



RENATA ELISA VIOL

**DORMANCY BREAKING OF PEACH AND PLUM TREES IN
SUBTROPICAL REGION**

**LAVRAS – MG
2021**

RENATA ELISA VIOL

**DORMANCY BREAKING OF PEACH AND PLUM TREES IN SUBTROPICAL
REGION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Viol, Renata Elisa.

Dormancy breaking of peach and plum trees in subtropical
region / Renata Elisa Viol. - 2021.

80 p. : il.

Orientador(a): Rafael Pio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Dormex[®]. 2. Antecipação da produção. 3. Cultivo nos
trópicos. I. Pio, Rafael. II. Título.

RENATA ELISA VIOL

**DORMANCY BREAKING OF PEACH AND PLUM TREES IN SUBTROPICAL
REGION
QUEBRA DE DORMÊNCIA DE PESSEGUEIRO E AMEIXEIRA EM REGIÃO
SUBTROPICAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de julho de 2021.

Dra. Leila Aparecida Salles Pio	UFLA
Dr. Antônio Decarlos Neto	UFLA
Dr. Pedro Henrique Abreu Moura	EPAMIG
Dr. Luiz Fernando de Oliveira Silva	EPAMIG

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

Dedico aos meus pais Osvaldo e Sandra

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por esta conquista.

Aos meus pais Osvaldo e Sandra, pelo incentivo, atenção e amor incondicional em todos os momentos.

Aos meus irmãos Robson e Rubia, por serem tão presentes e frequentemente me ajudarem. Somos uma bela equipe!

Ao meu orientador Rafael Pio, que eu tanto admiro, obrigada pela orientação, confiança e apoio no decorrer de todo esse trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, por meio do Programa de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo e recurso financeiro.

Ao pessoal do Pomar da UFLA, em especial ao Pedro, que foi o maior apoiador da minha pesquisa, e à Paula e Dani, sempre dispostas a ajudar, me ensinaram muito.

À Chácara da Mantiqueira no nome do senhor Luiz Gava. Ao Iranir Gava que foi o maior idealizador do trabalho com todo conhecimento e boa vontade, à Jaqueline por toda a ajuda e incentivo, ao Dudu que me ajudou ativamente durante os anos de avaliação, e a todos os colaboradores que não mediram esforços para me auxiliar. O sucesso dessa empresa é fruto de um trabalho muito sério e competente.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFLA, em especial ao professor Paulo e à Lissa, pela parceria nas análises.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, o meu respeito e infinita gratidão.

Muito obrigada!

RESUMO

Os pessegueiros e as ameixeiras são originárias de regiões de clima temperado, onde ocorrem temperaturas baixas durante o inverno. Desenvolveram um mecanismo denominado dormência, como estratégia para se superar o período de baixas temperaturas. O cultivo em regiões de inverno ameno é possível, graças ao desenvolvimento de cultivares de menor requerimento em frio. Mesmo assim, é necessário a utilização de produtos químicos visando a quebra artificial da dormência, para iniciar um novo ciclo produtivo. Assim, objetivou-se com esse trabalho, avaliar produtos alternativos à cianamida hidrogenada para a quebra da dormência de pessegueiros e ameixeiras em regiões subtropicais. Os experimentos foram conduzidos em um local situado a 22°22'S, 43°77'W e 1.173 m de altitude, clima Cwa. Em pessegueiros 'Kampai' e em ameixeiras 'Reubennel', se aplicou os seguintes tratamentos: 1) padrão negativo composta apenas por água (testemunha); padrão positivo composto por Dormex+óleo mineral; 2) cianamida hidrogenada (CH) na dosagem 1,5% (produto comercial Dormex®) acrescido de 4,5% de óleo mineral; 3) fertilizante organomineral Erger G® acrescido de nitrato de cálcio na dosagem de 3%; 4) nitrato de potássio na dose de 5%, e; 5) sulfato de cobre na dose de 0,3%. Foi avaliado se os produtos químicos influenciaram em alterações na capacidade de brotação, floração e na redução do ciclo produtivo, bem como na produção e qualidade das frutas. Concluiu-se que, em pessegueiros, a cianamida hidrogenada e o fertilizante organomineral Erger G® promovem antecipação do florescimento e do ciclo de produtivo; a cianamida hidrogenada e o sulfato de cobre estimulam o aumento da abertura de flores e da produção de pêssegos. No caso das ameixeiras, os produtos químicos utilizados apenas influenciam alterações na fenologia. Para ambos os experimentos, a aplicação de sulfato de cobre pode ser uma opção na quebra da dormência de pessegueiros e ameixeiras em região subtropical.

Palavras-chave: *Prunus* spp. Dormex®. Antecipação da produção. Cultivo nos trópicos.

ABSTRACT

Peach and plum trees originate from regions with a temperate climate, where low temperatures occur during the winter. They developed a mechanism denominated dormancy, as a strategy to overcome the period of low temperatures. Cultivation in mild winter regions is possible, thanks to the development of cultivars with less cold requirements. Even though, it is necessary to use chemical chemicals to artificially break dormancy, to start a new productive cycle. Thus, the objective of this work was to evaluate alternative products to hydrogenated cyanamide for breaking dormancy of peach and plum trees in subtropical regions. The experiments were carried out in a place located at 22°22'S, 43°77'W and 1,173 m above sea level, Cwa climate. In 'Kampai' peach trees and 'Reubennel' plum trees, the treatments were applied: 1) negative pattern only by water (control); positive standard composed of 2) hydrogenated cyanamide (CH) in the 1.5% dosage (commercial product Dormex®) plus 4.5% mineral oil; 3) Erger G® organomineral fertilizer plus calcium nitrate at a dosage of 3%; 4) potassium nitrate at a dose of 5%, and; 5) 0.3% copper sulfate. It is observed if the chemical products influence changes in the capacity of budding, flowering and reduction of the productive cycle, as well as in the production, in the quality of the fruits. It was concluded that, in peach trees, hydrogenated cyanamide and the organomineral fertilizer Erger G® promote anticipation of flowering and in the production cycle; hydrogenated cyanamide and copper sulphate stimulate increased flower opening and peach production. In the case of plum trees, the chemicals used only change in phenology. For both experiments, an application of copper sulfate may be an option to break the dormancy of peach and plum trees in the subtropical region.

Keywords: *Prunus* spp. Dormex®. Earlier production. Cultivation in the tropics.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Table 1** - Chilling units (CU) by the Utah method, as a function of hourly air temperature. 52
- Table 2** - Phenological description of the ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) plus 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021)..... 53
- Table 3** - Percentage of budding, flowering, and effective fruiting in ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: with hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) plus 4.5% oil mineral, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021. 55
- Table 4** - Production (kg/plant), mean fruit mass (g) and estimated yield (t/ha) of ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) supplemented with 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021..... 57
- Table 5** - Total soluble solids (expressed in °Brix), total titratable acidity (g citric acid 100 g⁻¹), soluble solids and titratable acidity ratio (ratio), pH, and fruit size (height and width, expressed in cm) of fruits of the peach tree ‘Kampai’ according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G® organomineral fertilizer supplemented with calcium nitrate at the dose of 3%, potassium nitrate at the dose of 5%, copper sulfate at the dose of 0.3%, or the

control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021. 59

Table 6 - Physiological analyses of catalase ($\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$) and guaiacol peroxidase ($\text{nmol tetraguaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$) in buds of 'Kampai' peach branches, collected 1, 3, 6, 24, and 48 hours after the application of the dormancy-breaking treatment with hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex[®]) plus 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G[®] supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2020 production cycle in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021..... 61

ARTIGO 2

Table I - Chill units (CU) determined by the Utah method as a function of the hourly air temperature. 66

Table II - Phenological description of 'Reubennel' plum trees after the application of treatments to break their dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil)..... 68

Table III - Number of buds, leaves, flowers and fruits and budding and flowering percentage in 'Reubennel' plum trees after the application of treatments for breaking dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil)..... 70

Table IV - Production (kg/plant), mean fruit weight (g) and estimated yield (t/ha) of 'Reubennel' plum trees after the application of treatments for breaking dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate

and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil). 73

Table V - Total soluble solids (TTS, °Brix), total titratable acidity (TTA, g citric acid 100 g-1), TTS/TTA ratio, pH and fruit size (height and width, cm), in fruits of 'Reubennel' plum trees after the application of treatments for breaking dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex® commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G® organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil). 74

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figure 1 - Climate data from April to December 2018 and January to December 2019 and 2020. Barbacena, Minas Gerais, Brazil, in 2021. 62

ARTIGO 2

Figure 1 - Climatic data from January to December in 2018 and 2019. Barbacena, Minas Gerais, Brazil, 2021. 80

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO.....14
2	REFERENCIAL TEÓRICO15
2.1	O pessegueiro15
2.2	‘BRS Kampai’17
2.3	A ameixeira.....18
2.4	‘Reubennel’19
2.5	Superação da dormência em regiões de inverno ameno19
2.6	Produtos alternativos.....21
2.7	Estresse oxidativo na quebra de dormência24
3	REFERÊNCIAS.....28
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS*35
	ARTIGO 1 - DORMANCY BREAKING OF ‘KAMPAI’ PEACH TREES WITH ALTERNATIVE PRODUCTS IN SUBTROPICAL REGIONS36
1	Introduction.....37
2	Materials and methods38
3	Results42
4	Discussion43
5	References.....46
	ARTIGO 2 - ALTERNATIVE PRODUCTS FOR BREAKING DORMANCY IN ‘REUBENNEL’ PLUM IN SUBTROPICAL REGIONS.....63
1	Introduction.....64
2	Materials and methods65
3	Results and Discussion68
4	Conclusion76
5	References.....76

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As frutíferas de clima temperado se caracterizam por apresentarem um mecanismo denominado dormência. A dormência foi desenvolvida como estratégia de sobrevivência ao período de baixas temperaturas, que, em alguns casos, podem atingir temperaturas negativas por longos períodos. Durante o período de dormência, além da suspensão temporária de crescimento e desenvolvimento, ocorre o acúmulo de horas de frio (HF). Para o acúmulo de HF, são consideradas temperaturas iguais ou inferiores a 7,2 °C. Quando completadas, ocorre uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos no meristema ou tecidos próximos, e ocorre a brotação e/ou florescimento, iniciando-se um novo ciclo de crescimento.

Recentemente, a exploração comercial de espécies frutíferas de clima temperado se estendeu para áreas não tradicionais de cultivo, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais, onde os invernos apresentam temperaturas amenas e sem chuvas, e os verões são quentes e chuvosos. Como exemplo dessa migração de cultivo, pode-se citar as frutíferas do gênero *Prunus*, como os pessegueiros e as ameixeiras.

Nas regiões tropicais e subtropicais, geralmente, o acúmulo de HF não é suficiente para permitir a iniciação da brotação e/ou florescimento de forma uniforme. Para evitar tal efeito, torna-se necessário a utilização de produtos químicos que estimulem a emissão de brotação e do florescimento.

Em substituição à falta de horas de frio, o indutor químico mais utilizado na quebra de dormência é a cianamida hidrogenada (H_2CN_2). Esta substância é rapidamente absorvida e metabolizada, porém, possui elevada toxicidade ao ser humano e ao ambiente.

O desenvolvimento de protocolos de aplicação alternativos e eficientes para indução da brotação é almejado. As principais características desejáveis em substâncias químicas são as de possuírem grande eficiência na indução da brotação, baixo custo de utilização e mínima toxicidade às plantas e ao ambiente. Portanto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar produtos alternativos para a quebra de dormência de pessegueiros e ameixeiras em regiões subtropicais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O pessegueiro

O pessegueiro pertence à família Rosaceae, gênero *Prunus* (L.) e subgênero *Amygdalus*. Todas as cultivares comerciais pertencem à espécie *Prunus persica* (L.) Bastch. São conhecidas três variedades botânicas: vulgaris (pêssego comum), que engloba a maioria dos cultivares comerciais da espécie, tendo como característica frutos com epiderme pilosa, nucipersica (nectarina), com frutos de epiderme glabra e; platicarpa (pêssego achatado), variedade pouco explorada comercialmente no Brasil, produzindo frutos achatados, com ou sem pilosidade na epiderme (WAGNER JÚNIOR *et al.*, 2018).

São originados da China e foram cultivados na Pérsia, antes de sua expansão para o resto do mundo. No Brasil, foi introduzido em 1532, por meio de mudas trazidas da Ilha da Madeira e plantadas na Capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo), de onde expandiu-se por grande parte do país, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (WAGNER JÚNIOR *et al.*, 2018).

O sistema radicular é pivotante quando multiplicado por sementes, com elevada ramificação lateral em plantas adultas, essas raízes são numerosas, extensas e pouco profundas, explorando uma área maior que a projeção da copa (RASEIRA; CENTELLAS-QUEZADA, 2003).

Possui um tronco principal com diâmetro ao redor de 40 cm, originando ramos que afinam à medida que atingem a extremidade da copa. Os ramos produtivos são classificados em mistos, brindilas, dardos. Os ramos chamados mistos apresentam pequenos e grandes ramos, da ordem de 20 cm a 1 m de comprimento, no qual possui gemas floríferas e vegetativas. As brindilas são ramos finos e flexíveis, entre 15 a 30 cm de comprimento, onde prevalecem gemas floríferas (WAGNER JÚNIOR *et al.*, 2018).

Os dardos são ramos curtos com aproximadamente 5 cm com uma gema apical vegetativa e muitas gemas floríferas (4 a 8). Os ramos denominados ladrões vigorosos crescem em posição vertical e podem emitir ramificações secundárias, geralmente inúteis para a produção por apresentar principalmente gemas vegetativas (RASEIRA; CENTELLAS-QUEZADA, 2003).

As gemas se formam nas axilas dos pecíolos foliares durante todo o período de crescimento dos ramos (SACHS; CAMPOS, 1998). As gemas floríferas têm forma globosa e presença de pelos; já as vegetativas são pequenas e cônicas. Quando o ramo apresenta três

gemas num só nó, normalmente, a gema central é vegetativa, ladeadas por duas floríferas, uma de cada lado (SIMÃO, 1998).

Um pessegueiro pode produzir de 15 a 40 mil flores e a maior concentração se localiza na região intermediária do ramo, da estação em desenvolvimento. A porcentagem de grãos de pólen viáveis é de aproximadamente 90% (SIMÃO, 1998). As flores do pessegueiro são hermafroditas, solitárias ou reunidas em grupos de duas ou três, possuem coloração rósea ou branca, diferenciadas em cálice, gamelosépalo e corola de pétalas livres (FONFRÍA *et al.*, 1999).

O fruto é uma típica drupa carnosa, com fino pericarpo, mesocarpo polposo e endocarpo lenhoso. A cor da epiderme, creme-esverdeada varia do amarelo-claro ao alaranjado, e sobre essa pigmentação de fundo, muitas cultivares exibem uma coloração rósea à vermelha (SACHS; CAMPOS, 1998).

O crescimento dos frutos segue uma curva sigmoideal, com crescimento rápido na primeira fase, depois uma fase de crescimento muito lento e, finalmente, uma última fase de crescimento rápido, por ocasião do inchamento do fruto. Durante a fase de crescimento lento que se dá o endurecimento do endocarpo (caroço). O que difere as cultivares precoces daquelas de maturação tardia é que, nas primeiras, o período de crescimento lento é mínimo (RASEIRA; QUEZADA, 2003).

O pessegueiro é a oitava frutífera mais cultivada no mundo, sendo a China o principal país produtor, respondendo por 46% da produção mundial (FAO, 2021). O Brasil figura-se na décima segunda posição, respondendo por 1% da produção mundial (FAO, 2021), com uma produção média de pêssegos em torno de 183 mil toneladas, cultivados em uma área de 15.995 hectares (IBGE, 2021). A produção nacional de pêssegos não é suficiente para atender a demanda brasileira.

Tradicionalmente, o Brasil importa pêssegos da Espanha e Chile para suprir o mercado interno (CEPEA, 2018). O cultivo de pessegueiros e a produção de frutos vêm reduzindo ao longo dos últimos anos. No período entre 2006 e 2016 a produção e a área colhida de pêssegos no Brasil diminuíram em 3,93% e 23,02%, respectivamente (FAO, 2021).

No Brasil, o cultivo do pessegueiro se concentra na região Sul e Sudeste, em que os estados Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Minas Gerais, responderam por 99,9% do volume nacional.

No Rio Grande do Sul, a produção de pêssegos encontra-se em uma área de 12.442 hectares (AGRIANUAL, 2019), concentrado, principalmente, na região metropolitana de Porto Alegre, na Encosta Superior do Nordeste e na região Sul do estado. No polo da região

Sul, predomina o cultivo de pessegueiro destinado à indústria conserveira para a produção de doces em caldas, geleias e pessegadas. Destaca-se nessa região, o município de Pelotas, responsável por mais de 90% da produção de frutas para essa finalidade (GONÇALVES *et al.*, 2014, FARIAS *et al.*, 2014). Entretanto, a produtividade é considerada baixa, próxima das 10 toneladas frente às 21 toneladas obtidas nos estados de Minas Gerais e São Paulo, por hectare (IBGE, 2021).

A produção em locais mais quentes tem se expandido, tendo somente na região Sudeste, nos últimos dez anos, aumentado cerca de três vezes sua produção, exclusivamente nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Em Minas Gerais, as regiões Sul, Central e Zona da Mata produzem, conjuntamente, 99,3% do volume de pêssegos do estado. Apenas a região da Zona da Mata apresentou crescimento na produção de 10% nos últimos dois anos. As principais cidades produtoras são Barbacena, Virgínia e Santa Rita de Caldas (IBGE, 2019).

2.2 ‘BRS Kampai’

A cultivar de pêssego ‘BRS Kampai’ foi desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado através de hibridação controlada entre as cultivares ‘Chimarrita’ e ‘Flordaprince’ (RASEIRA *et al.*, 2010; RASEIRA *et al.*, 2014). A cultivar Chimarrita, por sua vez, também tem origem no programa de melhoramento genético da Embrapa Clima Temperado, originada do cruzamento entre as cultivares ‘Babcock’ e ‘Flordabella’ (RASEIRA NAKASU, 1998). ‘Flordaprince’ foi desenvolvida pelo programa de melhoramento da Universidade da Flórida, resultado do cruzamento entre a seleção ‘Fla 2-7’ e ‘Maravilha’ (RASEIRA *et al.*, 2010).

Foi gerada para atender a demanda dos produtores de pêssego de mesa, que procuravam cultivares que pudessem suprir as preferências dos consumidores nos mercados do Sul e Sudeste do Brasil em frutos de baixa acidez (RASEIRA *et al.*, 2010), sabor doce e polpa branca. Além destes atributos, a variedade possui frutos de ótima aparência e baixa necessidade de frio hibernal (200 horas) (RASEIRA *et al.*, 2010).

As plantas de ‘BRS Kampai’ têm médio vigor, hábito de crescimento semi-vertical, flores do tipo rosácea e com pétalas médias a grandes, frutos com forma redondo-cônica, com diâmetro transversal próximo de 6 cm. A polpa é semilivre do caroço de coloração branca-esverdeada, película creme-esverdeado e com 50 a 80% de vermelho. A respeito da qualidade dos frutos, possuem baixa acidez e o teor de sólidos solúveis totais varia de 9 a 13 °Brix, mais comumente entre 11 e 13 °Brix (RASEIRA *et al.*, 2010; RASEIRA *et al.*, 2014).

2.3 A ameixeira

A ameixeira pertence à família Rosaceae, subfamília *Prunoideae* e ao gênero *Prunus*, atualmente duas espécies principais têm importância econômica: *Prunus domestica* (L) e *Prunus salicina* Lindl.

A *Prunus domestica* (L), conhecida como ameixeira europeia, é provavelmente originária do Cáucaso. Acredita-se que seja resultante da hibridação entre as espécies *P.cerasifera* e a *P.spinosa*, com herança de características como cores de fundo e antocianinas na epiderme com variações ilimitadas. Sua planta pode atingir 12 metros de altura, forma piramidal, raízes compridas e pouco profundas, quando multiplicadas por sementes. Folhas pecioladas, ovaladas e elípticas e flores de uma a duas por gemas, apresentam pétalas brancas ou branco-esverdeadas, com aproximadamente 30 estames. As frutas apresentam uma epiderme recoberta com pruína azulada e possuem o caroço rugoso (PIO, 2018). A ameixa europeia é muito importante em termos de produção mundial, inclusive para a produção de ameixa passa, porém, é pouco cultivada no Brasil por ser exigente em frio.

A *Prunus salicina* Lindl é vulgarmente conhecida como ameixa japonesa, e diferente do que seu nome indica é originária da China. É a espécie mais importante cultivada no Brasil, sendo a baixa necessidade de frio, o principal motivo. Na região Sudeste, onde a disponibilidade de baixas temperaturas é menor do que na região Sul, a ameixeira japonesa apresenta bom desempenho, com produtividade satisfatória. Nesta região são cultivadas, com maior frequência, 12 a 16 cultivares de mesa destinadas ao consumo ao natural (ALVARENGA; FORTES, 1985).

No Brasil, entre as fruteiras de clima temperado, a ameixeira está entre as que menos prosperaram, devido a falta de cultivares adaptadas ao clima, problemas fitossanitários e produção de frutas de baixa qualidade. Atualmente, com a disponibilidade de uma série de cultivares, principalmente aquelas de baixa exigência em frio, lançadas pelo Instituto Agrônomo, os fruticultores têm melhores alternativas na programação de plantio. As cultivares de ameixeira viáveis à exploração comercial são: ‘Reubennel’, ‘Kelsey Paulista’, ‘Rosa de Itaquera’, ‘Grancuore’ (IAC-2-16), ‘Gema-de-Ouro’ (IAC K-43), ‘Irati’, ‘Januária’ (IAC K52), ‘Centenária’ (IAC SR-51), ‘Harry Pickstone’ e ‘GufBlaze’ (FLA 87-7) (PIO, 2018).

A ameixeira é cultivada principalmente para produção de frutas para consumo *in natura*. No ano de 2017, a área cultivada de ameixa no país foi de 4.200 hectares, com produção anual de cerca de 40 mil toneladas, concentrada nas regiões Sul e Sudeste, sendo os

principais estados produtores, Santa Catarina, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (ANZANELLO, 2020).

No ranking de importações, a cultura ocupa a 3ª posição das frutas brasileiras de clima temperado, oriundas principalmente da Argentina (47,3 %), Espanha (25 %) e Chile (21,3 %) (FAO, 2021). Atualmente são importadas cerca de 9.000 toneladas de ameixas pelo Brasil, enquanto as exportações não ultrapassam 500 kg por ano, o que evidencia o grande potencial de expansão da cultura no país (FAO, 2021).

2.4 ‘Reubennel’

Ameixeira altamente produtiva, com baixa necessidade de frio hibernal (150 horas) e com frutas de tamanho médio a grande, de forma redonda-cônica, epiderme amarelo-esverdeada com 20 a 30% de vermelho. A polpa é amarela, firme, doce, levemente ácida e bom sabor. Amadurece em fins de dezembro a janeiro. Adapta-se a todas as regiões produtoras de ameixas, desde Minas Gerais até o Rio Grande do sul. Atualmente é a ameixa mais cultivada do Brasil (PIO, 2018).

Em trabalho feito por Anzanello e Menin (2018), a cultivar se destacou principalmente nas em termos de produção por planta (aproximadamente 40 kg/planta) e sólidos solúveis. A cultivar Reubennel é uma variedade com grande potencial de autopolinização, e consequente produção (SIMONETTO *et al.*, 2013).

2.5 Superação da dormência em regiões de inverno ameno

As frutíferas de clima temperado são originárias de locais com temperaturas baixas durante o inverno. Ainda no outono, ocorre a queda natural das folhas estimulada pela diminuição do comprimento do dia e da redução acentuada da temperatura, estimulando a entrada do período conhecido como dormência.

O início da dormência é estimulado pela diminuição do comprimento do dia e das temperaturas. Ocorrem alterações hormonais, aumentando os inibidores de crescimento, como o ácido abscísico e diminuição dos promotores de crescimento, como as auxinas, citocininas e giberelinas. Em um primeiro momento, ocorre degradação da clorofila foliar. Em seguida, a elevação das concentrações de ácido abscísico promovem abscisão foliar, promovendo queda das folhas. Ocorrem conversão da glicose em amido, que possui menor ponto de congelamento e é osmoticamente inativa. Parte do amido migra-se ao sistema radicular e parte

fica distribuído nos ramos para a regulação osmótica, evitando a formação de cristais nos espaços intercelulares. Após o aumento das temperaturas e do prolongamento do dia, inicia a quebra natural da dormência. Dessa vez, diminui os inibidores de crescimento e aumenta os promotores de crescimento. Ocorre conversão do amido e glicose e inicia o intumescimento das gemas, com início da brotação e/ou floração (PIO, 2018).

Durante o período de dormência ocorre a suspensão temporária de crescimento e desenvolvimento das plantas e o acúmulo de horas de frio, que são considerados temperaturas iguais ou inferiores a 7,2 °C. (LEITE; PETRI; COUTO, 2014). Entretanto, as temperaturas mais altas também são importantes no estímulo à brotação, principalmente em relação aos cultivares de baixo requerimento em frio, onde temperaturas de até 12,8 °C também são efetivas (PETRI; HERTER, 2004). Graças a isso, diversos autores quantificam o acúmulo de horas de frio a partir da referência de 12 °C e 13 °C (PEDRO JÚNIOR *et al.*, 2007).

Uma vez que a necessidade em frio da planta é satisfeita, esta irá brotar e florescer completando seu ciclo biológico de modo satisfatório (WAGNER JÚNIOR *et al.*, 2014). Porém, em regiões que não são suprimidas as necessidades térmicas da cultura, a falta de frio hibernal promove alterações que comprometem a mobilização de reservas entre as fontes e os drenos (UBER, 2014), interferindo no fornecimento de carboidratos e, conseqüentemente, de energia para o metabolismo, o que prejudica a brotação e o florescimento.

As frutíferas podem apresentar uma série de anomalias quando o requerimento de frio não é totalmente satisfeito, e os principais sintomas são o atraso e maior duração do florescimento, menor porcentual de florescimento, brotação e, conseqüentemente, redução na produção, com frutos desuniformes e de baixa qualidade (PIO, 2018).

O efeito da temperatura na formação das gemas é variável conforme o estágio da gema, durante a diferenciação, temperaturas maiores que 25 °C são prejudiciais. No período em que o crescimento se torna lento, denominado endodormência, as gemas apresentam elevada sensibilidade a temperaturas moderadas. E no estágio de rápido crescimento, ocorre sensibilidade às baixas temperaturas (MONET; BASTARD, 1971). Temperaturas elevadas também afetam a fixação de frutas.

O suprimento das horas de frio necessárias para a superação da dormência das gemas é o fator limitante para o cultivo das frutíferas de clima temperado em regiões de clima mais quente. Em condições subtropicais é necessário o uso de produtos químicos que promovam a brotação uniforme (ZHUANG *et al.*, 2015). Várias substâncias químicas são estudadas para indução da brotação no Brasil (HAWERROTH *et al.*, 2010).

Indutores de brotação como Cianamida Hidrogenada e Óleo Mineral têm sido usados comercialmente, com sucesso no Brasil e em outros países como Israel, México e África do Sul. Embora sejam eficazes na quebra de dormência, apresentam risco de fitotoxicidade e redução da frutificação efetiva. Além de que, os produtores ficam dependentes de uma única molécula no mercado. Conseqüentemente, elevando o custo de produção (PETRI, 2021) e são extremamente prejudiciais ao homem e ao meio ambiente (HAWERROTH *et al.*, 2010a).

Outro entrave quanto ao uso da cianamida hidrogenada é que seu uso está restrito em alguns países, podendo ser banido a qualquer momento no Brasil, ou então prejudicar as exportações brasileiras (SETTIMI *et al.*, 2005). Havendo assim, a necessidade de produtos com efeito similar, sendo necessárias pesquisas por métodos alternativos.

As principais características desejáveis de indutores de brotação são a sua eficácia, o baixo custo e a toxicidade mínima para as plantas e o meio ambiente (EREZ, 2000). Apesar do grande número de compostos conhecidos por aumentar a brotação, poucos são aceitos e utilizados comercialmente. Além disso, o alto custo e toxicidade dos compostos são os principais fatores limitantes para sua aprovação comercial (PETRI *et al.*, 2014).

2.6 Produtos alternativos

A aplicação de produtos químicos para quebrar a dormência das gemas é indispensável, principalmente em regiões onde o acúmulo de horas de frio (somatório de temperaturas mínimas abaixo de 7,2 ° durante o inverno é baixo.

Em regiões de clima subtropical, onde se pratica dois ciclos anuais, em função da ocorrência da paradormência e do baixo acúmulo de frio, a quebra de dormência das gemas não ocorre naturalmente de maneira satisfatória, assim como em condições de clima tropical, em que o acúmulo de frio é zero. Nessas duas condições climáticas, é indispensável o uso de reguladores que auxiliem na superação da dormência (LEÃO, 2002; CAMARGO *et al.*, 2011).

O principal indutor utilizado para superar dormência em frutíferas de clima temperado é a cianamida hidrogenada, pela alta eficiência em diversas espécies e cultivares, que por meio da indução de estresse oxidativo, promove a brotação das gemas com homogeneidade. A cianamida hidrogenada atua por meio do rápido bloqueio da atividade da catalase, que leva ao acúmulo de H₂O₂ e à sinalização homogênea da brotação das gemas (NIR *et al.*, 1986; OR *et al.*, 2002; PÉREZ; LIRA, 2005). Em busca de diversificar as opções de tratamento para superar a dormência e evitar o uso da cianamida hidrogenada, tem-se pesquisado produtos

químicos e extratos vegetais com sucesso, como nitrato de potássio, nitrato de cálcio, tioureia (EL-YAZAL *et al.*, 2013) e thidiazuron (TDZ), uma fenilureia com atividade de citocinina (WANG *et al.*, 1986).

No Brasil, várias pesquisas buscam alternativas à cianamida hidrogenada, principalmente com extrato de alho e óleo mineral para macieira, videira e ameixeira (MARODIN; ROMÁN, 1997; BOTELHO, 2007; BOTELHO *et al.*, 2009).

O fertilizante organomineral Erger G® é uma opção para a promoção do florescimento e para aumentar o potencial de maturação uniforme dos frutos, melhor qualidade, e uma colheita mais cedo. É um fertilizante foliar formulado para ser utilizado em soluções de nitrato de cálcio para aplicação em frutíferas de clima temperado, cultivadas em locais onde as condições ambientais não são ideais para o desenvolvimento de flores e frutos (VALAGRO, 2021).

Erger G® é um composto à base de nitrogênio, e quando combinado com nitrato de cálcio, tem efeito similar à cianamida hidrogenada, com a vantagem de ser menos agressivo ao ambiente (HAWERROTH *et al.*, 2010). Sendo assim, uma possível alternativa para a indução da brotação de frutíferas em regiões de clima subtropical.

Os ingredientes ativos do Erger G® incluem diterpenos selecionados, biomoléculas criadas por unidades múltiplas de isopreno, que é um dos precursores de vários fatores de crescimento das plantas. Suas aplicações auxiliam na regulação do nível de inibidores (naringenina e ácido abscísico) responsável pela dormência. Além disso, mono, di e polissacarídeos presentes no produto formam uma base de reserva que dá suporte à estrutura e paredes celulares, e contribui com seu crescimento (VALAGRO, 2021).

A recomendação é que seja aplicado junto ao nitrato de cálcio, sendo o cálcio um micronutriente com várias funções, incluindo ativador de enzimas, atua em diferentes processos metabólicos da planta incrementando o nível de atividade enzimática responsável pela produção de energia (ATP), aumenta os níveis de degradação de reserva de amido (catálise amilácea). É essencial na constituição de aminoácidos e nucleotídeos. A abertura das gemas começa com ativação do metabolismo do nitrogênio, por isso, nesse estágio, a planta necessita de formas diretamente disponíveis (VALAGRO, 2021).

Hawerth *et al.* (2010a) estudaram a interação de Erger ® + nitrato de cálcio, como alternativa ao uso de cianamida hidrogenada em macieira ‘Imperial Gala’ e ‘Fuji Suprema’ em Caçador – SC e concluíram que essa a associação pode ser usada como alternativa, sendo a dose recomendada menor que 7%.

Outro produto alternativo é o nitrato de potássio, que atua nas gemas floríferas estimulando a iniciação do crescimento para pessegueiro, Pio (2018) recomenda dosagens entre 2 a 5%. Contudo, recomenda-se que esse produto só seja utilizado sobre as gemas se as necessidades de frio já tiverem sido satisfeitas em pelo menos 50%.

Como indutor de brotação é utilizado em mangueiras onde desencadeia a formação de nitrato redutase, que resulta na metionina, que é um produto intermediário precursor do etileno, que, por sua vez, induz a floração (REIS, 1999).

Caldeira (1989) sugere duas hipóteses que poderiam contribuir para explicar tal mecanismo. A primeira hipótese é que o produto à base de nitrato atua sobre a ação da enzima nitrato redutase, liberando o íon nitrato para a formação de metionina, aminoácido precursor do etileno, e este desencadeia a indução, diferenciação e florescimento. A segunda hipótese é que o íon nitrato desenvolveria um estresse físico-químico na planta, estimulando a produção de etileno endógeno, seguindo o mesmo processo anterior.

Segundo Sergent e Leal (1991), a eficiência do nitrato de potássio está ligada ao íon nitrato, o que indica a possibilidade da utilização de diversos nitratos (NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ etc). O KNO_3 e o $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ são os mais usados nas pulverizações na época da indução floral.

Outra possibilidade seria a promoção do estresse oxidativo para quebra de dormência em resposta à presença de metais pesados, em especial ao cobre e ao zinco (MAKSYMIEC, 1997; CUYPERS *et al.*, 1999). Sendo assim, o sulfato de cobre torna-se outro produto alternativo para quebra de dormência de frutas de caroço em regiões de inverno ameno.

O cobre é um metal essencial para o desenvolvimento das plantas, participando de numerosos processos fisiológicos, sendo um cofator fundamental na composição de diversas proteínas como a plastocianina, citocromo oxidase, ascorbato oxidase, superóxido dismutase, polifenoloxidase e lacase.

Os íons cobre (Cu^+ e Cu^{2+}) participam ativamente no transporte de elétrons na mitocôndria, lignificação, sinalização hormonal, metabolismo da parede celular, nas respostas ao estresse oxidativo (juntamente com o zinco) e síntese de cofatores de molibdênio (TAIZ; ZEIGER, 2017; YRUELA, 2005; BURKHEAD *et al.*, 2009 apud KELLER, 2010).

Embora o cobre seja um metal essencial, quando em excesso, pode ser um elemento tóxico, causando desordens no crescimento e desenvolvimento, afetando importantes processos fisiológicos das plantas. Em altas concentrações, o cobre pode resultar em danos a nível celular como: inibição de atividades enzimáticas, indução à deficiência de outros íons essenciais e danos por estresse oxidativo (CUYPERS *et al.*, 1999; YRUELA, 2005).

Para que ocorra eficiência do tratamento de indução, destaca-se a importância de considerar o estágio fenológico da planta no momento da aplicação, concentração dos produtos, volume de calda e condições ambientais. O estágio fenológico no momento da aplicação tem um efeito marcante na data da floração, sendo que quanto mais antecipado for o tratamento, mais antecipada será a floração. Essa antecipação da floração levará a um aumento do tamanho da fruta, visto que aumentará o ciclo entre a floração e a colheita (PIO, 2018).

A concentração dos indutores de brotação varia com a intensidade do frio ocorrido no inverno, com a espécie, com a cultivar e com as características da planta quanto ao vigor. Quanto menor a intensidade de frio e quanto maior a exigência em frio da espécie ou cultivar, maior deverá ser a concentração dos indutores de brotação. Para plantas novas e vigorosas também devem ser utilizadas concentrações mais altas (PIO, 2018).

No tratamento para quebra de dormência, é necessário que todas as gemas sejam atingidas, pois o efeito dos produtos é localizado. Para tanto, a planta deverá ser pulverizada até o ponto de gotejamento (PIO, 2018).

2.7 Estresse oxidativo na quebra de dormência

A dinâmica da dormência de gemas é influenciada por fatores morfológicos, fisiológicos e ambientais (FAUST *et al.*, 1997). A primeira fase da dormência de gemas é a paradormência, também conhecida como inibição correlativa, é quando a causa que limita o crescimento se origina em uma estrutura diferente de onde se está manifestando a dormência (PIO, 2018). Com a diminuição do fotoperíodo e das temperaturas, é iniciada a endodormência, chamada de dormência verdadeira, mecanismo endógeno da gema que impede sua brotação (LANG *et al.*, 1987; HORVATH *et al.*, 2003).

A indução à endodormência pode ocorrer em resposta ao fotoperíodo, temperatura ou ambos (LI *et al.*, 2003; HEIDE; PRESTRUD, 2005; HEIDE, 2011). Já a superação da endodormência e a retomada da capacidade de brotação das gemas são determinadas pelo acúmulo de tempo de exposição das plantas a temperaturas baixas, que vão variar em função da espécie ou cultivar (NAOR *et al.*, 2003; ROHDE; BHALERAO, 2007).

Os mecanismos fisiológicos da endodormência compreendem fatores como balanço hormonal (STAFSTROM, 2000; ZHENG *et al.*, 2015), metabolismo de proteínas e carboidratos (TAMURA *et al.*, 1998; MARQUAT *et al.*, 1999; RADY; ELYAZAL, 2013), atividade respiratória (TREJO-MARTÍNEZ *et al.*, 2009), teor de água (MARAFON *et al.*,

2011; SCHMITZ *et al.*, 2015) e metabolismo antioxidativo (NIR *et al.*, 1986; PÉREZ; LIRA, 2005).

Assim, o estresse oxidativo controlado pode estar envolvido na liberação da dormência dos botões (HERNANDEZ *et al.*, 2021a; 2021b). E esse princípio é utilizado na quebra de dormência artificial em frutíferas de clima temperado. A cianamida hidrogenada, principal indutor químico, atua por meio do bloqueio da atividade da enzima catalase, que leva ao acúmulo de H_2O_2 . Esse acúmulo leva a um estresse oxidativo momentâneo e distúrbio respiratório transitório nas células (PÉREZ *et al.*, 2008). Já o óleo mineral afeta a respiração por criar condições anaeróbicas criando o efeito de Pasteur (EREZ *et al.*, 1980).

Ambos levam a um aumento na relação AMP/ATP, este aumento pode ser o primeiro sinal comum na resposta das gemas, levando à transcrição de uma cascata de sinais comum, a qual, finalmente, levaria à quebra de dormência das gemas. Neste processo, uma proteína quinase, SNF-like, pode servir como um receptor comum para tal sinal (OR *et al.*, 2000). Os mesmos autores mostraram que uma nova proteína quinase chamada GDBRPK (*grape dormancy-breaking-related protein kinase*) pode estar envolvida na percepção do sinal gerado pela injúria oxidativa causada pela cianamida hidrogenada. Este sinal pode ser o próprio peróxido de hidrogênio ou alguma outra molécula pequena.

O estresse oxidativo ocorre devido a um desequilíbrio entre a geração de compostos oxidantes como as espécies reativas de oxigênio (EROs) e a atuação dos sistemas de defesa antioxidante. As EROs são produzidas principalmente nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos, a partir de reações redox. Seu acúmulo pode ser extremamente tóxico às plantas, porém, também pode servir como sinalizador em resposta a diferentes tipos de estresse (PÉREZ; LIRA, 2005)

As plantas possuem mecanismos de defesa enzimáticos e não enzimáticos capazes de neutralizar a toxicidade das espécies reativas de oxigênio (EROs) para evitar danos celulares. As principais enzimas antioxidantes são superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e guaiacol peroxidase (POD), que estão envolvidas na geração e degradação de H_2O_2 (SHULMAN *et al.*, 1986; ABASSI *et al.*, 1998).

A Catalase (CAT) é a enzima responsável pela decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), é uma enzima tetraédrica que contém um grupo prostético heme em cada uma de suas subunidades (PÉREZ; LIRA, 2005). É extremamente eficiente, podendo decompor milhões de moléculas a cada segundo, e usa o íon ferro, preso no centro de cada grupo para ajudar nas rápidas reações (CHELIKANI grupo prostético heme., 2004).

A função principal da catalase é prevenir os efeitos potencialmente danosos causados por mudanças na homeostase do H_2O_2 . As catalases são as principais enzimas que detoxificam H_2O_2 em plantas, podendo dismutar H_2O_2 diretamente ou oxidar substratos tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (VAN BREUSEGEM *et al.*, 2001). Para Pérez e Lira (2005), tanto o frio hibernal quanto a aplicação da cianamida hidrogenada, têm um efeito inibitório na enzima catalase.

A guaiacol peroxidase (POD) utiliza como substrato o guaiacol, para doar elétrons ao H_2O_2 e formar ascorbato oxidado e água, é encontrada na parede celular, citosol e vacúolo (MITTLER, 2002). Os PODs desempenham papéis metabólicos relevantes no alongamento celular e no enrijecimento da parede, principalmente, mesmo não exclusivamente, na parede celular e no vacúolo (GARA, 2004).

O peróxido de hidrogênio é uma espécie de oxigênio reativo, rapidamente degradado pela catalase. Quando acumulados nos tecidos provocam estresse oxidativo, que é o desequilíbrio entre o acúmulo de espécie de oxigênio reativo e sua desintoxicação através dos agentes antioxidantes. A decomposição do H_2O_2 ocorre em duas etapas, conforme descrito no trabalho de Chelikani *et al.* (2004).

Primeiramente, quando o H_2O_2 entra no sítio ativo da catalase, ela interage com aminoácidos e é quebrada. O átomo de oxigênio se liga ao ferro do grupo heme e uma molécula de água (H_2O) é liberada. Em seguida, uma segunda molécula de H_2O_2 é quebrada, então a nova molécula de oxigênio irá se ligar à outra anteriormente ligada ao ferro. Logo, gás oxigênio (O_2) e água (H_2O) são liberados. Assim, a diminuição da atividade da catalase ocorre concomitantemente com aumento da quebra de dormência em gemas, comprovando a correlação existente entre os dois acontecimentos. A catalase parece atingir menores atividades quando submetidas ao frio em relação a quando são expostas às altas temperaturas (NIR *et al.*, 1986)

Segundo Pérez e Lira (2005), o pico de H_2O_2 precedente à liberação da dormência, agiria como um sinalizador para a expressão de genes relacionados. Ao induzir a liberação da dormência em gemas de videira, diversos autores observaram um aumento nos níveis de transcritos de agentes do sistema de defesa antioxidante (HALALY *et al.*, 2008, PÉREZ *et al.* 2009; MOHAMED *et al.*, 2012).

Em um trabalho recente, Prudencio *et al.* (2019), mostrou uma expressão aumentada de um gene que codifica para uma peroxidase de Classe III (denominada PdP40) antes da liberação de endodormância em botões de flores de diferentes espécies de amêndoas, exibindo diferentes requisitos de resfriamento (PRUDENCIO *et al.*, 2019). Paralelamente, a liberação

da endodormência foi precedida por um aumento na atividade POX total (PRUDENCIO *et al.*, 2019). Levando em consideração esses resultados, os autores propuseram o gene PdP40 e, portanto, a atividade da POX, como marcadores para monitorar a dormência de gemas em amêndoas e em outras espécies de *Prunus*.

Além disso, Hernández *et al.* (2021a, 2021b) descreveram a regulação positiva de uma isoenzima POX menor na liberação de dormência em duas variedades de pêssego que diferem nos requerimento de frio.

Os mecanismos pelos quais o aumento da concentração de EROs resulta na superação da endodormência são complexos, no entanto, parece haver uma sinalização hormonal, como a inativação de auxinas e indução da produção de etileno, por exemplo, e liberação de barreiras físicas para passagem de água e solutos (OMRAN, 1980; WANG *et al.*, 1991a; ZHENG *et al.*, 2015). A hipóxia também pode estar envolvida neste processo em videira (VERGARA *et al.*, 2012).

Job *et al.* (2005) propuseram que o bloqueio da glicólise durante condições de estresse oxidativo poderia estimular a via da pentose fosfato (PPP). A oxidação de proteínas envolvidas na glicólise pode estimular o PPP, uma via alternativa à glicólise que gera NADPH e pentoses. Existem duas fases distintas no caminho do PPP. A primeira é a fase oxidativa (oxPPP), na qual o NADPH é gerado, e a segunda é a síntese não oxidativa de açúcares de 5 carbonos. Em células não fotossintéticas (como ocorre nos botões de flores), o oxPPP é uma fonte primária de poder redutor na forma de NADPH para a assimilação de nitrogênio inorgânico, bem como para a biossíntese de ácidos graxos e nucleotídeos (BARBA-ESPÍN *et al.*, 2011).

No trabalho de Pérez e Lira (2005) ao avaliarem a atividade de peroxidases em videiras em diferentes condições climáticas, puderam observar que, em locais de invernos amenos, houve aumento da atividade da catalase durante o início da dormência, e apenas no final da dormência houve diminuição de 70% na atividade da catalase, aumento da concentração de H₂O₂ e superação da dormência.

Em macieiras, o mesmo foi observado por Abassi *et al.* (1998) onde encontraram a diminuição da atividade da SOD, CAT, POD e APX e aumento da concentração de H₂O₂ durante a dormência de gemas e o inverso durante os estádios de ponta verde e brotação. Assim também, em limoeiro foi encontrada menor atividade da POD durante baixas temperaturas e aumento durante e após a brotação das gemas (KASRAOUI *et al.*, 2014).

REFERÊNCIAS

- ABASSI, N. A.; KUSHAD, M. M.; ENDRESS, A. G. Active oxygen-scavenging enzymes activities in developing apple flowers and fruits. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, n. 3, p. 183-194, 1998.
- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira 2019**. São Paulo, 2019.
- ALVARENGA, L. R.; FORTES, J. M. Cultivares de fruteiras de clima temperado. **Informe Agropecuário**, [s.l.], v. 11, n. 124, p. 3-24, 1985.
- ANZANELLO, R. MENIN, R. P. Cultivares potenciais de pessegueiro, ameixeira, pereira e quivizeiro para a região da Serra Gaúcha. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, Porto Alegre, v. 24, n. 1/2, p. 1-11, 2018.
- ANZANELLO, R. Temperaturas efetivas e necessidade de frio de dois cultivares de ameixeira. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 33, n. 3, 37-41, set./dez. 2020.
- BARBA-ESPÍN, G.; DIAZ-VIVANCOS, P., JOB, D.; BELGHAZI, M.; JOB, C.; HERNÁNDEZ, J.A.; Understanding the role of H₂O₂ during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. **Plant, Cell and Environment**, [s.l.], v. 34, 1907-1919, 2011.
- BOTELHO, R. V.; MAIA, A. J.; PIRES, E. J. P.; TERRA, M. M. Efeito do extrato de alho na quebra de dormência de gemas de videiras e no controle in vitro do agente causal da antracnose (*Elsinoe ampelina* Shear). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 96-102, 2009.
- BOTELHO, R. V.; MÜLLER, M. M. L. Extrato de alho como alternativa na quebra de dormência de gemas em macieiras cv. Fuji Kiku. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticaba, v. 29, n. 1, p. 37-41, 2007.
- CALDEIRA, M. L. Indução química de florescimento de manga. In: SIMPÓSIO SOBRE MANGICULTURA, 2, 1989, Jaboticabal, SP. **Anais [...]**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1989. p. 157-163.
- CAMARGO, U. A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 144-149, 2011.
- CHELIKANI, P.; FITA, I. E LOEWEN, P.C. Diversity of structures and properties among catalases. **Cellular and Molecular Life Sciences**, [s.l.], v. 61, p. 192-208, 2004.
- CUYPERS, A.; VANGRONSVELD, H.; CLIJSTERS, H. The chemical behavior of heavy metals plays a prominent role in the induction of oxidative stress. **Free Radical Research**, [s.l.], v. 31, p. 39-43. 1999.
- EL-YAZAL, M. A. S., RADY, M. M. Foliar-applied Dormex™ or thiourea-enhanced proline and biogenic amine contents and hastened breaking bud dormancy in “Ain Shemer” apple trees. **Trees**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 161-169, 2013.

EL-YAZAL, M. A. S.; RADY, M. M. Foliar-applied Dormex™ or thiourea-enhanced proline and biogenic amine contents and hastened breaking bud dormancy in “Ain Shemer” apple trees. **Trees** **27**, [s.l.], [s.v.], [s.n.], p. 161-169, 2013.

EREZ, A.; COUVILLON, G. A.; KAYS, S. J. The effect of oxygen concentration on the release of peach leaf buds from rest. **HortScience**, Alexandria, v. 15, p. 39-41, 1980.

EREZ, A. Bud dormancy: Phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. *In: Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2000. Cap. 2, p. 17-48.

FARIAS, R. M.; BARRETO, C.; ZANDONA, R.; ROSADO, J.; MARTINS, C. Comportamento do consumidor de frutas na região da fronteira oeste do Rio Grande Do Sul com Argentina e Uruguai. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 4, p. 872-883, 2014.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 12 maio 2021.

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

FONFRÍA, M. A.; FERRER, M. J.; ORENGA, V. A.; BRUNETTI, C. S. **Ameixa, cereja, damasco e pêsego: técnicas avançadas de desbaste, anelamento e fitorreguladores na produção de frutos de primeira qualidade**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1999. 91 p.

GARA, L. D. Class III peroxidases and ascorbate metabolism in plants. **Phytochem. Rev.** [s.l.], v. 3, p. 195–205, 2004.

GONÇALVES, M. A. L.; COCCO, C.; VIGNOLO, G. K.; PICOLOTTO, L.; ANTUNES, L. E. C. Efeito da intensidade de poda na produção e qualidade de frutos de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 742-747, 2014.

HALALY, T.; PANG, X.; BATIKOFF, T.; CRANE, O.; KEREN, A.; VENKATESWARI, J.; OGRODOVITCH, A.; SADKA, A.; LAVEE, S.; OR, E. Similar mechanisms might be triggered by alternative external stimuli that induce dormancy release in grape buds. **Planta**, [s.l.], v. 228, p. 79-88, 2008.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; HERTER, F. G. 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. 258-271, 2010.

HEIDE, O. M.; PRESTRUD, A. K. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. **Tree Physiology**, Orford, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.

- HEIDE, O. M. Temperature rather than photoperiod controls growth cessation and dormancy in Sorbus species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 15, p. 5397-5404, 2011.
- HERNANDEZ, J. A.; VIVANCOS, P. D.; SÁNCHEZ, G. M.; ALBURQUERQUE, N.; MARTÍNEZ, D.; BARBA-ESPÍN, G.; ACOSTA-MOTOS, J. R.; CARRERA, E.; BRUNTÓN J. G. Physiological and biochemical characterization of bud dormancy: Evolution of carbohydrate and antioxidant metabolisms and hormonal profile in a low chill peach variety. **Scientia Horticulturae**. [s.l.], v. 281, 2021a.
- HERNANDEZ, J.A.; VIVANCOS, P. D.; ACOSTA-MOTOS, J. R.; ALBURQUERQUE, N.; MARTÍNEZ, D.; CARRERA, E.; BRUNTÓN, J. G.; BARBA-ESPÍN, G. Interplay among Antioxidant System, Hormone Profile and Carbohydrate Metabolism during Bud Dormancy Breaking in a High-Chill Peach Variety. **Antioxidants**, [s.l.], v. 10, n. 560, 2021b.
- HORVATH, D. P.; ANDERSON, J.V.; CHAO, W.S.; FOLEY, M.E. Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 8, n. 11, p. 534-540, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2019**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 maio 2021.
- JOB, C.; RAJJOU, L.; LOVIGNY, Y.; BELGHAZI, M.; JOB, D. Patterns of protein oxidation in Arabidopsis seeds and during germination. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 138, p. 790–802, 2005.
- KASRAOUI, F.; DUQUESNOY, I.; WINTERTON, P.; LAMAZE, T. Activities of peroxidase (soluble and cell wall bound) and of other H₂O₂ scavenging enzymes are markers of the flower bud development stage in lemon. **Journal of Applied Botany and Food Quality, Gottingen**, [s.l.], v. 87, p. 1-8, 2014.
- KELLER, M. **The science of the grapevines: Anatomy and physiology**. Elsevier: Academic Press. Burlington, MA, 2010. 377 p.
- LANG, G. A. Dormancy a new universal terminology. **HortScience**, Alexandria, v. 22, p. 817-20, 1987.
- LEÃO, P. S. Comportamento de cultivares de uva sem sementes no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 734-737, 2002.
- 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 Subtropicais e Tropicais**. Lavras: Ufla, 2018. 652 p.
- LI, C.; JUNTILA, O.; ERNSTSEN, A.; HEINO, P.; PALVA, E. T. Photoperiodic control of growth, cold acclimation and dormancy development in silver birch (*Betula pendula*) ecotypes. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 117, n. 2, p. 206-212, 2003.
- MAKSYMIEC, W. Effect of copper on cellular processes in higher plants. **Photosynthetica**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 321-342, 1997.

- MARAFON, A. C.; HERTER, F. G.; HAWERROTH, F. H. Umidade ponderal em tecidos de pereira durante o período de dormência sob condições de inverno ameno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1006-1012, 2011.
- MARODIN, G. A. B.; ROMÁN, A. E. C. A cianamida hidrogenada, o óleo mineral e o extrato de alho na quebra de dormência e produção da ameixeira 'Shiro' em Texcoco - México. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 3, p. 177-181, 1997.
- MARQUAT, C.; VANDAMME, M.; GENDRAUD, M.; PÉTEL, G. Dormancy in vegetative buds of peach: relation between carbohydrate absorption potentials and carbohydrate concentration in the bud during dormancy and its release. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 79, n. 3-4, p. 151-162, 1999.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Londres, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.
- MOHAMED, H. B.; VADEL, A. M.; GEUNS, J. M. C.; KHEMIRA, H. Effects of hydrogen cyanamide on antioxidant enzymes' activity, proline and polyamide contents during bud dormancy release in Superior Seedless grapevine buds. **Acta Physiol Plant**, v. 34, p. 429-437, 2012.
- MONET, R.; BASTARD, Y. Effect d'une température modérément élevée 25 °C, sur les bourgeons floraux du pêcher. **Physiologie Végétale**, Paris, v. 9, n. 2, p. 209-226, Apr. 1971.
- NAOR, A.; FLAISHMAN, M.; STERN, R.; MOSHE, A.; EREZ, A. Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 128, n. 5, p. 636-641, 2003.
- NIR, G.; SHULMAN, Y.; FANBERSTEIN, L.; LAVEE S. Changes in the Activity of Catalase (EC 1.11.1.6) in Relation to the Dormancy of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Buds. **Plant Physiology**, Jena, v. 81, p. 1140-1142, 1986.
- OMRAN, R. G. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase, and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings. **Plant Physiology**, Jena, v. 65, n. 2, p. 407-408, 1980.
- OR, E.; VILOZNY, I.; EYAL, Y.; OGRODOVITCH, A. The transduction of the signal for grape bud dormancy breaking induced by hydrogen cyanamide may involve the SNF-like protein kinase GDBRPK. **Plant Molecular Biology**, [s.l.], v. 43, p. 483-494, 2000.
- OR, E.; VILOZNY, I.; FENNELL, A.; EYAL, Y.; OGRODOVITCH, A. Dormancy in grape buds: isolation and characterization of catalase cDNA and analysis of its expression following chemical induction of bud dormancy release. **Plant Science**, Clare, v. 162, n. 1, p. 121-130, 2002.
- PEDRO JÚNIOR, M. J.; BARBOSA, W.; ROLIM, G. S.; DE CASTRO, J. L. Época de florescimento e horas de frio para pessegueiros e nectarineiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 425-430, 2007.
- PÉREZ, F. J.; LIRA, W. Possible role of catalase in post – dormancy buds break in grapevines. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 162, p. 301-308, 2005.

PÉREZ, F. J.; VERGARA, R.; RUBIO, S. H₂O₂ is involved in the dormancy-breaking effect of hydrogen cyanamide in grapevine buds. **Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 55, n. 2, June 2008.

PÉREZ, F. J.; VERGARA, R., OR, E. On the mechanism of dormancy release in Grapevine buds: a comparative study between hydrogen cyanamide and sodium Azide. **Plant Growth Regul**, [s.l.], v. 59, p. 145–152, 2009.

PETRI, J. L.; SEZERINO, A. A.; HAWERROTH, F. J.; PALLADINI, L. A.; LEITE, G. B.; DE MARTIN, M. S. **Dormência e indução à brotação de árvores frutíferas de clima temperado**. Florianópolis: Epagri, 2021. 153 p.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; GABARDO, G. C.; HAVERROTH, F. J. Chemical induction of budbreak: new generation products to replace hydrogen cyanamide. **Acta horticulturae**, Hague, n. 1042, p. 159-166, 2014.

PETRI, J. L.; HERTER, F. G. Dormência e indução a brotação. *In*: MONTEIRO, L. B. **Fruteiras de Carçoço: uma visão ecológica**. Curitiba: UFPR, 2004. p. 119-128.

PIO, R. **Cultivo de Fruteiras de Clima Temperado em Regiões Subtropicais e Tropicais**. 2. ed. Lavras: Ufla, 2018. 681 p.

PRUDENCIO, A. S.; VIVANCOS, P. D.; DICENTA, F.; HERNANDEZ, J.A.; MARTINÉZ GOMEZ, P. Monitoring the transition from endodormancy to ecodormancy in almond through the analysis and expression of a specific Class III peroxidase gene. **Tree Genetics & Genomes**, [s.l.], v. 15, n. 3, May 2019.

RADY, M. M.; EL-YAZAL, M. A. Response of “Anna” apple dormant buds and carbohydrate metabolism during floral bud break to onion extract. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 155, p. 78-84, 2013.

RASEIRA, M. C. B.; QUEZADA, A. Classificação botânica, origem e evolução. *In*: MEDEIROS, C. A. B.; RASEIRA, M. C. B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa Serviço de Produção de Informação, 2003. Cap. 4. p. 31-35.

RASEIRA, M. D. C. B.; NAKASU, B. H.; UENO, B.; SCARANARI, C. Pessegueiro: Cultivar BRS Kampai. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1275-1278, 2010.

RASEIRA, M. C. B.; NAKASU, B. H. Cultivares: descrição e recomendação. *In*: MEDEIROS, C. A. B.; RASEIRA, M. do C.B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: Embrapa, 1998. p. 29-99.

RASEIRA, M. C. B.; NAKASU, B. H.; BARBOSA, W. Cultivares: descrição e recomendação. *In*: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 73-141.

- REIS, V. C. S. **Efeito da aplicação foliar do paclobutrazol na floração e frutificação da mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins**. 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agronomia da UFBA, Cruz das Almas, 1999.
- ROHDE, A.; BHALERAO, R. P. Plant dormancy in the perennial context. **Trends in Plant Science**, Londres, v. 12, n. 5, p. 217-223, 2007.
- SACHS, S.; CAMPOS, A. D. O pessegueiro. *In*: MEDEIROS, C. A. B.; RASEIRA, M. C. B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa Serviço de Produção de Informação, 1998. Cap. 1. p. 13-19.
- SCHMITZ, J. D.; HERTER, F. G.; REGNARD, J. L.; LEITE, G. B.; BONHOMME M.; COCHARD H.; LAURI P. E. Is acrotonic budburst pattern in spring a typical behavior of the low-chilling apple cultivar 'Eva' in mild winter conditions? An approach combining ex planta single-node cutting test and in planta bud water content during dormancy. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 188, p. 84-88, 2015.
- SERGENT, E.; LEAL, F. Inducción floral en mango (*Mangifera indica* L.) con KNO₃. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 10., 1989, Fortaleza, CE. **Anais [...]** Fortaleza: SBF, 1989. p. 334-341.
- SETTIMI, L.; DAVANZO, F.; FARAONI, MICELI, G.; RICHMOND, D.; CALVERT, G.M. Update: Hydrogen cyanamide-related illnesses-Italy, 2002-2004. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, Atlanta, v. 54, n. 16, p. 405-408, 2005.
- SHULMAN, Y.; NIR, G.; LAVEE, S. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 179, p. 141-148, 1986.
- SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba: FEALQ, 1998. 760 p.
- SIMONETTO, P. R.; ANZANELLO, R.; FOGAÇA, C. M.; JUNGES, A. H. Potential for Japanese plum (*Prunus salicina* L.) cultivation in Southern Brazil. **Acta Horticulturae**, [s.l.], n. 985, p. 229-233, 2013.
- STAFSTROM, J. P. Regulation of growth and dormancy in pea axillary buds. *In*: VIÉMONT, J.-D.; CRABBÉ, J. (Ed.). **Dormancy in plants: from whole plant behaviour to cellular control**. Cambridge: University Press, 2000. p.331-346.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- TAMURA, F.; TANABE, K.; ITAI, A.; TANAKA, H. Protein changes in the flower buds of japanese pear during breaking of dormancy by chilling or high-temperature treatment. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 4, p. 532-536, 1998.
- TREJO-MARTÍNEZ, M. A.; OROZCO, J. A.; ALMAGUER-VARGAS, G.; CARVAJALMILLÁN, E.; GARDEA, A. A. Metabolic activity of low chilling grapevine buds forced to break. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 481, p. 28-31, 2009.

UBER, S. C. **Alternativas ao uso da cianamida hidrogenada na indução da brotação em macieiras ‘maxi gala’**. 2014. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages – SC, 2014.

VALAGRO. **Erger**: cultura da dormência, cultura do despertar. 2021. Disponível em: <https://www.valagro.com/brazil/pt/erger/>. Acesso em: 10 maio 2021.

VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVÁ, E.; DAIT, F. J.; INZÉ, D. The role of active oxygen 64 species in plant signal transduction. **Plant Science**, [s.l.], v. 161, p. 405–414, 2001.

VERGARA, R.; PARADA, F.; SEBASTIÁN, R.; PÉREZ, F. J. Hypoxia induces H₂O₂ production and activates antioxidant defence system in grapevine buds through mediation of H₂O₂ and ethylene. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n.11, p. 4123-4131, 2012.

WAGNER JÚNIOR, A.; BRUCKNER, C. H.; PIO, R.; CITADIN, I. Cultivo do pessegueiro. In: PIO, R. (Ed.). **Cultivo de Fruteiras de Clima Temperado em Regiões Subtropicais e Tropicais**. Lavras: Ufla, 2014. 652 p.

WANG, S. Y.; FAUST, M.; JIAO, H. J. Changes in superoxide dismutase activity during thidiazuron-induced lateral budbreak of apple. **HortScience**, Alexandria, v. 26, n. 9, p. 1202-1204, 1991a

WANG, S. Y.; STEFFENS, G. L.; FAUST, M. Breaking bud dormancy in apple with a plant bioregulator, thidiazuron. **Phytochemistry**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 311-317, 1986.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 145-156, 2005.

ZHENG, C.; HALALY, T.; ACHEAMPONG, A. K.; TAKEBAYASHI, Y.; JIKUMARU, Y.; KAMIYA, Y.; OR, E. Abscisic acid (ABA) regulates grape bud dormancy, and dormancy release stimuli may act through modification of ABA metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 5, p. 1527-1542, 2015.

ZHUANG, W.; GAO, Z.; WEN, L.; HUO, X.; CAI, B.; ZHANG, Z. Metabolic changes upon flower bud break in Japanese apricot are enhanced by exogenous GA₄. **Horticulture Research**, [s.l.], v. 2, p. 1- 10, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 DORMANCY BREAKING OF 'KAMPAI' PEACH TREES WITH ALTERNATIVE PRODUCTS IN SUBTROPICAL REGION

Artigo formatado de acordo com as normas do The Journal of Agricultural Science

Abstract

Peach trees initiate flowering and then dense budding when the temperatures in winter are steadily low. When temperatures during the winter are high or when the chilling accumulation needs of the cultivar are not met, it is necessary to apply chemicals that stimulate flowering and budding in a uniform manner. This study aimed to evaluate alternative products for breaking the dormancy of 'Kampai' peach trees in a subtropical region. The experiment was conducted with a seven-year-old 'Kampai' peach trees in the 2018, 2019, and 2020 production cycles were subjected to the following treatments: 1) negative control composed only of water (control); 2) positive control composed of hydrogen cyanamide at a dose of 1.5% (commercial product Dormex[®]) plus 4.5% mineral oil; 3) Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%; 4) potassium nitrate at a dose of 5%; and 5) copper sulfate at a dose of 0.3%. We evaluated affected budding capacity, flowering, the production cycle, peach production, the quality of peach trees, and the enzymatic activities of catalase and guaiacol peroxidase. Hydrogen cyanamide and the organomineral fertilizer Erger G[®] promoted earlier flowering and an earlier production cycle. On the other hand, hydrogen cyanamide and copper sulfate stimulated flower opening and peach production. The chemicals used decreased catalase activity (24 hours after application) and increased guaiacol peroxidase activity (6 hours after application). The application of copper sulfate may be an option to break the dormancy of peach trees in the subtropics.

Keywords: *Prunus persica*; Dormex[®]; earlier production; cultivation in the tropics

Introduction

Temperate fruit trees originate from places with low temperatures during the winter (Rohde & Bhalerão, 2007). In autumn, there is natural leaf fall stimulated by the shortened day and the marked reduction in temperature. These weather changes stimulate the onset of the period known as dormancy (Ruiz *et al.*, 2007). Dormancy is an adaptation mechanism developed by temperate fruit trees as a way to protect plant tissues that are sensitive to low temperature (Campoy *et al.*, 2011). Temperate fruit trees need to accumulate chilling hours during the dormancy period (Pio *et al.*, 2018). Temperatures at or below 7.2 °C are considered a cutoff for the accumulation of chilling hours (Minuzzi, 2018). During the dormancy period, there is a temporary suspension of growth and development. This period is characterized by several biochemical and physiological events in the meristem or nearby tissues (Anzanello *et al.*, 2014). At the end of the dormancy period, the buds begin sprouting or flowering (Rufato *et al.*, 2011).

Temperate fruit tree plantations have extended to subtropical regions, where temperatures are mild in winter and high in summer (Pio *et al.*, 2019). In subtropical regions, temperatures during the winter are not low enough for the accumulation of chilling hours. That is, most temperate fruit trees do not accumulate enough chilling hours to stimulate the natural breaking of dormancy (Erez, 2000; Souza *et al.*, 2019). In this situation, it is necessary to choose cultivars that require fewer chilling hours (Souza *et al.*, 2013).

The peach tree (*Prunus persica*) belongs to the temperate fruit tree group. The cultivar ‘Kampai’ is a new cultivar that has been grown in subtropical regions because it requires less accumulation of chilling hours (Tadeu *et al.*, 2019). When the chilling requirement is not met during the winter, due to insufficient accumulation of chilling hours by the cultivar, there is deficient and uneven budding and reduced and irregular opening of floral and vegetative buds

(Hawerroth *et al.*, 2010a). In this case, it is necessary to use chemicals that stimulate the onset of budding and flowering (Zhuang *et al.*, 2015).

To make up for the lack of chilling hours, the chemical inducer most used for breaking dormancy is hydrogen cyanamide (H_2CN_2) (Petri *et al.*, 2014). This substance is rapidly absorbed and metabolized. It acts by decreasing the activity of enzymes involved in the formation of reactive oxygen species, especially catalase (Maia *et al.*, 2013). The catalase enzyme (present in anaerobic cells) degrades hydrogen peroxide (H_2O_2) into one molecule of oxygen (O_2) and water (H_2O). With the decrease in catalase activity at the end of the dormancy period, the concentration of H_2O_2 in the buds increases (Goldback *et al.*, 1988). This increase is responsible for the activation of the pentose cycle and consequent induction of dormancy release (Omran, 1980).

In the search of alternative products for peach dormancy breaking, the effect of an agent on the activity of catalase and peroxidase enzymes would be indicative of its efficiency as an inducer of dormancy breaking. Studies recommend performing the enzymatic biochemical evaluation 24 hours after the application of the products tested for breaking dormancy (Tomanková *et al.*, 2006; Maia *et al.*, 2013) because it is believed that the relevant biochemical reactions may occur in the first hours after application of the products. Hydrogen cyanamide has high toxicity to humans and the environment (Petri *et al.*, 2014), highlighting the need to develop efficient alternative application protocols for inducing budding. The objective of this study was to evaluate alternative products for breaking the dormancy of the 'Kampai' peach tree in subtropical regions.

Materials and methods

The experiment was conducted in the municipality of Barbacena, Minas Gerais (MG), Brazil (22°22'S, 43°77'W, and 1,173 m altitude). This site is located in the Mantiqueira mountain range of the state of Minas Gerais. According to the Köppen climate classification,

this region is classified as Cwa - subtropical climate (Köppen, 1931). The region has cold, dry winters and hot, humid summers. The experiment was conducted between August and December of 2018, 2019, and 2020.

The minimum and maximum temperatures were collected daily, along with precipitation, to calculate the monthly average temperatures and cumulative precipitation (Figure 1). These data were provided by the weather station of the municipality of Barbacena, MG. The hourly temperatures were used to calculate the chilling hours accumulated according to the Utah method (Minuzzi, 2018). The method considers that temperature intervals by time of day are equivalent to a certain number of chilling units (Table 1).

For the experiment, seven-year-old plants of the 'Kampai' cultivar grafted on the 'Okinawa' rootstock were used. The plants were grown in an open-center system with 6.0×2.7 m spacing, totaling a density of 617 plants per hectare. The crop management practices were standardized throughout the experimental area with respect to fertilization and phytosanitary control, using chemicals recommended for peach cultivation. Fruit thinning was also performed, leaving four fruits on every 25 cm of branch.

The treatments consisted of 1) a negative control composed only of water (control); 2) a positive control composed of hydrogen cyanamide (H_2CN_2) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex[®]) plus 4.5% mineral oil; 3) Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%; 4) potassium nitrate at a dose of 5%; and 5) copper sulfate at a dose of 0.3%. The treatments were applied using a backpack sprayer at 2 liters of spray solution per plant. The experimental design was complete randomized blocks in the factorial design of split-plot in time, with five treatments, four replicates, and five plants per plot, for a total of 100 plants. Only the three central plants of the plot were considered experimental plants.

Pruning was performed in June (dry pruning) and January (green pruning) each year. The treatments were applied on June 18, 2018, June 12, 2019, and June 11, 2020, immediately after pruning. After applying the treatments to break dormancy, the following were counted: days until the beginning of flowering, when 5% of the flowers had opened; duration of flowering, considering 5% flower opening and 95% flower fall; period from fruit formation until harvest; and the total number of days between the application of the treatments and the end of the harvest.

From each experimental plant in the plot, five mixed branches an average of 25 cm long were chosen from the full circumference of the plant in the middle portion, and their number of buds was counted. These same branches supplied the buds for enzyme extraction. At full bloom, when 95% open flowers was estimated, the number of flowers was counted; at 95% flower fall, the number of buds was counted; and 2 days before fruit thinning, the number of fruits was counted. Thus, the percentages of budding, flowering, and effective fruiting were calculated.

At the time of harvest, all fruits of each experimental plant in the plot were placed separately in collection boxes, and the total production (kg/plant) was obtained using a scale. A representative sample of 20 fruits per plot was taken to calculate the mean fruit mass (g) using a digital analytical balance. The estimated yield (t/ha) was estimated by multiplying production per plant by the population density (617 plants per hectare).

For the physical analysis of the fruits, five fruits were selected per experimental plant per plot. Fruit size (height and width, expressed in cm) was measured using a digital caliper. The five fruits were ground to obtain homogenized pulp, and fruit quality analyses were performed: soluble solids (SS), expressed in °Brix, using a digital refractometer; titratable acidity (TA), in % citric acid by titration with 0.1 NaOH; the ratio between the total SS and total TA levels; and pH measured using a digital pH meter.

For the physiological analyses of the enzymes, the buds were collected at 1, 3, 6, 24, and 48 hours after application of the products evaluated to determine the activity of the antioxidant enzymes catalase (CAT) and guaiacol peroxidase (POD). This collection only occurred in the 2020 production cycle. The triads (vegetative and floral) were placed in plastic bags, wrapped in aluminum foil, and then frozen in liquid nitrogen to immediately stop all metabolic reactions. These samples were stored in a ultra freezer at $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ until analysis.

The enzyme extract was obtained by maceration in liquid nitrogen of 0.2 g of buds, to which 1.5 mL of the extraction buffer containing 400 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8), 10 mM EDTA, 200 mM ascorbic acid, and polyvinylpolypyrrolidone was added. The extract was centrifuged at 13,000 g for 10 minutes at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the supernatant was collected and stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ during the analysis period. The supernatants collected were submitted to CAT and POD enzyme analyses.

CAT was evaluated according to Havir & McHale (1987), in which a 9- μL aliquot of the enzyme extract was added to 180 μL of the incubation medium containing 200 mM potassium phosphate (pH 7.0) and 12.5 mM hydrogen and incubated at $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. The activity of this enzyme was determined by the decrease in absorbance at 240 nm every 15 seconds for 3 minutes, as monitored by the consumption of H_2O_2 . The molar extinction coefficient used was $36\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$.

To determine the enzymatic activity of POD, an aliquot of enzyme extract was added to the reaction medium containing 60 μL of guaiacol (0.8%), 180 μL of 100 mM M sodium phosphate buffer (pH 6.0), and 60 μL of H_2O_2 (0.9%) in a 3.6-mL reaction volume. The activity of this enzyme was determined by the increase in absorbance at 470 nm every 15 seconds for 3 minutes. The molar extinction coefficient used was $26.6\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ (Neves, 2003).

The data were statistically analyzed by analysis of variance. In case of significance by the F test, Tukey's test was run at 5% probability. The statistical analyses were run in the System for Analysis of Variance (SISVAR) (Ferreira, 2011).

Results

The values of chilling hours according to the Utah method were negative, between -2,120.5 and -2250, for the years of experimental evaluation. This indicates that there was no chilling accumulation.

According to the statistical analysis, there was a difference in the phenological description of 'Kampai' peach trees only in the first two production cycles between treatment groups (Table 2). All the chemicals applied accelerated floral opening compared to the negative control (water) (Table 2). The application of hydrogen cyanamide and the organomineral fertilizer Erger G[®] shortened the flowering period by at least 1 week. Consequently, the application of these two chemicals reduced the period between application and the end of the harvest by 2 weeks compared to the negative control (Table 2).

In the first two production cycles under evaluation, Erger G[®] promoted an increase in the percentage of budding. The applications of hydrogen cyanamide and copper sulfate also promoted an increase in budding relative to the negative control (Table 3). However, the application of Erger G[®] had a negative effect on flowering. This product provided the lowest percentage of flowering and effective fruiting (Table 3). On the other hand, hydrogen cyanamide and copper sulfate promoted an increase in the percentage of flowering of the peach trees.

In the third production cycle evaluated (2020), there were no significant differences between the chemicals used in breaking dormancy in terms of the phenological cycle or the percentage of budding, flowering, or effective fruiting (Tables 2 and 3). Figure 1 shows that

in this cycle, the temperatures during the winter were lower than those in the previous two years. We believed that the number of chilling hours required for the budding and flowering of the 'Kampai' peach tree was met, so there was no difference between the chemical products applied and the negative control.

The application of hydrogen cyanamide and copper sulfate promoted an increase in peach production and consequently in the estimated yield in the first two production cycles (Table 4). This increase occurred because these chemicals promoted an increase in the percentage of flowering (Table 3).

There was no difference between the negative and positive controls (treatments with chemical products) in the improvements in peach quality (Table 5).

In the first 2 hours of after the application of the evaluated products, the activity of the antioxidant enzymes catalase (CAT) and guaiacol peroxidase (POD) was not different between groups. At 6 hours, changes in the activity of CAT and POD were already recorded (Table 6). These results are important from the point of view of the evaluation of enzymatic activity in subtropical regions, which have milder winters than temperate regions. Our data suggest that enzymatic evaluations in temperate fruit trees in subtropical regions be performed 6 hours after the application of the dormancy-breaking chemicals.

The CAT activity was lower in the buds of plants that were sprayed with hydrogen cyanamide and with the organomineral fertilizer Erger G[®]. There was a trend of lower catalase activity in the buds that received copper sulfate than the buds that received potassium nitrate or water only (Table 6). On the other hand, POD activity was highest in the buds of the plants that were sprayed with hydrogen cyanamide, followed by organomineral fertilizer Erger G[®] and copper sulfate. The results were similar between 6 hours and 24 hours.

Discussion

The accumulation of chilling hours is necessary for the breaking of the dormancy phase in the buds (El-Yazal *et al.*, 2013). In regions where the chilling hours are fewer than those required by a temperate fruit tree, it is necessary to use chemical products that have physiological effects to break them out of their dormant state (Pio *et al.*, 2019). Thus, there was a need to apply chemicals to induce the breaking of peach dormancy in the experimental area.

The application of hydrogen cyanamide and the organomineral fertilizer Erger G[®] can reduce the flowering period of the 'Imperial Gala' and 'Fuji Suprema' apple trees by at least 7 days (Hawerroth *et al.*, 2010a). In blackberry, also classified as fruit of temperate climate, the application of hydrogenated cyanamide and Erger G[®] anticipated flowering by 22 and 15 days, respectively (Segantini *et al.*, 2015). Long flowering periods are symptoms of insufficient chilling during the winter in temperate fruit trees grown in subtropical regions (Pio *et al.*, 2019).

Increased budding and uniformity of budding have been observed in 'Imperial Gala', 'Suprema' and 'Fuji' apple trees when applying the organomineral fertilizer Erger G[®] and hydrogen cyanamide (Hawerroth *et al.*, 2010b). An increase was reported in the formation of shoots in grapevines that received Erger G[®] compared to water only (Rosa *et al.*, 2020). Thus, Erger G[®] can increase the budding capacity in apple and grapevines, as observed here in the 'Kampai' peach tree. However, unlike apple and grapevines, which have mixed buds, peach trees have floral and vegetative buds. For this reason, there was a marked difference in budding and flowering capacity in the Erger G[®] group. Ferreira *et al.* (2019) also observed an increase in sprouting in 'Kampai' peach when applying the organomineral fertilizer Erger G[®].

El-Yazal & Rady (2012), observed an increase in budding with the use of potassium nitrate for dormancy breaking in apple trees. On the other hand, this fertilizer was not effective when applied to peach trees in the present subtropical region. Just as it was not effective in the sprouting of Almond Trees in a study carried out by Elsabagh (2014).

No studies have been published that used copper sulfate as a substitute for hydrogen cyanamide. However, the literature indicates that oxidative stress occurs in response to the presence of heavy metals, especially copper and zinc (Maksymiec, 1998; Cuypers et al., 1999). Thus, a controlled oxidative stress can be involved in the bud dormancy release (Hernandez et al 2021a; 2021b).

In the improvements in peach quality, the results agree with Hawerth et al. (2010b) and Uber te al. (2019) who also did not observe changes in the quality or production of apples with the application of chemicals to break dormancy.

Marchi *et al.* (2017), working with apple tree found changes in the activity of CAT or POD 24 hours after the application of dormancy-breaking products, following the recommendations of the literature.

Mohamed *et al.* (2012) found that the application of hydrogen cyanamide had an inhibitory effect on CAT activity, an effect that triggered the oxidative stress process, with an increase in H_2O_2 that promoted the breaking of dormancy.

When buds are exposed to cold and to chemical or natural agents, the CAT activity declines, H_2O_2 can accumulate inside the peroxisomes. It seems that the peroxisomal membrane is permeable to H_2O_2 , so that excess H_2O_2 could also diffuse through the peroxisomal membrane into the cytosol (Del Río et al., 1998), thus increasing the risk of an oxidative damage in this compartment.

According to Bartosz (1997), H_2O_2 , a reactive oxygen species, might act as a signal in response to abiotic and biotic stresses. It has been proposed that blocking glycolysis during conditions of oxidative stress could stimulate the pentose phosphate pathway (PPP) (Job et al. 2005). The oxidation of proteins involved in glycolysis can stimulate the PPP, an alternative pathway to glycolysis that generates NADPH and pentoses. There are two distinct phases in the PPP pathway. The first is the oxidative phase (oxPPP), in which NADPH is generated,

and the second is the non-oxidative synthesis of 5-carbon sugars. In non-photosynthetic cells (as occurred in the flower buds) the oxPPP is a primary source of reducing power, in the form of NADPH for inorganic nitrogen assimilation, as well as for fatty acid and nucleotide biosynthesis (Barba-Espín et al 2011).

Hydrogen cyanamide and the organomineral fertilizer Erger G[®] promote earlier flowering and an earlier production cycle. Erger G[®] stimulates budding. On the other hand, hydrogen cyanamide and copper sulfate promote greater flower opening and therefore higher peach production. These chemicals promote improvements in milder winters. The chemicals used to break the dormancy of the ‘Kampai’ peach tree in subtropical regions stimulate a decrease in CAT activity (up to 24 hours after application) and an increase in POD (6 hours after application). The application of copper sulfate is an option for breaking the dormancy of peach trees in subtropical region.

References

- Anzanello R., Fialho FB, Santos HP, Bergamashi R, and Marondin GAB** (2014) Bud dormancy in apple trees after thermal fluctuations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **49**, 457-464.
- Barba-Espín G., Diaz-Vivancos P., Job D., Belghazi M., Job C., Hernández JA** (2011) Understanding the role of H₂O₂ during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. *Plant, Cell and Environment*, **34**, 1907-1919.
- Bartosz G** (1997) Oxidative stress in plants. *Acta Physiologiae Plantarum* **19**, 47- 64.
- Campoy JA, Ruiz D and Egea J** (2011) Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae* **130**, 357-372.

- Cuypers A, Vangronsveld H and Clijsters H** (1999) The chemical behavior of heavy metals plays a prominent role in the induction of oxidative stress. *Free Radical Research* **31**, 39-43.
- Del Río LA, Pastori GM, Palma JM, Sandalio LM, Sevilla F, Corpas FJ, Jiménez A, López-Huertas E, and Hernández JA** (2018) The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiology* **116**, 1195–1200.
- Elsabagh AS** (2014). Influences of potassium nitrate, gibberellin and benzyl adenine on bud break, fruit set and branch induction of almond trees. *Acta Horticulturae* **1028**, 359-366.
- El-Yazal MAS and Rady MM** (2013) Foliar-applied Dormex™ or thiourea-enhanced proline and biogenic amine contents and hastened breaking bud dormancy in “Ain Shemer” apple trees. *Trees* **27**, 161-169.
- El-Yazal MAS, Rady MM** (2012) Changes in nitrogen and polyamines during breaking bud dormancy in “Anna” apple trees with foliar application of some compounds. *Scientia Horticulturae* **136**, 75-80.
- Erez A** (2000) Bud dormancy: phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: EREZ, A. Temperate fruit crops in warm climates. *Kluwer Academic Publishers*, 17-48.
- Ferreira DF** (2011) Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia* **35**, 1039-1042.
- Ferreira RB, Leonel S, Souza JMA, Silva MS, Ferraz RA, Martins RC and Silva MSC** (2019) Peaches phenology and production submitted to foliar nitrogen fertilizer and calcium nitrate. *Bioscience Journal* **35**, 752-762.
- Goldback H, Thaler C and Wünsch A** (1988) Decomposition of ¹⁴C- labeled cyanamide in *Vitis vinifera* cuttings. *Journal of Plant Physiology* **133**, 299-303.

- Havir EA and Mchale NA** (1987) Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiology* **84**, 450-455.
- Hawerroth FJ, Petri JL, Leite GB and Herter FG** (2010a) Budbreak in ‘Imperial Gala’ and ‘Fuji Suprema’ apples by use of Erger and calcium nitrate. *Revista Brasileira de Fruticultura* **32**, 343-350.
- Hawerroth FJ, Petri JL and Leite GB** (2010b) Budbreak induction in apple trees by erger and calcium nitrate application. *Acta Horticulturae* **884**, 511-516.
- Hernandez JA, Vivancos PD, Sánchez GM, Albuquerque N, Martínez D, Barba-Espín G, Acosta-Motos JR, Carrera E and Bruntón JG** (2021a) Physiological and biochemical characterization of bud dormancy: Evolution of carbohydrate and antioxidant metabolisms and hormonal profile in a low chill peach variety. *Scientia Horticulturae* **281**, 109957
- Hernandez JA, Vivancos PD, Acosta-Motos JR Albuquerque N, Martínez D, , Carrera E, Bruntón JG and Barba-Espín G** (2021b) Interplay among Antioxidant System, Hormone Profile and Carbohydrate Metabolism during Bud Dormancy Breaking in a High-Chill Peach Variety. *Antioxidants* **10**, 560.
- Job C, Rajjou L, Lovigny Y, Belghazi M and Job D** (2005) Patterns of protein oxidation in Arabidopsis seeds and during germination. *Plant Physiology* **138**, 790–802
- Köppen W** (1931) Die klimare der Erde. Berlin: W. Guyter, pp 390.
- Maia AJ, Schwan-Estrada KRF, Faria CMDR., Jardinetti VA and Botelho RV** (2013) Bud break of ‘Benitaka’ grapevines treated with gallsia integrifolia hydrolate. *Revista Brasileira de Fruticultura* **35**, 685-694.
- Maksymiec W** (1998) Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica* **34**, 321-342.

- Marafon AC, Herter FG, Bacarin MA and Hawerroth FJ** (2009). Peroxidase activity during the rest period of peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv. Jubileu in plants with and without symptoms of peach-tree-short-life (PTSL). *Revista Brasileira de Fruticultura*, **31**, 938-942.
- Marchi T, Oliari ICR, Maia AJ, Sato AJ and Botelho RV** (2017) Induction of bud development in apple trees with the application of vegetable and mineral oils. *Revista Ciência Agronômica* **48**, 501-512.
- Minuzzi RB** (2018) Statistical modeling for the monthly estimate of chilling hours and units in Plateau regions of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, Brazil. *Revista Ceres* **65**, 474-480.
- Mohamed HB, Vadel AM and Geuns JMC** (2012). Effects of hydrogen cyanamide on antioxidant enzymes' activity, proline and polyamine contents during bud dormancy release in Superior Seedless grapevine buds. *Acta Physiologiae Plantarum*, **34**, 429-437.
- Nir G, Shulman Y, Fanberstein L and Lavee S** (1986) Changes in the activity of catalase in relation to the dormancy of grapevine (*Vitis vinifera* L.) buds. *Plant Physiology* **81**, 1.140-1.142.
- Neves LLM** (2003). Envolvimento de enzimas oxidativas no escurecimento do quiabo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench]. 72 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Omran RG** (1980) Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase, and indoleacetic acid oxidase during and after chilling of cucumber seedlings. *Plant Physiology* **65**, 407-408.

- Petri JL, Leite GB, Couto M and Gabardo GC** (2014) Chemical induction of budbreak: new generation products to replace hydrogen cyanamide. *Acta Horticulturae* **1042**, 159-166.
- Pio R, Souza FBM, Kalcsits L, Bisi RB and Farias DH** (2019) Advances in the production of temperate fruits in the tropics. *Acta Scientiarum. Agronomy* **41**, 1-10.
- Rohde A and Bhalerão RP** (2007) Plant dormancy in the perennial context. *Trends in Plant Science* **12**, 217-223.
- Rosa AM, Marodin GAB, Fialho FB, Marchi VV and Santos HP** (2020) Alternative budburst management in Campanha Gaúcha vineyards. *Revista Brasileira de Fruticultura* **42**, 1
- Rufato L, Kretschmar AA, Bogo A, Machado BD, Marcon Filho JL, Luz AR and Marchi T** (2011) Vegetative aspects of european pear scions cultivars in combination with quince roots-tocks in Urupema Santa Catarina State, Brazil. *Acta Horticulturae*, **909**, 207-213.
- Ruiz D, Campoy JA and Egea J** (2007).Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany* **61**, 254-263.
- Segantini D, Leonel S, Silva Ripardo A, Tecchio M and de Souza M** (2015). Breaking Dormancy of “Tupy” Blackberry in Subtropical Conditions. *American Journal of Plant Sciences* **6**, 1760-1767.
- Souza FBM, Alvarenga AA, Pio R, Gonçalves ED, Patto LS** (2013). Fruit production and quality of selections and cultivars of peach trees in Serra da Mantiqueira, Brazil. *Bragantia* **72**, 133-139.
- Souza FBM, Alves E, Pio R, Castro E, Reighard GL, Freire AI, Mayer NA, Pimentel R** (2019) Influence of temperature on the development of peach fruit in a subtropical climate region. *Agronomy-Basel* **9**, 20-30.

- Tadeu MH, Pio R, Silva GN, Olmstead M, Cruz CD, Souza FBM, Bisi RB** (2019) Methods for selecting peach cultivars in the tropics. *Scientia Horticulturae* **252**, 252-259.
- Tomanková K, Luhová L, Petřivalský M, Peč P, Lebeda A** (2006) Biochemical aspects of reactive oxygen species formation in the interaction between *Lycopersicon* spp. and *Oidium neolycopersici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **68**, 22-32.
- Uber SC, Petri JL, Kretzschmar AA, Fagundes E, Correa D and Silveira FN** (2019) Alternativas ao uso de cianamida hidrogenada na indução da brotação de gemas em macieiras 'Maxi Gala'. *Acta Iguazu* **8**, 126-147.
- Zhuang W, Gao Z, Wen L, Huo X, Cai B, Zhang Z** (2015). Metabolic changes upon flower bud break in Japanese apricot are enhanced by exogenous GA₄. *Horticulture Research* **2**, 1-10.

Tables**Table 1** - Chilling units (CU) by the Utah method, as a function of hourly air temperature.

Hourly air temperature (°C)	Chilling Units (CU)
< 1.4	0.0
1.5 to 2.4	0.5
2.5 to 9.1	1.0
9.2 to 12.4	0.5
12.5 to 15.9	0.0
16.0 to 18.0	-0.5
> 18.0	-1.0

Table 2 - Phenological description of the ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) plus 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021).

Treatment	Dormancy		Duration of flowering (days)	Duration	
	Onset of dormancy breaking	breaking until onset of flowering (days)		from fruit formation to harvest	Total (days)
2018 Production cycle *					
HC	06/18	17.5 Ab	18.2 Ab	88.2 Aa	124 Ab
Erger G®	06/18	18.2 Ab	17.5 Ab	91.0 Aa	125 Ab
Potassium nitrate	06/18	22.5 Aab	24.0 Aa	88.7 Aa	130 Aab
Copper sulfate	06/18	22.5 Aab	24.7 Aa	90.2 Aa	131 Aab
Control	06/18	25.5 Aa	24.0 Aa	92.0 Aa	139 Aa
2019 Production cycle					
HC	06/12	17.5 Ac	15.7 Bc	80.7 Ba	119 Bb
Erger G®	06/12	20.0 Ac	15.0 Bc	81.2 Ba	120 Bb
Potassium nitrate	06/12	24.5 Aab	20.2 Bb	78.0 Ba	128 Aab
Copper sulfate	06/12	22.5 Ab	20.0 Bb	79.0 Ba	125 Bb
Control	06/12	27.9 Aa	25.5 Aa	80.5 Ba	133 Ba
2020 Production cycle					
HC	06/11	14.5 Ba	14.0 Ba	88.2 Aa	114 Ca
Erger G®	06/11	14.7 Ba	14.2 Ba	90.2 Aa	115 Ca
Potassium nitrate	06/11	15.2 Ba	14.0 Ca	89.0 Aa	118 Ba

Copper sulfate	06/11	14.7 Ba	14.7 Ca	90.2 Aa	117 Ca
Control	06/11	14.2 Ba	14.0 Ba	90.0 Aa	117 Ca
CV (%) Subplot		3.0	4.4	1.7	1.4
CV (%) Plot		3.0	5.3	2.6	1.5

*Uppercase letters compare the production cycles, and lowercase letters compare the treatments.

Means followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Table 3 - Percentage of budding, flowering, and effective fruiting in ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: with hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) plus 4.5% oil mineral, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021.

Treatments	Budding (%) *	Flowering (%)	Effective Fruiting (%)
2018 Production cycle *			
HC	63.1 Ab	72.8 Aa	52.5 Ba
Erger G®	76.7 Aa	40.7 Bc	40.1 Bb
Potassium nitrate	56.7 Ac	54.4 Ab	47.8 Ba
Copper sulfate	62.0 Ab	69.9 Aa	49.3 Ba
Control	47.8 Ad	55.2 Ab	50.0 Ba
2019 Production cycle			
HC	56.7 Ab	71.8 Aa	67.8 Aa
Erger G®	74.2 Aa	40.2 Bc	43.4 Bb
Potassium nitrate	44.6 Ac	54.6 Ab	63.1 Aa
Copper sulfate	56.0 Ab	65.2 Aa	65.2 Aa
Control	22.4 Bd	56.2 Ab	69.2 Aa
2020 Production cycle			
HC	58.7 Aa	61.7 Ba	57.1 Ba
Erger G®	61.5 Ba	53.5 Aa	53.2 Aa
Potassium nitrate	54.3 Aa	56.7 Aa	51.9 Ba
Copper sulfate	55.0 Aa	55.8 Ba	54.7 Ba
Control	56.5 Aa	55.8 Aa	51.8 Ba
CV (%) Subplot	24.9	17.0	16.9
CV (%) Plot	17.6	18.2	20.1

*Uppercase letters compare the production cycles, and lowercase letters compare the treatments.

Means followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Table 4 - Production (kg/plant), mean fruit mass (g) and estimated yield (t/ha) of ‘Kampai’ peach trees according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex®) supplemented with 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G® supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021.

Treatments	Production (kg/plant)	Mean fruit mass (g)	Estimated yield (t/ha)
2018 Production cycle *			
HC	50.7 Aa	99.3 Aa	31.3 Aa
Erger G®	45.6 Aab	97.4 Aa	28.1 Aab
Potassium nitrate	38.5 Bb	98.5 Aa	23.7 Bb
Copper sulfate	49.3 Aa	98.4 Aa	30.4 Aa
Control	44.4 Aab	99.2 Aa	27.4 Aab
2019 Production cycle			
HC	53.9 Aa	117.0 Aa	33.3 Aa
Erger G®	50.7 Aab	117.7 Aa	31.3 Aab
Potassium nitrate	44.8 Ab	119.4 Aa	27.6 Ab
Copper sulfate	54.2 Aa	120.2 Aa	33.5 Aa
Control	50.7 Aab	121.1 Aa	31.3 Aab
2020 Production cycle			
HC	43.2 Aa	109.1 Aa	26.7 Aa
Erger G®	41.3 Aa	115.3 Aa	25.5 Aa
Potassium nitrate	43.0 Aa	109.7 Aa	26.5 Aa
Copper sulfate	46.7 Aa	115.9 Aa	28.8 Aa
Control	43.8 Aa	114.8 Aa	27.0 Aa
CV (%) Subplot	17.3	18.8	17.3

CV (%) Plot	15.2	15.5	15.2
-------------	------	------	------

*Uppercase letters compare the production cycles, and lowercase letters compare the treatments.

Means followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Table 5 - Total soluble solids (expressed in °Brix), total titratable acidity (g citric acid 100 g⁻¹), soluble solids and titratable acidity ratio (ratio), pH, and fruit size (height and width, expressed in cm) of fruits of the peach tree ‘Kampai’ according to the dormancy-breaking treatment: hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex[®]) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with calcium nitrate at the dose of 3%, potassium nitrate at the dose of 5%, copper sulfate at the dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2018, 2019, and 2020 production cycles, in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021.

Treatments	Acidity (g			pH	Height (cm)	Width (cm)
	SS (°Brix)	citric acid 100 g ⁻¹)	Ratio			
2018 Production cycle *						
HC	10.4 Aa	0.4 Aa	25.5 Aa	3.6 Aa	6.3 Aa	5.5 Aa
Erger G [®]	10.4 Aa	0.4 Aa	25.5 Aa	3.7 Aa	6.3 Aa	5.4 Aa
Potassium nitrate	10.3 Aa	0.4 Aa	24.5 Aa	4.0 Aa	6.0 Aa	5.5 Aa
Copper sulfate	10.4 Aa	0.4 Aa	24.3 Aa	3.6 Aa	6.2 Aa	5.4 Aa
Control	10.2 Aa	0.3 Aa	25.9 Aa	3.6 Aa	6.1 Aa	5.5 Aa
2019 Production cycle						
HC	9.3 Aa	0.4 Aa	23.1 Aa	3.6 Aa	7.3 Aa	6.1 Aa
Erger G [®]	9.3 Aa	0.3 Aa	22.0 Aa	3.6 Aa	7.0 Aa	6.1 Aa
Potassium nitrate	9.3 Aa	0.4 Aa	23.1 Aa	3.6 Aa	7.4 Aa	6.1 Aa
Copper sulfate	9.3 Aa	0.4 Aa	23.0 Aa	3.7 Aa	7.1 Aa	6.0 Aa
Control	9.4 Aa	0.4 Aa	23.0 Aa	4.1 Aa	7.1 Aa	6.2 Aa
2020 Production cycle						
HC	9.8 Aa	0.4 Aa	23.8 Aa	4.1 Aa	6.3 Aa	5.4 Aa
Erger G [®]	9.9 Aa	0.4 Aa	23.4 Aa	4.0 Aa	6.2 Aa	5.5 Aa
Potassium nitrate	9.9 Aa	0.4 Aa	23.1 Aa	3.9 Aa	6.3 Aa	5.6 Aa

Copper sulfate	9.7 Aa	0.4 Aa	24.7 Aa	4.1 Aa	6.1 Aa	5.3 Aa
Control	9.8 Aa	0.4 Aa	23.0 Aa	3.9 Aa	6.0 Aa	5.1 Aa
CV (%) Subplot	8.4	15.8	21.0	12.8	6.5	7.1
CV (%) Plot	10.3	22.5	18.5	14.9	6.1	5.4

*Uppercase letters compare the production cycles, and lowercase letters compare the treatments.

Means followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Table 6 - Physiological analyses of catalase ($\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$) and guaiacol peroxidase ($\text{nmol tetraguaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$) in buds of ‘Kampai’ peach branches, collected 1, 3, 6, 24, and 48 hours after the application of the dormancy-breaking treatment with hydrogen cyanamide (HC) at a dose of 1.5% (commercial product Dormex[®]) plus 4.5% mineral oil, organomineral fertilizer Erger G[®] supplemented with calcium nitrate at a dose of 3%, potassium nitrate at a dose of 5%, copper sulfate at a dose of 0.3%, or the control composed only of water, in the 2020 production cycle in a subtropical region. Barbacena, MG, Brazil, 2021.

Treatments	1 hour	3 hours	6 hours	24 hours	48 hours
Catalase activity ($\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$)*					
HC	1.12 Aa	0.94 Aa	0.79 ABb	0.52 Bb	0.53 Ba
Erger G [®]	1.07 Aa	0.89 Aa	0.84 Ab	0.76 Ab	1.01 Aa
Potassium nitrate	1.34 Aa	0.89 Ba	1.16 ABa	1.32 Aa	0.34 Ca
Copper sulfate	0.91 Ba	0.90 Ba	1.02 ABab	1.19 Aab	0.77 Ba
Control	1.12 Ba	0.79 Ba	1.26 Aa	1.54 Aa	0.82 Ba
CV (%) Subplot			15.2		
CV (%) Plot			18.4		
Guaiacol peroxidase activity ($\text{nmol tetraguaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$)					
HC	3.88 Ba	3.20 Ba	8.02 Aa	3.92 Ba	3.11 Ba
Erger G [®]	3.92 Ba	3.00 Ba	5.64 Ab	3.66 Ba	3.15 Ba
Potassium nitrate	3.28 Ba	3.13 Ba	4.87 Ac	2.43 Bb	3.20 Ba
Copper sulfate	3.02 Ba	3.01 Ba	6.14 Ab	3.09 Bab	2.86 Ba
Control	3.16 Ba	2.82 Ba	4.01 Ac	1.89 Cb	2.95 Ba
CV (%) Subplot			26.3		
CV (%) Plot			22.1		

*Uppercase letters compare the time (hours), and lowercase letters compare the treatments. The means followed by the same do not differ by Tukey’s test ($P \leq 0.05$).

Figure Captions

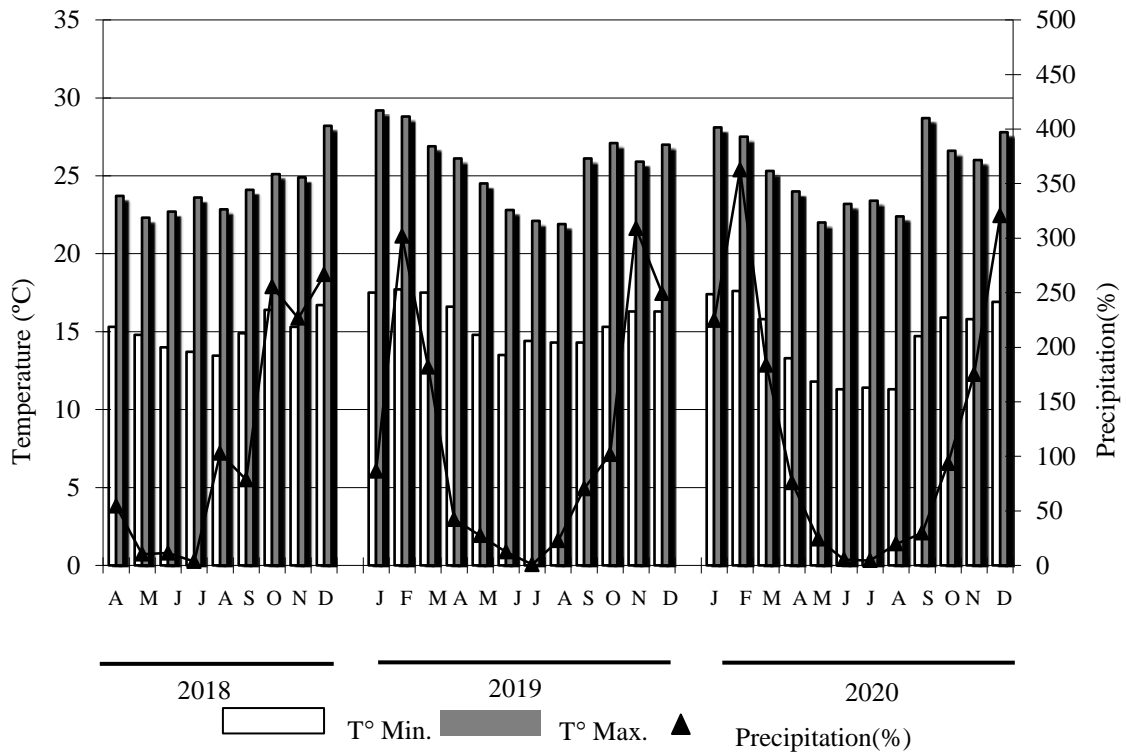


Figure 1 - Climate data from April to December 2018 and January to December 2019 and 2020. Barbacena, Minas Gerais, Brazil, in 2021.

ARTIGO 2 ALTERNATIVE PRODUCTS FOR BREAKING DORMANCY IN 'REUBENNEL' PLUM TREES IN SUBTROPICAL REGION

Artigo formatado de acordo com as normas do Israel Journal of Plant Sciences

Abstract – Plum is a temperate fruit tree and thus shows abundant budding and flowering following extended periods of low winter temperatures. When adequate periods of low temperatures do not occur, it is necessary to apply products to stimulate bud dormancy break and uniform leaf and flower appearance. This application is more frequently needed when plum trees are grown in the tropics. The objective of this study was to evaluate alternative products for breaking dormancy in 'Reubennel' plum trees in subtropical region. The experiment was conducted at a site located at 22°22'S, 43°77'W and 1,173 m altitude, with a Cwa climate type. The following treatments were applied to eight-year-old 'Reubennel' plum trees in the 2018 and 2019 production cycles: 1) a negative standard composed of only water (control), a positive standard composed of 2) 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) plus 4.5% mineral oil, 3) Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 4) 5% potassium nitrate and 5) 0.3% copper sulfate. Two liters of the treatment solutions were applied per plant with a sprayer. The effect of the tested products on budding and flowering capacity, production cycle reduction and production and quality of 'Reubennel' plums was evaluated. It was concluded that the chemicals used to break dormancy affected only the phenology of plum trees in this subtropical region and that the application of copper sulfate can be used to break dormancy in these trees.

Keywords: *Prunus* sp.; Dormex[®]; production hastening; tropical cultivation

1 Introduction

Temperate fruit trees were naturally selected in regions where winter temperatures are low (Rohde & Bhalerão, 2007). At the end of autumn, there is natural leaf fall in these fruit trees, stimulated by the reduced day length and marked decrease in temperature. These climatic changes stimulate entry into the period known as dormancy (Ruiz et al., 2007). Dormancy is a mechanism developed by temperate fruit trees to protect plant tissues, which are sensitive to low temperatures, especially negative temperatures (Campoy et al., 2011).

Temperate fruit trees need to accumulate chilling hours (CH) during dormancy to later flower properly (Pio et al., 2018). A temperature threshold of ≤ 7.2 °C is considered in the accumulation of CH (Minuzzi, 2018). During the dormancy period, growth and development are temporarily suspended, and a number of biochemical and physiological events take place in the meristem or nearby tissues (Anzanello et al., 2014). At the end of the dormancy period, buds begin bursting or flowering (Rufato et al., 2011).

The economic exploitation of temperate fruit trees has extended to the tropics, where winter temperatures are mild (Pio et al., 2018). In these regions, winter temperatures are not sufficiently low for the accumulation of CH in most temperate fruit trees (Erez, 2000). In this case, one strategy for the continued use of these trees is the adoption of cultivars that require fewer CH (Pio et al., 2018).

Plum (*Prunus* sp.) belongs to the group of temperate fruit trees. The cultivar 'Reubennel' is currently the most planted in subtropical regions because it requires fewer CH (Pio et al., 2018). Even with the use of cultivars that require fewer CH, the natural induction of budburst is the limiting factor for the cultivation of temperate fruit trees in tropical and subtropical regions. When the need for CH is not met, deficient and uneven budburst occurs, as well as reduced and irregular opening of floral and vegetative buds (Hawerroth et al.,

2010a). Thus, it is necessary to use chemicals that stimulate and promote budburst and flowering (Zhuang et al., 2015).

Budburst-inducing products are used to compensate for the absence of temperatures that meet the threshold for CH during winter (Pio et al., 2018). Several chemical substances for artificially breaking bud dormancy have been studied, with hydrogen cyanamide (CH_2N_2) and mineral oil being the most commonly used (Petri et al., 2014). The main desirable characteristics of these chemical substances are high budding induction efficiency, low cost of use and minimal toxicity to plants and the environment (Erez, 2000). Hydrogen cyanamide has high environmental toxicity and restrictive factors (Petri et al., 2014). Given the need to identify chemicals for use on temperate fruit trees, the development of efficient alternative application protocols for budding induction is desired.

The objective of this study was to evaluate alternative products for breaking dormancy in 'Reubennel' plum trees in subtropical region.

2 Materials and methods

The experiment was conducted at a site located in the Mantiqueira Mountain Range in Minas Gerais state, in the municipality of Barbacena, Brazil. The Koppen climate classification for this region is Cwa - subtropical climate, with cold and dry winters and hot and humid summers. This region is located at 22°22'S, 43°77'W and 1,173 m altitude. The experiment was conducted between August and December of 2018 and 2019.

During the execution of the experiment, the mean, minimum and maximum temperatures were collected daily, in addition to the daily cumulative rainfall (Figure 1). Hourly temperatures were used to determine the number of accumulated CH using the Utah method (Minuzzi, 2018). According to this method, temperature intervals by time of day are equivalent to a certain number of chill units (CU) (Table I).

Table I - Chill units (CU) determined by the Utah method as a function of the hourly air temperature.

Hourly air temperature (°C)	Chill units (CU)
< 1.4	0.0
1.5 to 2.4	0.5
2.5 to 9.1	1.0
9.2 to 12.4	0.5
12.5 to 15.9	0.0
16.0 to 18.0	-0.5
> 18.0	-1.0

Eight-year-old 'Reubennel' plum trees were evaluated. The plants were grown under the open vase training system, with 6.0 x 4.0 m spacing, at a density of 417 plants per hectare. The orchard management practices were standardized, especially with regard to fertilization and phytosanitary control, using chemicals recommended for cultivation.

The treatments consisted of 1) a negative standard composed of only water (control), a positive standard composed of 2) 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) plus 4.5% mineral oil, 3) Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 4) 5% potassium nitrate and 5) 0.3% copper sulfate. The treatments were applied with a sprayer, applying 2 L of solution per plant.

The experimental design was complete randomized blocks in the factorial design of split-plot in time, with five treatments, four replicates, and five plants per plot, for a total of 100 plants. . Only the three central plants in each plot were considered useful.

Pruning was performed in August of each year. The treatments were applied on August 24, 2018, and August 30, 2019. After applying the treatments, the following were counted: the number of days until the beginning of flowering, when 5% of the flowers were opening; duration of flowering, considered the time between 5% flower opening and 95% flower fall; period between fruit formation and harvest; and total number of days between treatment application and the end of harvest.

Five mixed branches, approximately 25 cm long, distributed around the circumference of the middle part of the plant were selected from each useful plant in each plot. The number of buds, leaves, flowers and fruits and budding and flowering percentages were quantified.

At harvest time, all the fruits from each useful plant in each plot were placed in harvest boxes, and a scale was used to obtain the production value (kg/plant). A digital scale was used to calculate the mean fruit weight (g) of a sample of 20 fruits. The estimated yield (t/ha) was calculated by multiplying the production per plant by the population density (417 plants per hectare).

Five fruits per useful plant in each plot were collected for physical analysis. Fruit size (height and width, in cm) was measured using a digital caliper. Fruit quality was determined by grinding the five fruits to obtain homogenized pulp and analyzing the total soluble solids (TSS) content (°Brix) using a digital refractometer and total titratable acidity (TTA; % citric acid) by titration with NaOH 0.1; the TSS/TTA ratio was then calculated. The pH was measured with a digital pH meter.

The data were subjected to analysis of variance, and when the F test was significant, Tukey's test was conducted at a 5% probability level. The statistical analyses were performed in System for Analysis of Variance (SISVAR) software (Ferreira, 2011).

3 Results and Discussion

The quantification of CH by the Utah method revealed negative values of -2120.5 and -2250 for 2018 and 2019, respectively. These values indicate that there was no chill accumulation, demonstrating the need for the application of budburst inducers in plum trees grown in subtropical regions.

According to El-Yazal et al. (2013), the accumulation of CH naturally induces the end of the dormancy period in buds. However, in regions where CH are lower than the number required by the fruit tree, it is necessary to use chemical products with physiological effects that break vegetative dormancy.

Based on a phenological description of 'Reubennel' plum trees, all the chemical treatments accelerated floral opening by at least six days compared to the negative standard composed of only water (Table II).

Table II - Phenological description of 'Reubennel' plum trees after the application of treatments to break their dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex® commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G® organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil).

Treatment	Start of	Break to flowering	Flowering duration	Fruit formation	Total
-----------	-------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	-------

	break	start (days)	(days)	to harvest	(days)
				(days)	
2018 production cycle					
HC	24/aug	19.0Ab	12.0Ab	95.0Aa	126.0Ab
Erger G [®]	24/aug	20.5Ab	9.8Bb	93.3Aa	123.5Ab
Potassium nitrate	24/aug	23.0Ab	18.0Aa	86.0Aa	127.0Ab
Copper sulfate	24/aug	23.0Ab	18.0Aa	86.0Aa	127.0Ab
Control	24/aug	29.0Aa	17.8Aa	89.8Aa	139.5Aa
2019 production cycle					
HC	30/aug	8.0Bc	10.0Ab	75.3Ba	93.3Bc
Erger G [®]	30/aug	9.3Bc	11.0Ab	73.3Ba	95.5Bc
Potassium nitrate	30/aug	16.0Bb	16.3Aa	74.0Ba	108.3Bb
Copper sulfate	30/aug	17.0Bb	15.0Ba	72.8Ba	106.8Bb
Control	30/aug	23.0Ba	17.0Ba	74.8Ba	122.8Ba
CV (%) Subplot		3.2	7.8	1.0	0.9
CV (%) Plot		0.8	8.9	1.0	1.6

*Uppercase letters compare the production cycles and lowercase letters compare the treatments, and means followed by the same letters do not differ according to Tukey's means comparison test ($P \leq 0.05$).

The application of HC and the organomineral fertilizer Erger G[®] reduced the duration of flowering. The treatments including chemical products (i.e., the positive standards) had a

direct effect on the reduction in the total phenological cycle. Table II shows that there was a difference of at least 12 days between the application of the treatments (positive standard) and the end of the harvest compared to the same period in the negative standard. This finding may positively impact harvest scheduling and optimize logistics of plum commercialization.

Similar results were observed by Hawerth et al. (2010a). According to those authors, the application of the bud break inducers HC and the organomineral fertilizer Erger G[®] reduced the flowering period by at least seven days. The prolongation of the flowering period in fruit orchards in the tropics is a typical symptom of insufficient winter chill, and an increased flowering period may hinder the performance of some crop management practices (Pio et al., 2018).

The application of the organomineral fertilizer Erger G[®] resulted in greater budding in the plum branches (Table III), with a direct influence on the number of leaves produced and budding percentage. The application of HC and copper sulfate also tended to promote increased leaf appearance.

Table III - Number of buds, leaves, flowers and fruits and budding and flowering percentage in 'Reubennel' plum trees after the application of treatments for breaking dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex[®] commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G[®] organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil).

Treatment	Number		Budding		
	Number	of leaves	Number	Number	(%) Flowering

	of buds	of flowers	of fruits	(%)		
2018/19 production cycle						
HC	22.0Aa	16.0Aab	17.8Aa	5.8Aa	71.5Bab	85.3Aa
Erger G [®]	24.5Aa	20.0Aa	8.5Ab	4.8Aa	78.0Ba	35.3Ac
Potassium nitrate	22.9Aa	12.0Ab	13.0Aa	6.0Aa	62.1Ab	55.6Bb
Copper sulfate	22.8Aa	15.8Aab	14.8Aa	5.5Aa	69.7Aab	73.7Ba
Control	22.3Aa	13.3Ab	15.0Aa	3.5Aa	55.3Ac	58.9Ab
2019/20 production cycle						
HC	18.3Aa	14.0Aab	16.8Aa	4.3Aa	76.3Ab	93.9Aa
Erger G [®]	19.8Aa	18.0Aa	3.8Ab	2.5Aa	83.3Aa	24.1Bc
Potassium nitrate	19.3Aa	7.0Bb	13.3Aa	4.8Aa	36.7Bd	69.8Ab
Copper sulfate	18.8Aa	13.0Aab	16.0Aa	3.8Aa	74.4Bb	87.1Aa
Control	18.3Aa	9.5Ab	12.0Aa	2.3Aa	52.6Ac	65.4Ab
CV (%) Subplot	10.2	7.2	43.3	40.6	19.4	44.8
CV (%) Plot	10.7	18.3	48.3	49.9	23.4	57.9

*Uppercase letters compare the production cycles and lowercase letters compare the treatments, and means followed by the same letters do not differ according to Tukey's means comparison test ($P \leq 0.05$).

In contrast, when the Erger G[®] organomineral fertilizer was applied, there was a reduction in the number of flowers on the branches (Table III). Thus, the lowest flowering percentage occurred with the application of Erger G[®]. The application of HC and copper sulfate stimulated higher flower appearance in the plum trees. The highest flowering percentage in the plum branches was observed when these two treatments were applied.

According to Hawerroth et al. (2010b), the organomineral fertilizer Erger G[®] has an effect similar to that of HC. The same authors found an increase in budbreak of axillary and terminal buds and improved budbreak uniformity in 'Imperial Gala', 'Suprema' and 'Fuji' apple trees. Rosa et al. (2020) also found an increase in shoot emission in grapevines treated with Erger G[®] compared to vines not treated with budburst inducers.

It is important to note that the application of Erger G[®] increased budbreak in apple and grapevines, according to the cited studies. In the present study, the budding percentage of the plum trees also increased with the use of this product. However, because plum trees have both flowering and vegetative buds, unlike apple and grapevine, which have mixed buds, the application of Erger G[®] did not increase flower appearance in the plum trees.

El-Yazal & Rady (2012) observed an increase in budbreak with the use of potassium nitrate for breaking dormancy in apple trees. However, this fertilizer was not effective when applied to plum trees in a subtropical region.

To date, no studies have used copper sulfate as a substitute for HC, but there is vast literature indicating a relationship between the occurrence of oxidative stress and the presence of heavy metals, especially copper and zinc (Maksymiec, 1997; Cuypers et al., 1999).

The application of HC and copper sulfate had a direct effect on the increase in production of 'Reubennel' plums in only the 2018 production cycle (Table IV). Additionally, there was no difference between the negative standard and the positive standard (i.e., treatment with chemical products) in mean fruit weight or estimated yield. Similarly, there was no improvement in the quality of 'Reubennel' plums when chemical products were applied to break dormancy (Table V).

Table IV - Production (kg/plant), mean fruit weight (g) and estimated yield (t/ha) of 'Reubennel' plum trees after the application of treatments for breaking dormancy. The treatments included 1.5% hydrogen cyanamide (HC) (Dormex® commercial product) supplemented with 4.5% mineral oil, Erger G® organomineral fertilizer supplemented with 3% calcium nitrate, 5% potassium nitrate, 0.3% copper sulfate and a control composed of only water. The treatments were applied in the 2018 and 2019 production cycles in a subtropical region (Barbacena, Minas Gerais, Brazil).

Treatment	Production (kg/plant)	Mean fruit weight (g)	Estimated yield (t/ha)
2018 production cycle			
HC	46.6Aa	46.6Aa	20.2Aa
Erger G®	33.8Bb	46.2Aa	19.2Aa
Potassium nitrate	34.0Bb	43.7Aa	18.2Aa
Copper sulfate	44.5Ba	41.0Aa	19.4Aa
Control	29.5Bb	45.5Aa	17.9Aa
2019 production cycle			
HC	65.4Aa	55.3Aa	23.0Aa
Erger G®	48.8Aa	55.3Aa	23.1Aa
Potassium nitrate	69.4Aa	48.6Aa	20.3Aa
Copper sulfate	74.5Aa	46.4Aa	24.1Aa
Control	63.3Aa	47.2Aa	19.6Aa
CV (%) Subplot	33.1	11.9	11.9

nitrate						
Copper sulfate	8.8Aa	1.2Aa	7.3Aa	3.3Aa	4.5Aa	4.3Aa
Control	9.0Aa	1.2Aa	7.5Aa	3.6Aa	4.7Aa	4.5Aa
2019 production cycle						
HC	8.7Aa	1.7Aa	5.9Aa	3.2Aa	4.9Aa	4.4Aa
Erger G [®]	9.5Aa	1.9Aa	5.1Aa	3.2Aa	4.9Aa	4.4Aa
Potassium nitrate	8.1Aa	1.7Aa	5.1Aa	3.2Aa	4.8Aa	4.3Aa
Copper sulfate	7.7Aa	1.7Aa	4.6Aa	3.3Aa	4.7Aa	4.2Aa
Control	7.3Aa	1.7Aa	4.3Aa	3.4Aa	4.6Aa	4.2Aa
CV (%)						
Subplot	12.4	21.2	17.7	5.2	5.0	4.1
CV (%) Plot	10.1	24.4	16.5	6.4	5.5	3.1

*Uppercase letters compare the production cycles and lowercase letters compare the treatments, and means followed by the same letters do not differ according to Tukey's means comparison test ($P \leq 0.05$).

Hawerth et al. (2010b) also found no changes in the quality and production of apples with the application of Erger G[®] for breaking dormancy. Similarly, Pasa et al. (2018) concluded that the use of chemicals to overcome natural dormancy in apple trees does not promote improvements in apple quality or production.

It is important to note that the application of HC and copper sulfate stimulated higher flower appearance in the plum trees, while the application of Erger G[®] did not increase flower appearance. Ultimately, plum production was the same, regardless of whether the plants received the negative standard or the treatments with chemical products. This pattern likely occurs due to fruit thinning, a practice necessary to remove excess fruit and preserve the quality of the plums remaining on the trees.

4 Conclusion

The chemicals used to break dormancy affected the phenology of the plum trees in the subtropical region studied. The application of copper sulfate can be used to break the dormancy of plum trees in subtropical regions.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Minas Gerais Research Support Foundation (FAPEMIG), the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for funding. We also thank Federal University of Lavras (UFLA) for the technological and infrastructural support.

5 References

Anzanello, R., Fialho, F.B., Santos, H.P., Bergamashi, R., Marondin, G.A.B. (2014). Bud dormancy in apple trees after thermal fluctuations. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 49: 457-464. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600007>.

- Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J.(2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Sci. Hortic.*, 130: 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>.
- Cuypers, A., Vangronsveld, H., Clijsters, H. (1999). The chemical behavior of heavy metals plays a prominent role in the induction of oxidative stress. *Free Radic. Res.* 31, 39-43. <https://doi.org/10.1080/10715769900301301>.
- El-Yazal, M.A.S., Rady, M.M. (2013). Foliar-applied Dormex™ or thiourea-enhanced proline and biogenic amine contents and hastened breaking bud dormancy in “Ain Shemer” apple trees. *Trees*, 27: 161-169. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0785-5>.
- El-Yazal, M.A.S., Rady, M.M.(2012). Changes in nitrogen and polyamines during breaking bud dormancy in “Anna” apple trees with foliar application of some compounds. *Sci. Hortic.*, 136:75-80. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.001>.
- Erez, A. (2000). Bud dormancy: phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: EREZ, A. Temperate fruit crops in warm climates. *Kluwer Academic Publishers*, 17-48. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2.
- Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*, 35:1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S141370542011000600001>.
- Hawerth, F.J., Petri, J.L., Leite, G.B., Herter, F.G. (2010a). Budbreak in ‘Imperial Gala’ and ‘Fuji Suprema’ apples by use of Erger and calcium nitrate. *Rev Bras Frutic*, 32, 2, 343-350. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000074>.
- Hawerth, F.J., Petri, J.L., Leite, G.B. (2010b). Budbreak induction in apple trees by erger and calcium nitrate application. *Acta Hortic.*, 884: 511-516. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.884.65>.
- Maksymiec, W. (1998). Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica*, 34, 3, 321-342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>.

- Minuzzi, R.B. (2018). Statistical modeling for the monthly estimate of chilling hours and units in Plateau regions of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, Brazil. *Rev. Ceres*, 65: 474-480. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865060002>.
- Pasa, M.S., Felippetto, J., Nava, G., Souza, A.L.K., Brighenti, A.F., Petri, J.L.(2018).Performance of ‘Maxi Gala’ apple trees as affected by budbreak promoters, in São Joaquim-SC. *Rev Bras Frutic*, 40: e-537. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018537>
- Petri, J.L., Leite, G.B., Couto, M., Gabardo, G.C. (2014). Chemical induction of budbreak: new generation products to replace hydrogen cyanamide. *Acta Hortic.*, 1042: 159-166. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1042>.
- Pio, R., Souza, F.B.M., Kalcsits, L., Bisi, R.B., Farias, D.H. (2019). Advances in the production of temperate fruits in the tropics. *Acta Sci- Agron*, 41: 1-10. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39549>.
- Rohde, A., Bhalerão, R.P. (2007). Plant dormancy in the perennial context. *Trends Plant Sci.*, 12: 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.03.012>
- Rosa, A.M., Marodin, G.A.B., Fialho, F.B., Marchi, V.V., Santos, H.P.(2020). Alternative budburst management in Campanha Gaúcha vineyards. *Rev Bras Frutic*, 42, 1. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020515>.
- Rufato, L., Kretschmar, A.A., Bogo, A., Machado, B.D., Marcon Filho, J.L.; Luz, A.R.; Marchi, T. (2011). Vegetative aspects of european pear scions cultivars in combination with quince roots-tocks in Urupema Santa Catarina State, Brazil. *Acta Hortic.*, 909:207-213. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.22>.
- Ruiz, D., Campoy, J.A., Egea, J.(2007).Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environ. Exp. Bot.*, 61: 254-263. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.008>.

Zhuang, W.; Gao, Z.; Wen, L.; Huo, X.; Cai, B.; Zhang, Z.(2015). Metabolic changes upon flower bud break in Japanese apricot are enhanced by exogenous GA4. *Hort. Res.*, 2:1-10.

<https://doi.org/10.1038/hortres.2015>.

Figure Captions

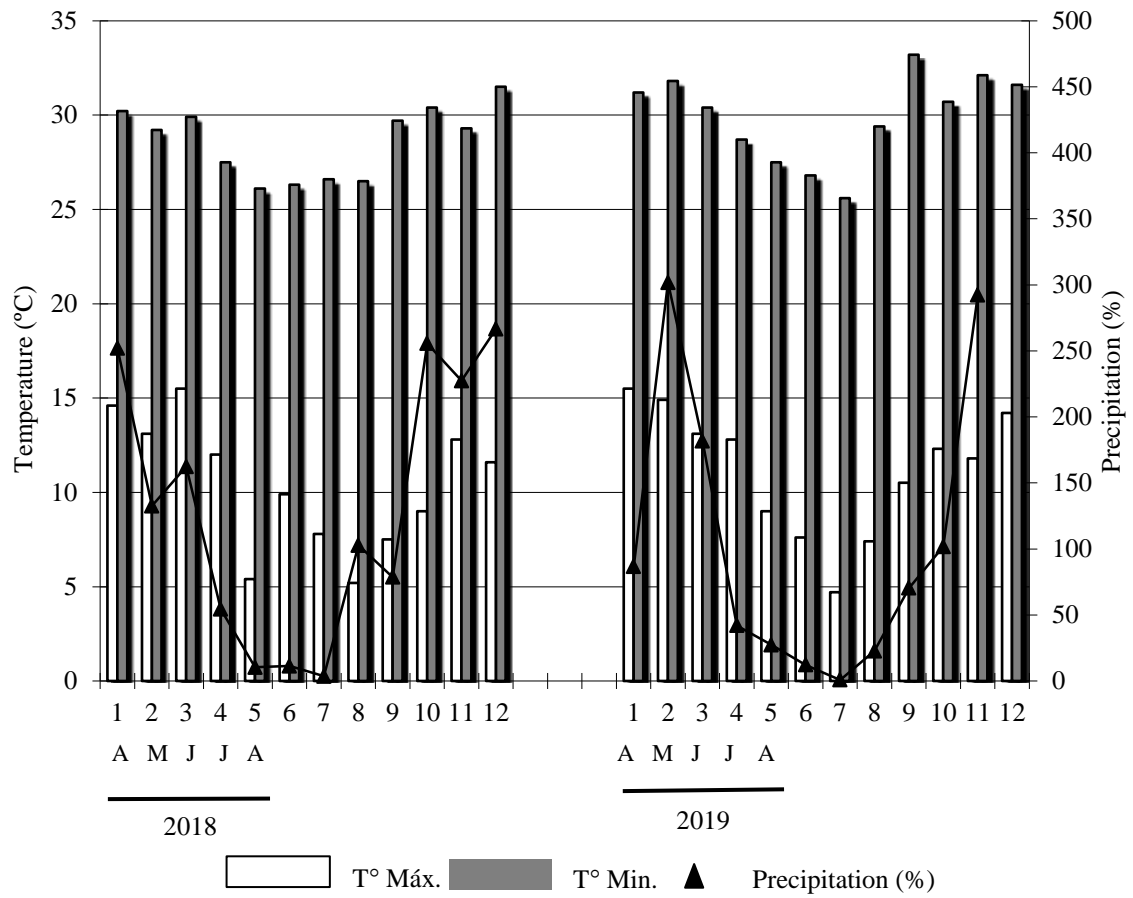


Figure 1 - Climatic data from January to December in 2018 and 2019. Barbacena, Minas Gerais, Brazil, 2021.