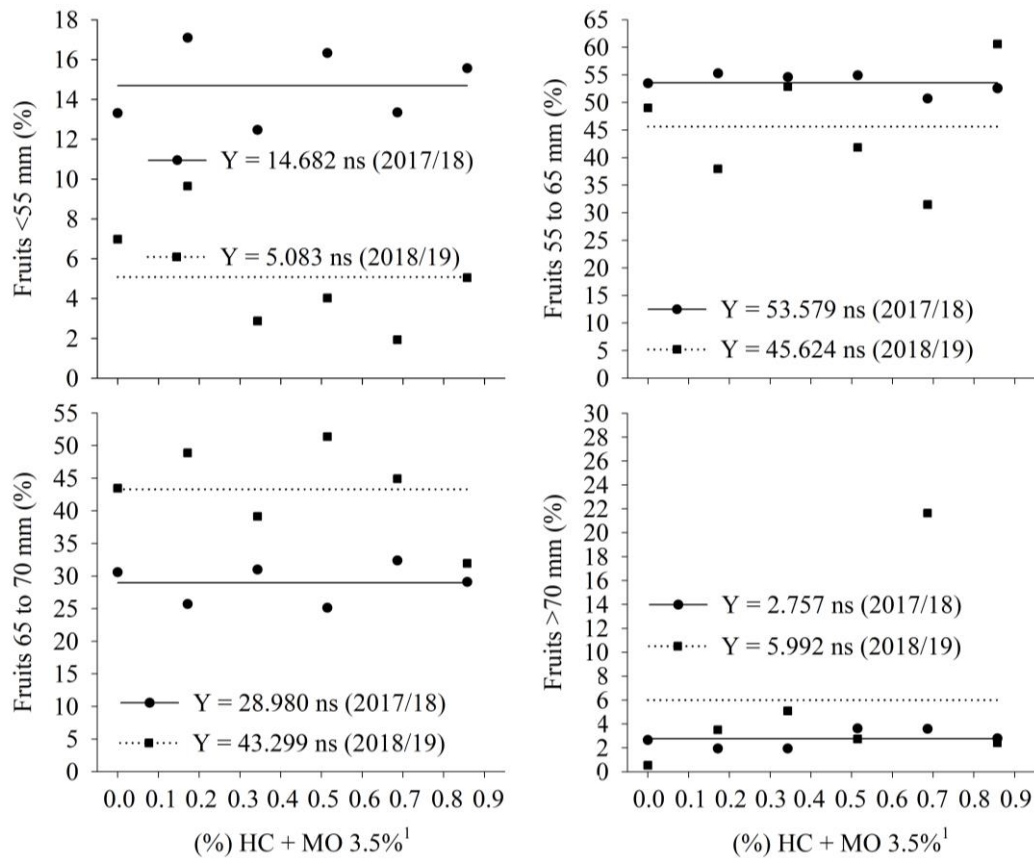
Budbreak promoter ¹	Mass of fruits per plant (kg) ²	Average fresh fruit mass (g) ²	Fruits (%) ²			
			<55 mm	55 to 65 mm	65 to 70 mm	>70 mm
2017/18 crop season						
1. Control (no spraying)	20.2 ns	105.0 ns	16.1 ns	48.0 ns	32.6 ns	3.3 ns
2. MO 3.5%	14.5	111.7	13.3	53.5	30.6	2.7
3. HC 0.17% + MO 3.5%	14.2	102.2	17.1	55.3	25.7	1.9
4. HC 0.34% + MO 3.5%	15.5	104.4	12.5	54.6	31.0	2.0
5. HC 0.51% + MO 3.5%	19.0	102.8	16.3	54.9	25.1	3.6
6. HC 0.69% + MO 3.5%	19.7	107.3	13.3	50.7	32.4	3.6
7. HC 0.86% + MO 3.5%	16.8	103.1	15.6	52.6	29.1	2.8
Mean	17.1	105.2	14.9	52.8	29.5	2.8
2018/19 crop season						
1. Control (no spraying)	1.4 ns	127.2 ns	4.0 ns	49.0 ns	43.4 ns	3.7 ns
2. MO 3.5%	3.7	115.4	7.0	49.0	43.5	0.5
3. HC 0.17% + MO 3.5%	2.5	124.4	9.6	38.0	48.9	3.5
4. HC 0.34% + MO 3.5%	3.8	128.1	2.9	52.9	39.1	5.1
5. HC 0.51% + MO 3.5%	3.3	125.0	4.0	41.8	51.4	2.7
6. HC 0.69% + MO 3.5%	3.9	149.3	1.9	31.5	44.9	21.6
7. HC 0.86% + MO 3.5%	2.3	127.8	5.0	60.6	32.0	2.4
Mean	3.0	128.2	4.9	46.1	43.3	5.7

¹ Break-thru[®] 0.05% was added in treatments with chemicals. ² Evaluated at commercial harvest time, on 02/06/2018 and 03/08/2019 in 2017/18 and 2018/19, respectively. ns: not significant by the F-test ($p > 0.05$).



¹ Break-thru[®] 0.05% was added. ns: not significant by the F-test at 5% probability.

FIGURE 6. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on mass of fruits per plant and average fresh fruit mass of hail netted ‘Baigent’ apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.



¹ Break-thru[®] 0.05% was added. ns: not significant by the F-test at 5% probability.

FIGURE 7. Effect of concentrations of hydrogen cyanamide (HC) with mineral oil (MO) on fruit size categorization of hail netted 'Baigent' apple trees. Data from the 2017/18 and 2018/19 crop seasons. Vacaria, RS, Brazil, 2019.

4.4 Conclusions

a) All flowering dates were anticipated by hydrogen cyanamide 0.17% and concentrations above + mineral oil 3.5%, especially in the upper portion of the canopy with the first one above 0.34%.

b) Axillary budbreak is intensified by hydrogen cyanamide above 0.17% + mineral oil 3.5%, particularly with lower chilling accumulation during winter when the highest increases are induced by the first one above 0.51%. However, similar percentages occur in the lower and upper parts of the canopy with the methodology adopted.

c) The effects of concentrations of hydrogen cyanamide + mineral oil 3.5% on number of clusters with fruit and fruits per plant, and mean number of fruits per cluster are probably masked, requiring additional research. Similarly, mass of fruits per plant, average fresh fruit mass, and fruit size were not affected. The upper portion of the canopy exhibits higher fructification than the lower one.

In the presence of a vigor gradient along the canopy, further studies involving the use of budbreak promoters are needed, especially in a higher number of seasons. Overall, the use of hydrogen cyanamide above 0.34% + mineral oil 3.5% is an alternative to the first

one 0.34% + mineral oil 3.5% (standard) for inducing budbreak of ‘Baigent’ apple trees under hail net in these conditions of southern Brazil.

4.5 Literature Cited

- AMARANTE, C. V. T. *et al.* Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras ‘Royal Gala’ cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 925-931, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2007000700003>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- AYUB, R. A.; BLUM, J.; MALGARIM, M. B. Época e princípios ativos para a quebra de dormência de caquizeiro cv. Fuyu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 644-649, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452009000300004>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- BASTÍAS, R. M.; MANFRINI, L.; GRAPPADELLI, L. C. Exploring the potential use of photoselective nets for fruit growth regulation in apple. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 72, n. 2, p. 224-231, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392012000200010>. Acesso em: 27 jan. 2019.
- BOSCO, L. C. *et al.* Microclimate alterations caused by agricultural hail net coverage and effects on apple tree yield in subtropical climate of Southern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 1, p. 181-192, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016459>. Acesso em: 11 nov. 2018.
- CASTRO, D. C. *et al.* Crop loading studies on ‘Caricia’ and ‘Eva’ apples grown in a mild winter area. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 3, p. 237-244, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0267>. Acesso em: 27 fev. 2019.
- CESARACCIO, C. *et al.* Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 126, n. 1/2, p. 1-13, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.03.002>. Acesso em: 19 fev. 2019.
- CRUZ JÚNIOR, A. O.; AYUB, R. A. Quebra de dormência de gemas de macieira cv. Eva tratadas com cianamida hidrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 576-578, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000200061>. Acesso em: 22 fev. 2019.
- EBERT, A. *et al.* First experiences with chill unit models in southern Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 184, p. 89-96, 1986. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1986.184.8>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- 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, 2000. cap. 2, p. 17-48. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2. Acesso em: 10 dez. 2018.
- EREZ, A.; YABLOWITZ, Z.; KORCINSKI, R. Temperature and chemical effects on competing sinks in peach bud break. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 514, p. 51-58,

2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2000.514.5>. Acesso em: 9 jan. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **[Base de dados FAOSTAT]**. Rome: FAO, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 6 jan. 2019.

FAUST, M. Physiological considerations for growing temperate-zone fruit crops in warm climates. In: EREZ, A. (Ed.). **Temperate fruit crops in warm climates**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. cap. 7, p. 137-156. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_7. Acesso em: 8 nov. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>. Acesso em: 3 fev. 2019.

FIORAVANÇO, J. C.; CZERMAINSKI, A. B. C.; OLIVEIRA, P. R. D. **Avaliação da cultivar de macieira Baigent (Brookfield®) em Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa - CNPUV, 2013. 7 p. (Comunicado Técnico, 140).

HAWERROTH, F. J. Manejo da indução da brotação de gemas na cultura da macieira. **Jornal da Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã**, Vacaria, v. 291, p. 6-7, ago. 2018.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. Crescimento vegetativo de macieiras ‘Fuji Suprema’ sob influência da época de aplicação de proexadione cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 373-380, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-375/13>. Acesso em: 9 nov. 2018.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Cianamida hidrogenada, óleos mineral e vegetal na brotação de gemas e produção de macieiras ‘Royal Gala’. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1145-1154, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4sup1p1145>. Acesso em: 23 fev. 2019.

HAWERROTH, F. J. *et al.* Fenologia, brotação de gemas e produção de frutos de macieira em resposta à aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 961-971, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052009000400016>. Acesso em: 12 jan. 2019.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Base de Dados. [2019]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 6 jan. 2019.

IGLESIAS, I.; ALEGRE, S. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of ‘Mondial Gala’ apples. **Journal of Applied Horticulture**, Lucknow, v. 8, n. 2, p. 91-100, 2006.

IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 3, p. 59-102.

IUCHI, V. L. *et al.* Quebra da dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh) em São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 168-174,

2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000100037>. Acesso em: 12 jan. 2019.

JACKSON, J. E. The shoot system. *In*: JACKSON, J. E. (Ed.). **Biology of apples and pears**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. cap. 6, p. 157-211.

LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; MONDARDO, M. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 714-716, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452002000300037>. Acesso em: 10 nov. 2018.

LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; COUTO, M. Dormência das fruteiras de clima temperado. *In*: PIO, R. (Ed.). **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões tropicais e subtropicais**. Lavras: UFLA, 2014. cap. 2, p. 57-79.

MARAFON, A. C. *et al.* Chilling privation during dormancy period and carbohydrate mobilization in Japanese pear trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 4, p. 462-468, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162011000400011>. Acesso em: 27 fev. 2019.

MELKE, A. The physiology of chilling temperature requirements for dormancy release and bud-break in temperate fruit trees grown at mild winter tropical climate. **Journal of Plant Studies**, Toronto, v. 4, n. 2, p. 110-156, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5539/jps.v4n2p110>. Acesso em: 17 dez. 2018.

MIDDLETON, S.; MCWATERS, A. Hail netting of apple orchards: Australian experience. **Compact Fruit Tree**, Middleburg, v. 35, n. 2, p. 51-55, 2002.

MILIVOJEVIC, J. *et al.* Does microclimate under grey hail protection net affect biological and nutritional properties of 'Duke' highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.)? **Fruits**, Paris, v. 71, n. 3, p. 161-170, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2016004>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MUPAMBI, G. *et al.* The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 236, p. 60-72, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>. Acesso em: 9 nov. 2018.

NAOR, A. *et al.* Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, VA, v. 128, n. 5, p. 636-641, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.128.5.0636>. Acesso em: 15 dez. 2018.

NAVA, G. A. *et al.* Fenologia e produção de pessegueiros 'granada' com aplicação de cianamida hidrogenada e boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 297-304, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452009000200003>. Acesso em: 14 jan. 2019.

PASA, M. S. *et al.* Performance of 'Fuji Suprema' apple trees treated with budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, [art.] e-325, 2018a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018325>. Acesso em: 8 nov. 2018.

- PASA, M. S. *et al.* Performance of 'Maxi Gala' apple trees as affected by budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 5, [art.] e-537, 2018b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018537>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree budbreak. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 662, p. 53-60, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.662.4>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução da brotação da macieira. *In*: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 8, p. 261-297.
- PETRI, J. L.; SEZERINO, A. A.; FAGUNDES, E. Frutificação efetiva da macieira. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 15., 2017, Fraiburgo. **Anais [...]**. Fraiburgo: Epagri, 2017. p. 12-16.
- PETRI, J. L. *et al.* Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 48-56, 2011. Número especial. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452011000500007>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- ROBERTO, S. R.; KAGUEYAMA, M. H.; 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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452006000100035>. Acesso em: 22 fev. 2019.
- ROBINSON, T. L. High density pear production with *Pyrus communis* rootstocks. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 909, p. 259-269, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2011.909.28>. Acesso em: 12 fev. 2019.
- SAGREDO, K. X.; THERON, K. I.; COOK, N. C. Effect of mineral oil and hydrogen cyanamide concentration on dormancy breaking in 'Golden Delicious' apple trees. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 22, n. 4, p. 251-256, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2005.10634716>. Acesso em: 23 fev. 2019.
- SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 56, n. 3, p. 211-218, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-008-9302-7>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- WIT, M.; GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Light-mediated hormonal regulation of plant growth and development. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 67, n. 1, p. 513-537, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112252>. Acesso em: 12 nov. 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

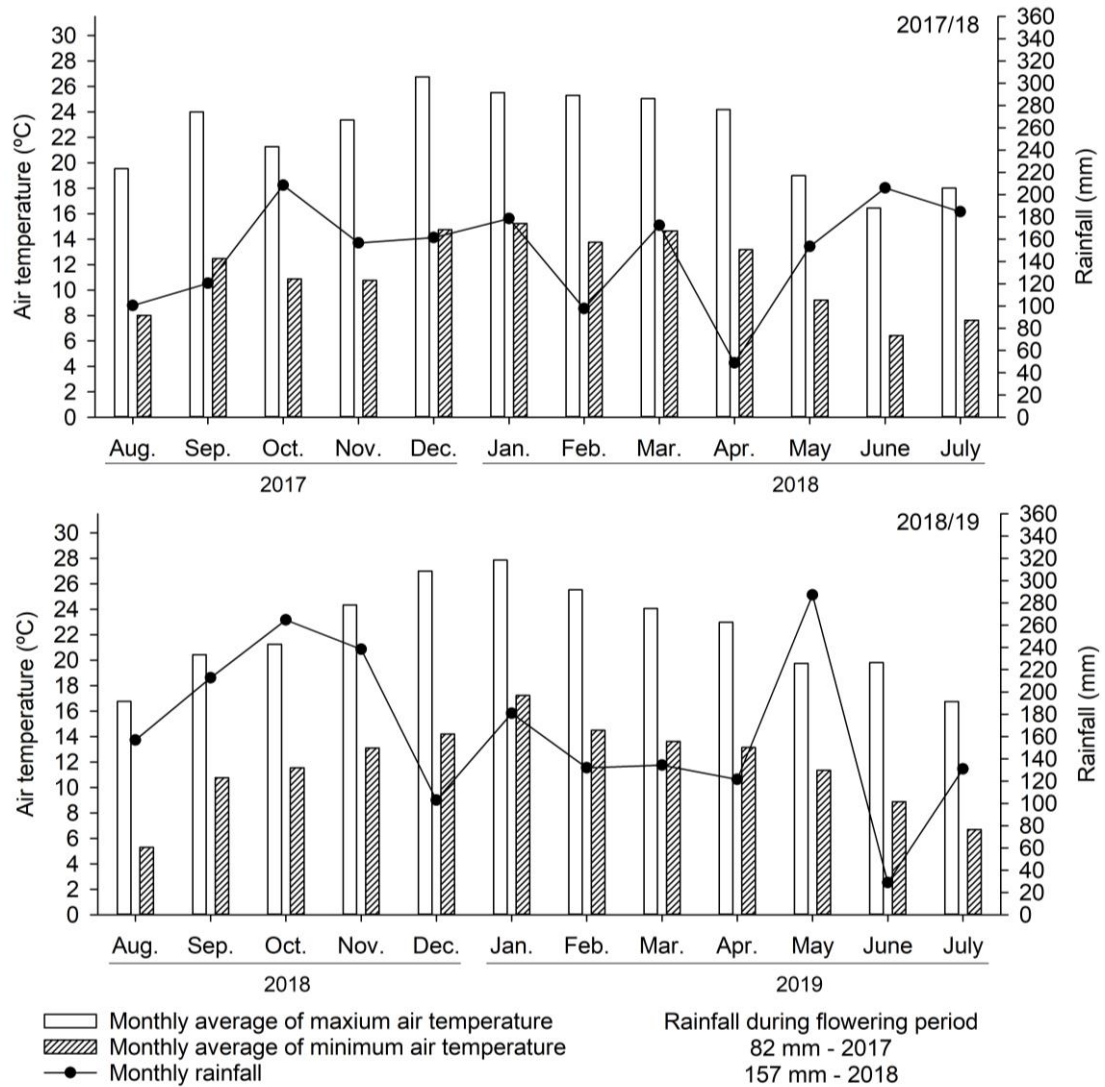
A crescente expansão da utilização de telas antigranizo para a proteção de macieiras no Sul do Brasil traz consigo a necessidade de adequação de determinadas práticas de manejo. Por exemplo, a tendência de aumento no comprimento de ramos reduz a eficiência do uso padrão de indutores de brotação, numa única aplicação e nas concentrações atualmente preconizadas. Isso é sobretudo importante ao passo que um gradiente de vigor ao longo da copa, exibindo a porção superior a maior proporção de estruturas verticalizadas, tem sido observado em certas situações, seja sob tela ou não. Logo, o estudo de potenciais alternativas na prática é fundamental para regularizar e maximizar os índices produtivos.

A estratificação da copa é uma interessante ferramenta metodológica, pois pode elucidar contrastes na magnitude de importantes variáveis. Os indutores de brotação não apresentaram efeito diferenciado para fenologia, brotação, frutificação e produção de frutos conforme a porção. Tal resposta foi evidenciada sob dois panoramas, de indicação de gradiente de vigor, junto a condições pouco favoráveis de acúmulo de frio (a) e de maior disponibilidade de baixas temperaturas hibernais (b). Porém, é destacada a necessidade de intensificação de pesquisas dentro do primeiro ou similares, principalmente em um número maior de safras, utilizando os mesmos ou diferentes manejos de indutores de brotação.

A aplicação sequencial de Erger[®] 1,5% + óleo mineral 3,5% após o mesmo tratamento, associando distintos modos de ação nas duas pulverizações, pode ser alternativa ao uso único de Erger[®] com óleo mineral ou Calcinit[®] para otimizar a indução à brotação de macieiras 'Baigent' sob tela antigranizo, nas condições de estudo no Sul do Brasil. Idem, o ajuste das concentrações de cianamida hidrogenada para níveis superiores a 0,34% pode ser alternativa à 0,34% - padrão, associadas a óleo mineral 3,5%.

A resposta das plantas ao uso de indutores de brotação é variável e dependente, conforme elucidado na revisão bibliográfica, de aspectos relacionados aos compostos utilizados e respectivas aplicações, às peculiaridades a nível meteorológico e de planta. Assim, a integração desses fatores apresenta importância ímpar ao planejamento das devidas recomendações de maneira que sejam alcançados retornos satisfatórios no cultivo de macieiras sob o sistema de telas antigranizo nas regiões produtoras do Sul do Brasil.

6 APÊNDICES



APPENDIX 1. Monthly averages of maximum, minimum air temperatures and rainfall in Vacaria, Rio Grande do Sul State, Brazil, during Aug. to Dec. in 2017, Jan. to Dec. in 2018 and Jan. to July in 2019. Cumulative rainfall during flowering period. Data source: Automatic Surface Weather Station A880 of INMET, 12.5 km distant and at a similar altitude as the study area. Vacaria, RS, Brazil, 2019.