

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Severidade do *Huanglongbing*, produção e qualidade de frutos de laranjas  
doce**

**Wesler Luiz Marcelino**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Fitopatologia

**Piracicaba  
2022**

**Wesler Luiz Marcelino**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Severidade do *Huanglongbing*, produção e qualidade de frutos de laranjas doces**  
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ BELASQUE JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Fitopatologia

**Piracicaba**  
**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Marcelino, Wesler Luiz

Severidade do *Huanglongbing*, produção e qualidade de frutos de laranjas doces / Wesler Luiz Marcelino. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2022.

71 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Citros 2. HLB 3. Severidade 4. Produção 5. Qualidade suco I. Título

*Eu dedico com amor para  
meus pais Luiz, Valcira  
minhas irmãs Cryslaine e Gislayne*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por estar sempre comigo em todos os momentos, protegendo e iluminando nessa fase. Também agradeço a virgem Maria, por passar na frente de todas as minhas dificuldades e me ajudar durante esse período.

Deixo aqui minha gratidão ao meu orientador, José Belasque, um grande profissional. Agradeço pela orientação e colaboração nesse trabalho. Obrigado, professor Belasque!

Agradeço a minha família: meu pai Luiz Carlos Marcelino, minha mãe Valcira Antônia da Silva Marcelino, minhas irmãs: Gislayne da Silva Marcelino e Cryslaine da Silva Marcelino. Agradeço por estarem sempre comigo e me apoiando em todos os momentos, dessa minha trajetória. Sem vocês essa história seria diferente. Obrigado Família, amo vocês!

Agradeço meus amigos pela amizade, conselhos e por estarem comigo em todos os momentos, Sou eternamente grato!

Agradeço em especial a Milene Medeiros Lacerda (*in memoriam*), uma grande amiga que fez parte de toda minha trajetória, sou eternamente grato pela sua amizade e amor, amo-te muito!

Agradeço a todos os meus colegas e amigos do laboratório de fitobacteriologia da ESALQ/USP. Em especial, a Layfa, Marina e Pedro.

Agradeço em especial ao professor e pesquisador Dr<sup>o</sup>. Armando Bergamin Filho; à professora e pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Maria Cândida de Godoy Gasparoto; à pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Camilla de Andrade Pacheco; ao professor e pesquisador Dr<sup>o</sup>. Pedro Takao Yamamoto; ao professor e pesquisador Dr<sup>o</sup>. Marcel Bellato Sposito e ao pesquisador Dr<sup>o</sup>. Nelson Arno Wulff. Muito obrigado por aceitarem participar desse momento tão importante na minha vida profissional, e contribuirem com esse trabalho.

Agradeço a todos os professores e funcionárias do Departamento de Fitopatologia. Obrigado pela paciência e suporte durante esses quatro anos.

Por fim, agradeço ao CNPq e a CAPES por financiar meu doutorado e acreditar na pesquisa brasileira.

*“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos”.*

*Fernando Teixeira de Andrade.*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUÇÃO .....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Produção de citros e suco de laranja .....	11
2.2. Etiologia e sintomatologia do HLB.....	11
2.3. Epidemiologia e manejo do HLB.....	14
2.4. Danos do hlb na produção de frutos.....	16
2.5. Características físicas, sensorias, físico-químicas e químicas em frutos afetados pelo HLB.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1. Caracterização das áreas e coletas de dados.....	21
3.2. Manejo do HLB nos talhões.....	22
3.3. Avaliação da severidade das plantas .....	22
3.4. Parâmetros de produção .....	23
3.4.1 Peso e número de frutos .....	23
3.5. Parâmetros de qualidade do suco .....	23
3.4.2 Análise dos sólidos solúveis totais, acidez e <i>ratio</i> .....	24
3.4.3 pH, vitamina C e <i>limonin</i> .....	24
3.6. Análises estatísticas.....	24
4. RESULTADOS.....	27
4.1. Variáveis de produção de laranjas doces.....	27
4.2. Variáveis de qualidade de suco de laranjas doces.....	36
4.3. Interações entre as variáveis de produção, qualidade de suco e severidade do HLB....	48
5. DISCUSSÃO .....	53
5.1. Variáveis de produção de laranjas doces.....	53
5.2. Variáveis de qualidade do suco de laranjas doces.....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
REFERÊNCIAS.....	63

## RESUMO

### Severidade do *Huanglongbing*, produção e qualidade de frutos de laranjas doces

*Huanglongbing* (HLB) ou *greening* é a doença mais severa dos citros. A incidência dessa doença no Estado de São Paulo é de aproximadamente 23% de plantas sintomáticas e a eliminação de plantas doentes não é mais obrigatória em plantas com mais de 8 anos de idade, desde 2021, em todo Brasil. Diante disso, e considerando a dificuldade no manejo do HLB, a quantificação dos danos da doença na produção e qualidade do suco de laranja é necessária para o melhor entendimento desse patossistema e para a redução de perdas presentes e futuras. Assim, os objetivos desse estudo foram quantificar a produção e a qualidade de frutos de laranja doce colhidos de plantas com diferentes severidades da doença. Essa quantificação foi feita com plantas das variedades ‘Hamlin’, ‘Pera’, ‘Valência’ e ‘Natal’ com frutos colhidos para a produção de suco pasteurizado e congelado (denominado NFC de *not from concentrate*). Os dados obtidos permitiram também comparar essas variedades entre si quanto aos danos da doença na produção de frutos e suco. Foram quantificadas as produções de frutos de mais de quinhentas plantas de sete pomares das variedades citadas nas safras 2018/19, 2019/20 e 2020/21. Em cada safra, durante a colheita dos frutos, plantas com e sem sintomas da doença foram colhidas individualmente para a quantificação do número e massa dos frutos. Previamente à colheita as plantas foram avaliadas quanto à severidade do HLB atribuindo-se notas de 0 a 4 (nota 0 – sem sintomas; 1 – de 1 a 25% da copa com sintomas; nota 2 – de 26 a 50% da copa com sintomas; nota 3 – de 51 a 75% da copa com sintomas e nota 4 – de 76 a 100% da copa com sintomas). As mesmas plantas foram colhidas nas três safras e de cada planta foi retirada uma amostra de cem frutos para a determinação da produção e qualidade de suco NFC. Plantas com as maiores severidades da doença apresentaram até 83% de redução na produção de caixas (40,8 kg) de frutos/planta. Foi observada uma correlação negativa significativa ( $p$ -valor = 0,05) entre a severidade da doença e as variáveis número de frutos/planta, caixas/planta e massa (gramas)/fruto na maioria dos talhões avaliados nas três safras. Por outro lado, ocorreu uma correlação positiva significativa ( $p$ -valor = 0,05) para as concentrações de limonin, vitamina C e frutos/caixa na maioria dos talhões. As variáveis sólidos solúveis totais (SS), acidez total (AT) e ratio (SS/AT) não variaram significativamente para plantas com diferentes severidades do HLB. Plantas da variedade ‘Natal’ apresentaram as maiores variações negativas, até 72% e 84%, no número de frutos e caixas/planta, respectivamente, quando os sintomas da doença correspondiam à nota quatro de severidade. Os resultados encontrados demonstraram que o HLB interfere diretamente na produção e possui pouca interferência na qualidade do suco de laranjas doces quando considerado a copa inteira, e, com isso, esse estudo traz a importância de uma análise econômica para determinar até que nível de severidade é vantajoso para o produtor manter uma planta infectada produzindo.

Palavras-chave: Citros, HLB, Produção de laranjas doces, Qualidade de suco de laranjas doces

## ABSTRACT

### **Huanglongbing severity, yield, and fruit quality of sweet oranges**

Huanglongbing (HLB) or greening is the most severe disease of citrus. The incidence of this disease in the state of São Paulo is approximately 23% of symptomatic plants and the elimination of diseased plants is no longer mandatory on plants over 8 years old, since 2021, throughout Brazil. Given this, and considering the difficulty in managing HLB, quantifying the damage of the disease in the production and quality of orange juice is necessary for a better understanding of this pathosystem and the reduction of present and future losses. Thus, the purpose of this study was to quantify the production and quality of sweet orange fruits harvested from plants with different disease severity. This quantification was carried out with plants of the 'Hamlin', 'Pera', 'Valencia' and 'Natal' varieties with fruits harvested for the production of pasteurized and frozen juice (called NFC for not from concentrate). The data obtained also made it possible to compare these varieties in terms of the damage caused by the disease to fruit and juice production. The fruit yields of more than five hundred plants from seven orchards of the varieties mentioned in the 2018/19, 2019/20, and 2020/21 harvests were quantified. In each season, during fruit harvest, plants with and without symptoms of the disease were collected individually to quantify the number and weight of the fruits. Before harvest, the plants were evaluated for HLB severity, assigning scores from 0 to 4 (grade 0 – no symptoms; 1 – from 1 to 25% of the crown with symptoms; score 2 – from 26 to 50% of the crown with symptoms; grade 3 – from 51 to 75% of the canopy with symptoms and grade 4 – from 76 to 100% of the canopy with symptoms). The same plants were harvested in the three harvests and a sample of one hundred fruits was taken from each plant to determine the production and quality of NFC juice. Plants with the highest disease severity showed up to an 83% reduction in the production of boxes (40.8 kg) of fruits/plant. A significant negative correlation ( $p$ -value = 0.05) was observed between the severity of the disease and the variables number of fruits/plant, boxes/plant, and mass (grams) /fruit in most of the fields evaluated in the three seasons. On the other hand, most plots had a significant positive correlation ( $p$ -value = 0.05) for the concentrations of limonin, vitamin C, and fruits/box. The variables total soluble solids (SS), total acidity (AT), and ratio (SS/AT) did not vary significantly for plants with different HLB severities. Plants of the 'Natal' variety showed the highest negative variations, up to 72% and 84%, in the number of fruits and boxes/plant, respectively, when the symptoms of the disease corresponded to the four severity score. The results showed that HLB directly interferes in production and has little interference in the quality of sweet orange juice when considering the whole canopy, and, with that, this study brings the importance of economic analysis to determine to what level of severity it is advantageous for the producer to keep an infected plant producing..

Keywords: Citrus, HLB, Severity, Production of sweet oranges, Quality sweet orange juice

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas cítricas pertencem ao gênero *Citrus* L. da família Rutaceae e estão entre as frutíferas mais cultivadas do mundo (Mehl et al., 2014). Em geral essas frutas, em especial a laranja, são bem aceitas pelos consumidores, devido a suas cores atraentes, sabores e aromas agradáveis (Zou et al., 2016). O Brasil é líder mundial na produção de laranjas, com uma estimativa de produção de 317 milhões de caixas de 40,8 quilos no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro para a safra 2022/2023 (Fundecitrus, 2022).

O *Huanglongbing* (HLB), também denominado *greening*, é a doença mais importante da cultura dos citros no continente Americano. Descrito primeiramente na Ásia em 1900, a primeira ocorrência no Brasil foi somente em 2004, na cidade de Araraquara, São Paulo (Coletta-Filho et al., 2007; Teixeira et al., 2005).

As bactérias associadas ao HLB são do gênero provisório ‘*Candidatus Liberibacter* spp.’ (Teixeira et al., 2010) e disseminadas por dois insetos vetores: *Diaphorina citri* e *Trioza erytrae*. Duas espécies do patógeno estão presentes nos pomares brasileiros: ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ (CLas) (Bové, 2006) e ‘*Ca. Liberibacter americanus*’ (CLam) (Teixeira et al., 2005). O psílídeo *Trioza erytrae*, originário da África, não ocorre no Brasil, assim como a bactéria ‘*Ca. Liberibacter africanus*’ (CLaf) (Jagoueix et al., 1994; Bové, 2014).

Os sintomas consistem no amarelecimento das folhas, as quais apresentam comumente os sintomas de mosqueados, desfolhas, queda prematura de frutos, retardo na maturação e crescimento irregular dos frutos (Baldwin et al., 2018; Bové, 2006). Plantas infectadas perdem a capacidade produtiva (Dala-Paula et al., 2019; T.R. Gottwald et al., 2012). Frutos de plantas sintomáticas são pequenos, assimétricos, não atingem a maturação plena e apresentam amargor (Baldwin et al., 2018; Plotto et al., 2010).

Ações de controle do HLB devem ser adotadas de acordo com a localização dos pomares, o histórico da doença e do vetor, a idade das plantas, dentre outros fatores (Belasque Jr. et al., 2010). Não há métodos curativos para o HLB e, portanto, as ações de controle objetivam a prevenção de novas infecções pelo patógeno. Para isso, o manejo recomendado é o controle do inseto vetor (*D. citri*), a eliminação de plantas sintomáticas e o emprego de mudas sadias (Bové, 2006; Belasque Jr. et al., 2010). No entanto, esse manejo é difícil e muitas vezes inefetivo,

dependendo do tamanho da área, da idade das plantas e da existência de fontes de inóculo localizadas na periferia da área sob manejo.

Atualmente o HLB está presente em aproximadamente 23% das laranjeiras do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, o que corresponde a aproximadamente 37,1 milhões de plantas com sintomas da doença (Fundecitrus, 2022). Segundo a Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo, foram erradicadas cerca de 61,1 milhões de plantas de citros entre 2005 e 2021 (CDA, 2022). Diante desses dados, projeta-se a continuação da disseminação do HLB como principal doença da citricultura, com reflexos na redução da produção e custos mais elevados, na ordem de 5 a 10% do custo total, para o manejo da doença (Martinello e Sanches, 2018).

Além das perdas na produção, o sabor dos frutos das plantas sintomáticas torna-se tão pronunciado que pode afetar negativamente a qualidade sensorial do suco comercial. Essas alterações, nos níveis de certas classes de metabólitos secundários, são frequentemente devido às condições de estresses nas plantas (Poiroux-Gonord *et al.*, 2013). Frutos de ramos com HLB podem apresentar alterações na porcentagem de suco (-10% a +4%), maior acidez (+5% a +45%), menor concentração de sólidos solúveis totais (-0,2% a -17%) e menor *ratio* (-4% a -62%), alterações essas relacionadas à maturação incompleta dos frutos nos ramos sintomáticos (Bassanezi, Montesino e Stuchi, 2009; Plotto *et al.*, 2010).

No presente estudo o impacto do HLB na produção e qualidade de frutos foi determinado considerando todos os frutos colhidos de plantas com diferentes severidades da doença. Essa também se justifica devido à escassez de estudos para estimar os danos decorrentes do HLB, principalmente no Brasil.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Produção de citros e suco de laranja

Citros é uma das mais importantes culturas frutíferas em mais de 100 países. O Brasil ocupa a primeira colocação na produção mundial de laranjas doces (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) e de suco de laranjas. A produção citrícola no Brasil gera cerca de 200 mil empregos diretos e indiretos e um produto interno bruto de 6,5 bilhões de dólares em todos os elos de sua cadeia produtiva (Fava e Trombin, 2017).

Frutos cítricos devem apresentar características peculiares para atender às exigências do mercado a que se destinam: indústria ou consumo *in natura*. Quando na indústria, os frutos são destinados a produção de suco. O Brasil possui destaque na produção de suco, uma vez que o país responde por mais de 70% do mercado mundial e exporta 97% do que produz (Neves *et al.* 2014). Para o suco, as laranjas devem apresentar determinadas características, tais como: intensa e uniforme coloração da casca, ausência ou reduzida quantidades de sementes, epicarpou casca com espessura fina, rendimento de suco superior a 35 mL/100 g, teores de sólidos solúveis totais (SS) aproximados a 10,5 °Brix, acidez entre 0,5 e 1,0 g/100 mL, destacando que, para o consumo *in natura*, o *ratio* deve ser acima de 14 e para a produção de suco, acima de 8. (Embrapa *et al.*, 2014).

### 2.2. Etiologia e sintomatologia do HLB

O HLB é uma doença altamente devastadora em muitas áreas de produção no mundo (Bové, 2006; Zhao, 1982). A doença está associada a três bactérias Gram-negativas,  $\alpha$ -proteobactérias, habitantes do floema das plantas (Ha *et al.*, 2019; Tsai e Liu, 2000), sendo elas: ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ (CLas) (Bové, 2006), ‘*Candidatus Liberibacter americanus*’ (CLam) (Teixeira *et al.*, 2005) e ‘*Candidatus Liberibacter africanus*’ (CLaf) (Jagoueix *et al.*, 1994). Dentre essas, CLas está amplamente disseminada em áreas de produção de citros na Ásia e na América, e por isso é a espécie mais importante (Bové, 2006).

As espécies CLas, CLam e CLaf podem ser transmitidas pelo psílídeo *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: *Psyllidae*), comumente chamado de psílídeo asiático dos citros ou por *Trioza erytreae* (Hemiptera: *Trioziidae*) (Bové, 2006). No Brasil, em 2005, CLam foi a

espécie predominante, a qual inicialmente afetou mais de 90% de plantas sintomáticas, no entanto, em 2007, essa taxa caiu para 60%. Durante esse período, houve aumento de infecções nas plantas causadas por CLAs, de 5% para 35% (Coletta-Filho *et al.*, 2007; Gasparoto *et al.*, 2012). CLaf é mais sensível ao calor e clima seco, enquanto as outras espécies são tolerantes ao calor e reproduzem em temperaturas mais altas (Catling, 1969; Cocuzza *et al.*, 2017). Essa observação explica o porquê CLaf não está presente em climas tropicais e subtropicais quentes e úmidos (Dala-Paula *et al.*, 2019).

O surgimento de folhas com mosqueado difuso e clorose assimétrica são as características predominantes da sintomatologia do HLB, que também incluem folhas e brotos amarelados, perda de folhas e frutos, perda de peso dos frutos, entre outros (Fig. 1) (Aritua *et al.*, 2013; da Graça *et al.*, 2016).



**Figura 1.** Sintomas do HLB em plantas de citros da variedade Hamlin. A) Clorose foliar assimétrica (mosqueado difuso) B) Fruto com amarelecimento na região da inserção do pedúnculo. C) Sintomas nas folhas da copa com formato acanoado, ramos secos, queda de frutos e redução no tamanho dos frutos (frutos imaturos). Crédito da imagem: Wesler Luiz Marcelino.

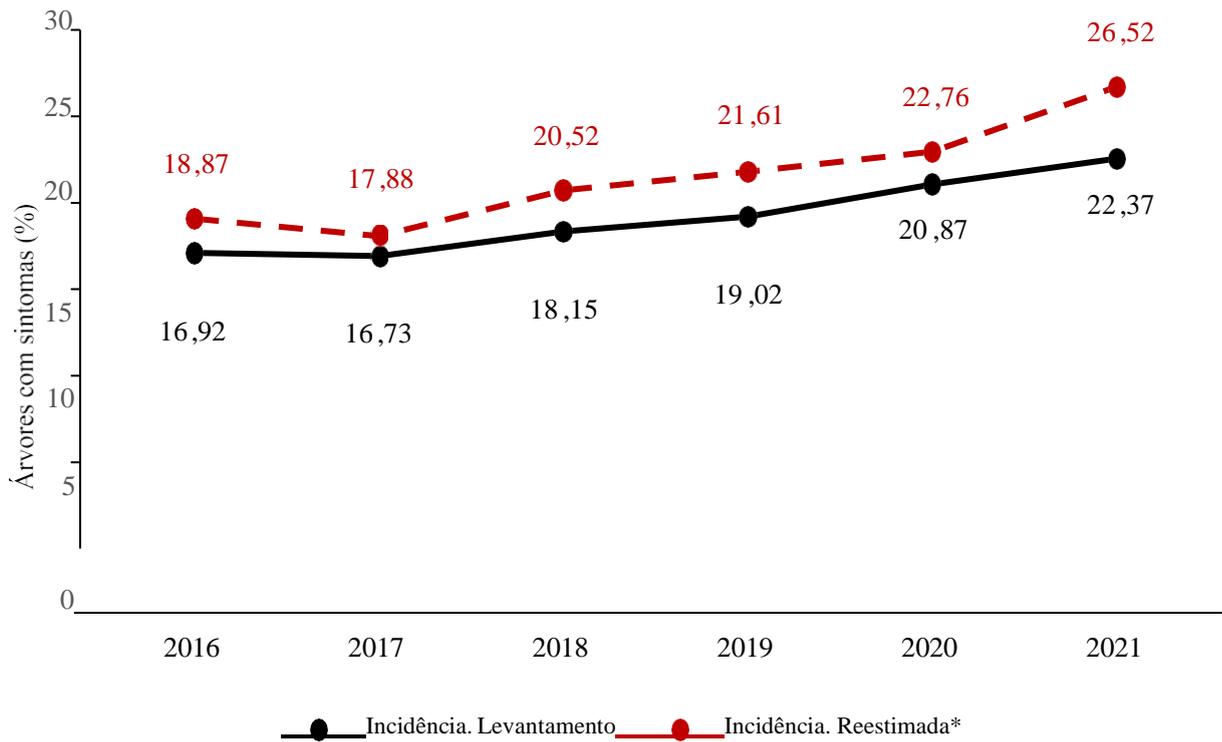
Pesquisas relacionadas à anatomia da planta indicam que CLas reside e coloniza os tubos crivados, que são células desprovidas de núcleo, localizadas no tecido do floema das plantas de citros (Aritua *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2017). Os tubos crivados são responsáveis pelo transporte dos fotoassimilados no processo fonte-dreno (Heo *et al.*, 2014). Com conteúdo rico em nutrientes, esses tecidos tornam-se o local propício para o desenvolvimento da bactéria causadora do HLB (Hijaz *et al.*, 2016).

Os tecidos foliares dos citros exibem mudanças induzidas pela infecção por CLas. Em estudos ultraestruturais dos tecidos de laranjeiras inoculados com CLas foram observados aumentos da lamela média entre as paredes celulares ao redor dos elementos crivados e necrose

do floema (Folimonova e Achor, 2010; Schneider., 1967). A necrose do floema é geralmente acompanhada pelo entupimento dos elementos crivados, causa essa devido à abundante deposição de calose no floema, seguida pelo rompimento do floema e colapso dos elementos crivados (Achor *et al.*, 2010; Etxeberria e Narciso, 2015). Devido a essas rupturas do floema, o transporte de fotoassimilados é severamente obstruído, o que, por sua vez, resulta no acúmulo anormal de grandes quantidades de grânulos de amido em praticamente todas as células vivas dos órgãos aéreos (Aritua *et al.*, 2013). Esse desequilíbrio no transporte e acúmulo do açúcar pode afetar o desenvolvimento e conteúdo de açúcares dos frutos (Etxeberria *et al.*, 2009; Zheng *et al.*, 2018).

### **2.3. Epidemiologia e manejo do HLB**

No Brasil, o HLB foi notificado pela primeira vez em março de 2004, na cidade de Araraquara, região centro do estado de São Paulo (Coletta-Filho *et al.*, 2007). Posteriormente, após um semestre, a infecção pelo HLB atingiu em média 3,4% dos talhões do estado. Em 2010, dados do Fundecitrus apontaram que havia cerca de 38,8% de talhões com pelo menos uma planta infectada e 1,9% de árvores infectadas em todo estado (Miranda *et al.*, 2012). Por fim, considerando o último levantamento em 2021, a incidência do HLB continuou aumentando no cinturão citrícola e atingiu seu maior patamar, com 22,4% das laranjeiras com sintomas da doença (Fig. 2).



**Figura 2.** HLB: Percentual das plantas de laranja doce com sintomas no cinturão citrícola.

\*Desconsiderando as mudas novas plantadas e incluindo a estimativa de árvores eliminadas por HLB no ano anterior.

Fonte: Fundecitrus, 2021.

Uma das características marcantes do HLB é o efeito de borda, o qual é conceituado como a maior concentração de plantas sintomáticas nas bordas das propriedades e talhões. O HLB se dissemina por dois processos espaciais contínuos, são eles: a disseminação primária e a disseminação secundária. As disseminações secundárias podem ser controladas a partir da aplicação de inseticidas dentro das fazendas/talhões e remoção das plantas sintomáticas, já as disseminações primárias, as quais são mais problemáticas, é difícil evitar, já que os psilídeos se originam fora das áreas sob controle e se dispersam para plantas saudáveis dentro da área, transmitindo as bactérias antes que morram pela ação de inseticidas (Bassanezi *et al.*, 2010; Gottwald, 2010).

Os conhecimentos da biologia da bactéria e do inseto transmissor são importantes para o desenvolvimento de estratégias de manejo (Wang *et al.*, 2017). O manejo desta doença está embasado em três medidas que visam à prevenção de novas infecções: produção de mudas saudáveis em viveiros protegidos contra insetos vetores, monitoramento e controle do psilídeo, e inspeção e a erradicação de plantas doentes (Bové, 2006; Belasque jr *et al.*, 2010)

Pelo fato de o HLB ser uma doença transmitida por vetores e o patógeno limitado ao floema, há grandes dificuldades no controle da doença. Quando o inseto está presente, a estratégia de controle mais eficaz é o controle químico com o uso de inseticidas (da Graça e Korsten, 2004).

As opções de controle químico disponíveis para o manejo do psilídeo no campo são aplicações foliares de inseticidas de amplo espectro. O monitoramento usando a inspeção visual e armadilhas facilita a intervenção oportuna com aplicações de inseticidas (Boina e Bloomquist, 2015). Pomares cítricos nos quais não são empregadas as medidas de controle do HLB podem dificultar, ou mesmo impedir, que pomares vizinhos mantenham a doença em baixas incidências (Bassanezi *et al.*, 2010).

Observações experimentais e estudos de caso evidenciam que o sucesso do controle do HLB em propriedades comerciais depende não somente do manejo adotado na propriedade, mas também do manejo adotado nos pomares vizinhos (Bassanezi *et al.*, 2013b). Esse manejo, que envolve o controle do psilídeo e a eliminação de plantas doentes em áreas extensas ou em toda a região, realizado por todos os citricultores presentes, é conhecido como manejo regional do HLB.

#### **2.4. Danos do HLB na produção de frutos**

As perdas econômicas causadas pelo HLB são resultantes, principalmente, às altas taxas de disseminação da doença e a falta de métodos curativos. Contudo, ainda há poucos estudos nos quais foram estimados os danos resultantes do HLB, especialmente no Brasil.

Na Florida, Estados Unidos, a doença foi identificada pela primeira vez em 2005, e em 9 anos a partir da primeira detecção, a área de plantio de citros diminuiu em aproximadamente 20%, passando de 251.461 para 202.908 hectares em 2014 (Spren e Zansler, 2016). As perdas estimadas em cinco anos na Florida somaram mais de US\$ 1 bilhão por ano, com aproximadamente 5.000 empregos perdidos anualmente (Li *et al.*, 2020).

As reduções de produção causadas por uma doença podem ser determinadas em parcelas experimentais, quantificando-se a diferença no rendimento de uma amostra com a doença e o de uma amostra sem a doença (Madden *et al.*, 1995). Os dados coletados para avaliar e modelar as perdas devem ser representativos, confiáveis e realistas em relação à incidência ou à

severidade da doença. Para atingir esse objetivo, os dados são geralmente coletados de campos nos quais ocorrem epidemias naturais ou de campos nos quais são feitas tentativas de criar diferenciais de intensidade da doença (Campbell e Madden, 1990). Devido às dificuldades em estabelecer artificialmente um gradiente de severidade do HLB, o método de planta única, onde a unidade experimental é uma planta única, pode ser usado para estimar os danos causadas por essa doença (Madden *et al.*, 2007).

Bassanezi *et al.* (2011) avaliaram os danos causadas na produção de frutos de laranjas doces a partir de plantas com diferentes severidades de HLB. Cada planta, considerada uma amostra, foi avaliada em notas de 0 – 5, correspondendo a: 0 (sem sintomas), 1 ( $\geq 1$  a  $< 20\%$ ), 2 ( $\geq 20$  a  $< 40\%$ ), 3 ( $\geq 40$  a  $< 60\%$ ), 4 ( $\geq 60$  a  $< 80\%$ ) e 5 ( $\geq 80\%$ ) da copa com sintomas de HLB. Para cada amostra, frutos sintomáticos e assintomáticos foram colhidos separadamente para quantificação da produção. Os autores mostraram que as amostras com níveis baixos de severidade (0 e 1) apresentaram uma produção em torno de 1500 frutos assintomáticos em média. Plantas com as maiores severidades (4 e 5) tinham cerca de 300 frutos assintomáticos em média. Na avaliação do número de frutos sintomáticos não houve diferenças estatísticas e uma baixa correlação foi observada entre o número de frutos sintomáticos e a severidade da doença em todas as variedades testadas. Segundo esses autores, a alta taxa de queda dos frutos sintomáticos explicaria a inexistência de correlação entre essas variáveis. Nesse mesmo estudo os frutos sintomáticos eram 22,6%, 30,4% e 37,6% mais leves do que os frutos assintomáticos das variedades precoce, meia-estação e tardia, respectivamente.

## **2.5. Características físicas e químicas dos frutos afetados pelo HLB**

A cor da casca dos frutos é uma característica muito atrativa para os consumidores e frutos provenientes de plantas afetadas pelo HLB apresentam coloração mais verde em comparação com frutos de plantas assintomáticas (Dala-Paula *et al.*, 2019).

As características físico-químicas das laranjas desempenham um papel vital na determinação da qualidade do suco de laranja produzido, como, por exemplo, o pH. Contudo, os resultados disponíveis na literatura sobre o valor do pH após à infecção por CLAs são discrepantes. Em muitos trabalhos o pH de frutos de plantas sintomáticas foi maior, menor ou igual ao de frutos de plantas sadias (Dala Paula *et al.*, 2018; Plotto *et al.*, 2010; Raithore *et al.*, 2015). Plotto *et al.* (2010) avaliaram o pH em suco de frutos sadios (PCR negativo) e assintomáticos (PCR positivo) de ‘Hamlin’, e os valores encontrados foram 4,19 e 4,17, respectivamente, não diferindo estatisticamente. Raithore *et al.* (2015) encontraram o mesmo valor de pH (4,22) de suco de frutos de ‘Hamlin’ sadios (PCR negativo) em comparação com sintomáticos (PCR positivo). Baldwin *et al.* (2010) analisaram o suco de frutos de ‘Hamlin’ e encontraram um menor valor de pH em frutos sintomáticos (PCR positivos) (3,82) do que em frutos sadios (PCR negativo) (4,37).

A vitamina C, também conhecida como ácido ascórbico, é uma das vitaminas mais importantes e essenciais para a vida humana. A variabilidade no teor de vitamina C nos citros

e seus produtos são influenciados pela variedade, práticas culturais, maturidade, clima, qualidade das frutas, manuseio de frutas frescas, processamento, embalagem e condições de armazenamento. Para as laranjas, a concentração de ácido ascórbico na proximidade da casca é maior do que no centro do fruto (Nagy, 1980; Vanderslice *et al.*, 1990).

Dados experimentais de Harding *et al.* (1940) mostraram que frutos da variedade ‘Valência’ no início do crescimento apresentavam mais de 50 mg/100 g de vitamina C em seu suco, enquanto frutos maduros e prontos para colheita apresentavam um conteúdo de vitamina C de aproximadamente 35 mg/100 g de suco. Logo, os autores puderam concluir que o conteúdo de vitamina C em frutas cítricas e seus sucos diminuem durante o amadurecimento. Wang *et al.* (2020) observaram aumento de 26,4% de vitamina C em frutos de laranja PCR positivo para HLB quando comparados com frutos PCR negativo.

Desde os primeiros relatos sobre o HLB já se conhecia, mesmo que informalmente, que frutos de plantas sintomáticas têm “gosto amargo e salgado”, especialmente no início da safra (McClean e Schwarz, 1970). Hoje já se sabe que a doença interfere nas características sensoriais dos sucos da fruta. Em mais de um estudo foi descrita a drástica diferença entre sucos de frutos de plantas sadias em comparação aos preparados com frutos de plantas assintomáticas e, principalmente, sintomáticas (Baldwin *et al.*, 2010; Plotto *et al.*, 2010). Os maiores amargor e acidez de frutos sintomáticos são explicados por concentrações mais altas de *limonin* e menores de sólidos solúveis (Baldwin *et al.*, 2010; Dala Paula *et al.*, 2018; Plotto *et al.*, 2010; Raithore *et al.*, 2015).

De acordo com Bassanezi *et al.* (2009) o suco do fruto sintomático pode ser misturado até 25% com suco de frutos provenientes de plantas sadias, sem alterações sensoriais. Ikpechukwu (2012) afirmou que uma quantidade menor (10% por massa de suco) de frutos sintomáticos de HLB é aceitável em uma mistura. As alterações nos níveis de metabólitos secundários nos citros são, frequentemente, devido às condições de estresses das plantas (Poiroux-Gonord *et al.*, 2013).



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização das áreas e coletas de dados

O efeito do HLB na produção e qualidade dos frutos e suco foi avaliado a partir de plantas de sete talhões de propriedades citrícolas paulistas denominadas no presente estudo como A, B, C e D (Tab. 1). No total, 695 plantas foram selecionadas em 2018 e a maioria dessas plantas foi avaliada nas safras seguintes (Fig. 3 ; Tab. 2).



**Figura 3.** Mapa de localização das fazendas citrícolas. Crédito da imagem: Wesler Luiz Marcelino.

**Tabela 1.** Número do talhão, ano de plantio, variedade, porta-enxerto e espaçamento de cada talhão das propriedades citrícolas A, B, C e D.

Fazendas	Talhões	Ano de Plantio	Variedades	Grupos de maturação	Porta-enxerto	Espaçamentos (m)
A	1	2004	Hamlin	Precoce	Citrumelo ‘Swingle’	6,5 x 3,0
	2	2005	Natal	Tardia	Citrumelo ‘Swingle’	6,8 x 2,9
B	3	2005	Pera Rio	Meia-estação	Tangerina ‘Sunki’	6,8 x 3,0
	4	2010	Pera Rio	Meia-estação	Tangerina ‘Sunki’	6,5 x 2,0
C	5	2004	Natal	Tardia	Citrumelo ‘Swingle’	6,5 x 3,5
	6	2004	Valência	Tardia	Citrumelo ‘Swingle’	6,5 x 3,5
D	7	2003	Valência	Tardia	Laranja trifoliata	7,0 x 4,0

**Tabela 2.** Número de plantas selecionadas por talhão e nota de severidade nas safras 2018/2019; 2019/2020 e 2020/2021.

Safras Talhões	Notas					Total
	0	1	2	3	4	
<b>2018/2019</b>	<b>158</b>	<b>171</b>	<b>174</b>	<b>119</b>	<b>73</b>	
1	15	20	27	19	12	
2	7	11	9	8	2	
3	30	30	29	18	16	<b>695</b>
4	25	25	20	1	-	
5	21	21	21	21	21	
6	20	20	20	20	10	
7	14	20	20	19	9	
<b>2019/2020</b>	<b>80</b>	<b>142</b>	<b>108</b>	<b>115</b>	<b>103</b>	
1	10	10	17	26	24	
2	4	14	11	6	-	
3	25	24	16	17	18	<b>548</b>
4	22	26	20	2	1	
5	9	27	13	18	22	
6	4	20	14	24	22	
7	6	21	17	22	16	
<b>2020/2021</b>	<b>58</b>	<b>135</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>87</b>	
1	10	2	15	31	28	
2	7	6	8	9	5	
3	11	15	10	19	28	<b>503</b>
4	12	23	18	9	7	
5	12	31	18	18	12	
6	3	30	17	7	1	
7	3	28	33	11	6	

### 3.2. Manejo do HLB nos talhões

Os métodos de controle aplicados nas áreas consistiam em pulverizações de inseticidas do grupo químico dos piretróide / neonicotinóide e organofosforado. As aplicações foram realizadas quinzenais com volume do inseticida de 30 mL/m<sup>3</sup> durante todo ano. Também foram realizadas liberações de *Tamarixia radiata* em áreas vizinhas às propriedades. Podas mecânicas foram realizadas em alguns dos talhões após a colheita dos frutos. As plantas com sintomas de HLB não eram erradicadas nos talhões utilizados no estudo.

### 3.3. Avaliação da severidade das plantas

Todas as plantas foram avaliadas por dois avaliadores experientes, treinados anteriormente ao início das avaliações, para a determinação da severidade dos sintomas nas copas das plantas. As avaliações foram feitas anualmente no momento da colheita das plantas. A severidade foi avaliada considerando notas de 0 a 4 (Tab. 3).

**Tabela 3.** Notas de severidade e respectiva percentagem de severidade

Notas de severidade	Severidade do HLB (%)
0	Sem sintomas
1	1 a 25%
2	>25 a 50%
3	>50 a 75%
4	>75%

### 3.4. Variáveis de produção

#### 3.4.1 Peso e número de frutos

Todos os frutos foram colhidos de cada planta individualmente e contados o número total e quantificados o peso, em seguida, uma amostra de 100 frutos foi separada para as análises de parâmetros de qualidade de suco. Os frutos foram acondicionados em sacos de redes plásticas e encaminhados para análise. A partir dos dados coletados, foi possível determinar os seguintes parâmetros de produção: frutos/caixa; caixas/planta (1cx = 40,8 kg); total de frutos/planta e gramas/fruto.

### 3.5. Parâmetros de qualidade do suco

Os frutos enviados ao laboratório de análise foram processados com extrator industrial. O suco extraído foi passado através de um *finisher* (filtração sob pressão com tamanho de tela de 0,51 mm), então pasteurizado sob condições comerciais a 90°C por 10s a uma taxa de 1,2 L por min, e resfriado a 10°C usando um pasteurizador piloto. As amostras de suco pasteurizado foram congeladas a 20°C até o uso posterior. Para este estudo, as análises químicas foram realizadas com amostras simples de sucos puros pasteurizados (NFC) para determinar o teor de sólidos solúveis totais (SS), acidez titulável (AT) e *ratio*. Para a determinação das variáveis pH, vitamina C e *limonin*, foi utilizado o suco retirado de cinco amostras simples, formando uma amostra composta, no total foram analisadas 5 amostras compostas por nota de severidade.

### 3.4.2 Análise dos sólidos solúveis totais, acidez e *ratio*

Os SS das amostras de suco foram determinados com um refratômetro com compensação de temperatura e corrigido (Baldwin *et al.* 2017). A AT foi calculada por titulação de 25 mL de suco com NaOH 0,3125 N até o ponto de viragem de coloração (Baldwin *et al.* 2017). O *ratio*, foi determinado pela relação entre os teores de SS/AT.

Para a determinação de Kilogramas de sólidos solúveis totais foi utilizada a seguinte fórmula:  $SS \times \text{Peso do suco} \times 40,8 / \text{Peso de frutos} / 100$ . Para a concentração de suco o cálculo utilizado foi:  $\text{Peso do suco} / \text{Peso de frutos} * 100$ .

### 3.4.3 pH, vitamina C e *limonin*

O pH foi medido no suco reconstituído, e o pHmetro foi calibrado em pH 4 com solução tampão 0,05M de biftalato de potássio e no pH 7 com solução tampão de fosfatos 0,025M.

A determinação da vitamina C foi realizada utilizando-se o método do iodo, que consiste em titular uma amostra de suco reconstituído com uma solução padronizada de iodo, utilizando-se como indicador uma solução de amido 0,6%. O resultado da concentração total de vitamina C do suco foi expresso em mg/100 mL de suco reconstituído.

Para a determinação do *limonin*, amostras de suco (150 mL) foram centrifugadas a 10.000 g por 15 min. O soro de suco clarificado (100 mL) foi extraído três vezes com volumes iguais de cloreto de metileno. Extratos de cloreto de metileno foram removidos por evaporação até a secagem e os resíduos redissolvidos em 12 mL de acetona. As soluções foram clarificadas por passagem através de um filtro de PTFE de 0,45 µm (Siemens, Shrewbury, MA) e depois levadas à secagem com um evaporador centrífugo Savant (Ontário, Canadá). Os resíduos foram redissolvidos em acetona (1,0 mL) contendo 4,35 µg de hesperetina (Sigma-Aldrich) antes da análise por HPLC-MS (Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas) (Baldwin *et al.* 2010).

## 3.6. Análises estatísticas

Os dados de produção e qualidade do suco de laranja foram analisados por meio de análises não-paramétricas, com exceção do teste de comparação entre as variedades. Para cada variável avaliada (produção e qualidade do suco) as diferentes severidades de HLB foram comparadas entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, em seguida, nos casos em que o teste de Kruskal-Wallis permitiu rejeitar  $H_0$ , foi aplicado o teste de comparações múltiplas. Adicionalmente, foi realizada a porcentagem de redução (-) ou aumento (+) nas variáveis de produção e qualidade de suco em relação às amostras nota 0. A análise foi realizada no software R.

Objetivando estabelecer relação entre as variáveis e a severidade do HLB, foi realizada a análise estatística de correlação de *Spearman*. De posse dos coeficientes de correlação, entre as variáveis, foi utilizada a interpretação proposta por Baba *et al.* (2014), para interpretar o grau de correlação entre elas (Tab. 4). A análise foi realizada no software *Statistica*.

**Tabela 4.** Interpretação dos índices de correlação proposto por Baba *et al.* (2014).

Valor de $\rho$ (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada para as variáveis de severidade do HLB, produção de frutos e qualidade de suco a fim de observar a interação de todas as variáveis. A análise foi realizada no software R.

Para eliminar as diferenças intrínsecas entre as variedades e permitir a comparação com os efeitos do HLB, a redução (-) ou aumento (-) nas variáveis de produção de frutos (número de frutos/planta e caixas/planta) foram calculadas para cada árvore selecionada. As médias dos valores de cada variedade, em cada nota de severidade, foram comparadas pela ANOVA com 4 tratamentos (4 variedades) e diferentes números de repetições por tratamentos (a depender do número de plantas por variedade). Quando diferenças significativas entre as médias das variáveis foram detectadas pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

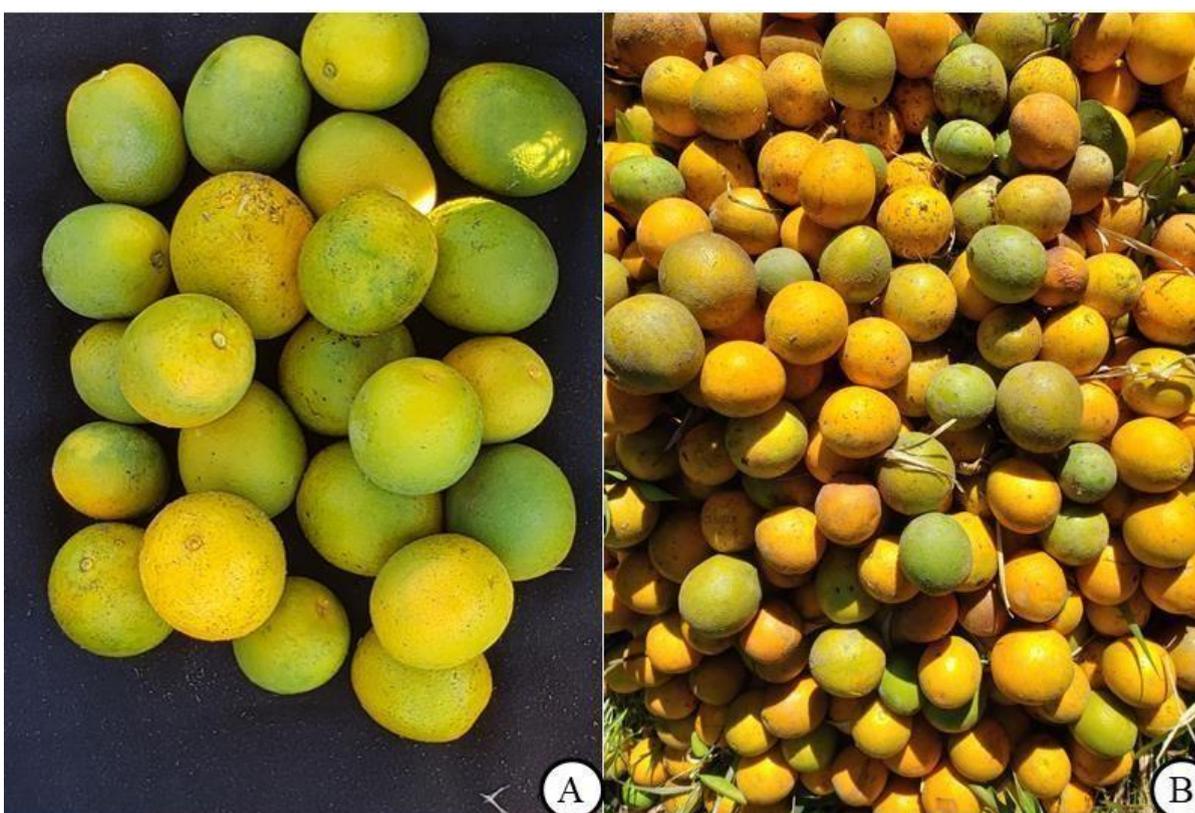


## 4. Resultados

### 4.1. Variáveis de produção de laranjas doces

Na safra 2018/2019, com exceção do talhão 4, observamos um padrão nas médias das variáveis número total de frutos/planta, número de caixas/planta e número de frutos/caixa em relação à severidade da doença (Fig. 4; Tab. 5). O número total de frutos/planta e o número de caixas/planta reduziu à medida que aumentou as notas de severidade. Nós observamos reduções estatisticamente significativas entre as médias das notas de seis, dos sete talhões analisados. Por outro lado, o número de frutos/caixa aumentou com o aumento da severidade da doença, para essa variável, as médias das notas de seis talhões foram estatisticamente significativas. Na variável gramas/fruto apenas as médias das plantas de dois talhões apresentaram um padrão de redução à medida que aumentou a severidade das plantas. Observamos uma ampla faixa de variação percentual nas médias de número total de frutos/planta e caixas/planta entre as notas de severidade. Essa faixa de variação é menor para número de frutos/caixa e sem padrão para a variável gramas/fruto.

Em síntese, nessa safra, as variáveis mais influenciadas pela severidade da doença foram número total de frutos/caixa e número de caixas/planta, observadas reduções de aproximadamente 68 e 70% (talhão 2), respectivamente.



**Figura 4.** Frutos de laranja Hamlin; A) Frutos de 1 planta sintomática (>75% sintomas); B) Frutos de 1 planta assintomática. Crédito da imagem: Wesler Luiz Marcelino.

**Tabela 5.** Médias (e erro padrão da média) do número total de frutos, caixas/planta, gramas/fruto e número de frutos/caixa para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2018/2019. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2018/2019										
Nota	Nº	Total de frutos/planta		Caixas/planta		Gramas/fruto		Frutos/caixa		
			%		%		%		%	
<b>Talhão 1 (Hamlin)</b>										
0	15	644,1 ± 41,2	a <sup>z</sup>	2,3 ± 0,1	a	145,9 ± 7,6	ab	288,9 ± 15,1	ab	
1	20	618,3 ± 24,7	a	-4,0	ab	138,6 ± 10,2	b	324,3 ± 25,7	a	12,2
2	27	502,4 ± 36,5	b	-22,0	c	142,8 ± 9,4	b	316,5 ± 22,6	a	9,5
3	19	400,4 ± 32,8	c	-37,8	bc	189,6 ± 23,9	a	270,1 ± 37,0	b	-6,5
4	12	284,8 ± 44,1	c	-55,8	d	130,9 ± 17,1	b	352,3 ± 34,3	a	21,9
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		0,028		0,028		
<b>Talhão 2 (Natal)</b>										
0	7	549,9 ± 31,7	a	2,3 ± 0,1	a	173,7 ± 11,9		239,5 ± 14,2		
1	11	438,8 ± 42,6	ab	-20,2	b	184,8 ± 31,6	6,4	262,9 ± 30,1		9,8
2	9	433,8 ± 49,2	abc	-21,1	bc	161,5 ± 16,5	-7,0	282,8 ± 42,6		18,1
3	8	296,9 ± 67,9	bc	-46,0	bc	176,8 ± 5,5	1,8	231,2 ± 7,3		-3,4
4	2	178,0 ± 6,0	c	-67,6	c	152,3 ± 30,9	-12,3	278,0 ± 56,4		16,1
<i>p</i> -valor		0,024		0,009		0,799		0,799		
<b>Talhão 3 (Pera Rio)</b>										
0	30	857,7 ± 44,0	a	2,8 ± 0,1	ab	136,5 ± 3,2	a	302,5 ± 7,4	c	
1	30	881,5 ± 43,2	a	2,8	a	140,5 ± 3,6	2,9	293,8 ± 6,7	c	-2,9
2	29	841,4 ± 27,2	a	-1,9	bc	126,9 ± 3,4	b	326,4 ± 8,7	b	7,9
3	18	797,6 ± 50,3	a	-7,0	c	119,0 ± 5,5	bc	353,5 ± 15,8	ab	16,9
4	16	608,9 ± 43,6	b	-29,0	d	110,5 ± 3,4	c	372,8 ± 12,1	a	23,3
<i>p</i> -valor		0,013		<0,001		<0,001		<0,001		
<b>Talhão 4 (Pera Rio)</b>										
0	25	297,1 ± 18,5		1,2 ± 0,1		169,6 ± 3,7	a	242,2 ± 5,6	b	
1	25	301,8 ± 21,8	1,6	1,1 ± 0,1	-5,4	156,1 ± 4,6	ab	266,1 ± 8,6	a	9,9
2	20	321,7 ± 21,5	8,3	1,1 ± 0,1	-5,9	146,9 ± 5,4	b	283,4 ± 10,4	a	17,0
3	1	326,0	9,7	1,5	21,8	184,8	a	219,7	b	-9,3
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>p</i> -valor		1,000		1,000		<0,001		<0,001		
<b>Talhão 5 (Natal)</b>										
0	20	672,1 ± 44,0	a	2,8 ± 0,2	a	169,8 ± 5,2	a	243,5 ± 8,0	c	
1	20	596,8 ± 27,1	a	-11,2	a	170,0 ± 9,5	ab	247,8 ± 9,0	bc	1,8
2	20	439,6 ± 20,7	b	-34,6	b	153,1 ± 6,4	bc	274,4 ± 12,2	ab	12,7
3	20	407,4 ± 30,3	bc	-39,4	b	162,8 ± 23,4	bc	289,4 ± 19,6	a	18,8
4	10	298,4 ± 43,8	c	-55,6	c	143,4 ± 9,3	c	299,2 ± 28,6	ab	22,9
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		0,005		0,005		
<b>Talhão 6 (Valência)</b>										
0	14	964,3 ± 59,0	a	4,8 ± 0,2	a	213,9 ± 16,3	a	200,1 ± 10,6	c	
1	20	863,0 ± 49,0	ab	-10,5	b	190,7 ± 7,7	ab	218,3 ± 7,4	bc	9,1
2	20	785,0 ± 54,1	bc	-18,6	c	176,1 ± 3,8	b	232,5 ± 4,9	b	16,2
3	19	680,3 ± 48,4	cd	-29,5	d	174,0 ± 4,5	b	236,0 ± 6,0	b	18,0
4	9	475,8 ± 71,6	d	-50,7	e	148,3 ± 7,1	c	279,2 ± 14,7	a	39,6
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		
<b>Talhão 7 (Valência)</b>										
0	21	758,9 ± 68,6	a	3,5 ± 0,2	a	201,2 ± 12,6	a	214,8 ± 10,8	b	
1	21	613,3 ± 64,6	ab	-19,2	b	181,9 ± 6,1	a	228,4 ± 7,8	b	6,3
2	21	532,1 ± 48,3	bc	-29,9	b	178,7 ± 10,1	a	240,7 ± 12,7	b	12,0
3	21	513,5 ± 38,6	bc	-32,3	b	173,5 ± 5,8	a	239,1 ± 7,8	b	11,3
4	21	432,4 ± 30,1	c	-43,0	c	156,0 ± 4,1	b	263,5 ± 6,3	a	22,6
<i>p</i> -valor		0,005		<0,001		0,042		0,004		

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

Na safra 2019/2020, as variáveis mais afetadas foram número total de frutos/planta e número de caixas/planta (Tab. 6). Em todos os talhões, as médias dessas variáveis reduziram com o aumento da severidade da doença e os valores médios diferiram estatisticamente entre si nas notas de severidade. As médias das variáveis número de frutos/caixa e gramas/fruto aumentaram apenas em dois talhões, nos demais observamos oscilações percentuais (negativa e positiva) entre as notas.

Nessa safra, semelhante a safra 2018/2019, as variáveis mais afetadas pela presença do HLB foram número total de frutos/planta e número de caixas/planta. Para essas variáveis, foram observadas reduções de aproximadamente 71% e 84% (talhão 5), respectivamente.

**Tabela 6.** Médias (e erro padrão da média) do número total de frutos, caixas/planta, gramas/fruto e número de frutos/caixa para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2019/2020. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2019/2020													
Nota	Nº	Total de frutos/planta	%	Caixas/planta	%	Gramas/fruto	%	Frutos/caixa	%				
<b>Talhão 1 (Hamlin)</b>													
0	10	1224,0 ± 108,0	a <sup>z</sup>	3,5 ± 0,2	a	119,4 ± 5,2		345,4 ± 13,6					
1	10	896,0 ± 100,0	ab	-26,8	2,4 ± 0,2	b	-31,6	111,5 ± 5,6	-6,7	372,0 ± 17,5	7,7		
2	17	742,8 ± 73,7	bc	-39,3	2,1 ± 0,2	bc	-40,1	116,6 ± 4,1	-2,4	354,5 ± 11,2	2,7		
3	26	632,4 ± 51,2	c	-48,3	1,7 ± 0,1	c	-50,2	111,3 ± 2,9	-6,8	372,1 ± 11,6	7,7		
4	24	426,3 ± 48,2	d	-65,2	1,1 ± 0,1	d	-68,2	111,6 ± 4,3	-6,5	381,5 ± 21,8	10,5		
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		0,783		0,783					
<b>Talhão 2 (Natal)</b>													
0	4	801,0 ± 39,8	a	2,7 ± 0,2	a	139,6 ± 9,1		294,8 ± 20,9					
1	14	709,9 ± 55,3	a	-11,4	2,2 ± 0,2	ab	-19,9	129,6 ± 8,3	-7,1	332,8 ± 25,0	12,9		
2	11	562,4 ± 83,0	b	-29,8	1,6 ± 0,2	b	-40,2	123,9 ± 8,2	-11,2	342,6 ± 24,0	16,2		
3	6	492,8 ± 48,1	b	-38,5	1,7 ± 0,3	b	-39,4	135,3 ± 8,9	-3,1	305,8 ± 17,2	3,7		
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>p</i> -valor		0,028		0,028		0,604		0,604					
<b>Talhão 3 (Pera Rio)</b>													
0	25	1494,6 ± 62,9	a	5,2 ± 0,2	a	141,9 ± 3,2	a	289,4 ± 6,3	d				
1	24	1229,0 ± 77,9	b	-17,8	4,0 ± 0,3	b	-22,5	132,2 ± 2,6	b	-6,9	310,2 ± 6,7	c	7,2
2	16	1041,0 ± 102,0	c	-30,3	3,0 ± 0,3	c	-41,5	119,6 ± 5,3	bc	-15,7	352,5 ± 20,3	b	21,8
3	17	626,1 ± 51,7	d	-58,1	1,9 ± 0,2	d	-62,9	123,8 ± 5,9	c	-12,8	346,1 ± 25,3	bc	19,6
4	18	490,6 ± 38,9	d	-67,2	1,2 ± 0,1	e	-76,4	101,1 ± 4,1	d	-28,8	413,2 ± 16,7	a	42,8
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001					
<b>Talhão 4 (Pera Rio)</b>													
0	22	560,1 ± 28,9	a	2,0 ± 0,1	a	148,5 ± 5,1		279,2 ± 8,4					
1	26	437,7 ± 35,7	b	-21,9	1,5 ± 0,1	b	-26,8	143,0 ± 4,1	-3,7	290,1 ± 8,9	3,9		
2	20	386,7 ± 46,2	bc	-31,0	1,2 ± 0,1	c	-42,7	129,7 ± 4,8	-12,7	324,1 ± 16,4	16,1		
3	2	219,5 ± 39,5	c	-60,8	0,7 ± 0,1	c	-62,6	141,4 ± 2,5	-4,8	287,2 ± 5,1	2,8		
4	1	181,0	c	-67,7	0,5	c	-73,5	121,4	-18,2	334,3	19,7		
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		0,101		0,102					
<b>Talhão 5 (Natal)</b>													
0	4	674,8 ± 72,9	a	2,8 ± 0,3	a	170,3 ± 4,8	ab	238,9 ± 6,8	c				
1	20	492,7 ± 46,3	a	-27,0	2,1 ± 0,2	a	-26,9	177,3 ± 9,0	a	4,1	238,4 ± 10,2	c	-0,2
2	14	289,6 ± 56,1	b	-57,1	0,9 ± 0,1	b	-66,9	149,0 ± 11,0	abc	-12,5	323,4 ± 60,0	bc	35,4
3	24	176,3 ± 24,4	c	-73,9	0,6 ± 0,1	c	-78,9	141,8 ± 5,1	bc	-16,8	295,3 ± 11,1	ab	23,6
4	22	195,4 ± 49,0	c	-71,0	0,5 ± 0,1	c	-83,7	126,2 ± 7,2	c	-25,9	374,5 ± 48,0	a	56,8
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001					
<b>Talhão 6 (Valência)</b>													
0	6	672,0 ± 105,0	a	1,9 ± 0,3	a	116,0 ± 7,8	ab	356,6 ± 20,1	ab				
1	21	561,1 ± 44,6	a	-16,5	1,6 ± 0,1	a	-12,0	122,3 ± 6,2	a	5,3	345,1 ± 13,5	b	-3,2
2	17	565,1 ± 49,7	a	-15,9	1,4 ± 0,1	ab	-26,1	100,3 ± 4,7	b	-13,6	420,4 ± 21,5	a	17,9
3	22	478,7 ± 39,8	a	-28,8	1,3 ± 0,1	b	-32,5	107,4 ± 2,8	b	-7,5	383,2 ± 9,3	a	7,5
4	16	324,0 ± 47,6	b	-51,8	0,8 ± 0,1	c	-54,9	108,5 ± 5,2	b	-6,5	385,0 ± 15,6	a	8,0
<i>p</i> -valor		0,001		<0,001		0,054		0,054					
<b>Talhão 7 (Valência)</b>													
0	9	1766,0 ± 154,0	a	5,7 ± 0,6	a	130,9 ± 4,7	ab	313,8 ± 13,0	ab				
1	27	1431,3 ± 90,4	a	-19,0	4,8 ± 0,3	a	-15,1	141,8 ± 5,3	a	8,3	296,4 ± 10,7	b	-5,6
2	13	1107,0 ± 111,0	bc	-37,3	3,4 ± 0,3	b	-40,6	126,6 ± 6,0	ab	-3,3	329,5 ± 15,6	ab	5,0
3	18	1125,1 ± 97,3	b	-36,3	3,6 ± 0,3	b	-35,9	134,0 ± 5,0	a	2,4	311,0 ± 13,0	b	-0,9
4	22	894,8 ± 51,9	c	-49,3	2,6 ± 0,2	c	-54,1	119,3 ± 3,6	b	-8,9	346,8 ± 10,5	a	10,5
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		0,025		0,025					

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

Os resultados da safra 2020/2021 (Tab. 7) indicaram uma produtividade baixa quando comparada com as safras anteriores analisadas. A variável número total de frutos/planta foi significativa entre as notas em apenas 4 talhões. Diferente das safras anteriores, em que foi possível observar um padrão de redução dos frutos, nessa safra alguns talhões apresentaram oscilações positivas e negativas com o aumento da severidade da doença. Esse mesmo cenário foi observado para o número de caixas/planta. Apesar das oscilações encontradas nos talhões para as variáveis número total de frutos/planta e número de caixas/planta, a queda de produção em um dos talhões alcançou aproximadamente 79 e 82% (talhão 6), respectivamente.

Nessa safra, as variáveis mais interferidas pela doença foram gramas/fruto e frutos/caixa. Para essas duas variáveis, houve diferenças estatísticas entre as notas de severidade em todos os talhões. Em gramas/fruto foi observada uma queda de massa dos frutos com o aumento da severidade da doença, enquanto que em frutos/caixa um aumento percentual foi observado com o aumento da severidade do HLB.

Na safra 2020/2021, diferente das demais safras, as variáveis que sofreram maiores interferências pela doença foram gramas/fruto e frutos/caixa. Em gramas/fruto foi observada uma queda de massa de frutos de até 46% (talhão 5), já em frutos/caixa observou-se um aumento de aproximadamente 86% (talhão 5).

Em síntese, nas safras 2018/2019 e 2019/2020, as plantas foram mais sensíveis à interferência do HLB para as variáveis número total de frutos/planta e número de caixas/planta. Em relação às variáveis gramas/fruto e frutos/caixa, as plantas da safra 2020/2021 foram as mais sensíveis.

**Tabela 7.** Médias (e erro padrão da média) do número total de frutos, caixas/planta, gramas/fruto e número de frutos/caixa para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2020/2021. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2020/2021										
Nota	Nº	Total de frutos/planta	%	Caixas/planta	%	Gramas/fruto	%	Frutos/caixa	%	
<b>Talhão 1 (Hamlin)</b>										
0	10	460,1 ± 68,3		1,8 ± 0,2	a <sup>z</sup>	166,2 ± 6,6	ab	248,4 ± 11,7	ab	
1	2	457,5 ± 3,5	-0,6	2,5 ± 1,1	a	226,9 ± 102,5	a	224,8 ± 101,5	b	-9,5
2	15	335,1 ± 63,1	-27,2	1,0 ± 0,2	b	135,1 ± 5,5	b	309,1 ± 15,8	a	24,4
3	31	351,2 ± 36,6	-23,7	1,1 ± 0,1	ab	137,2 ± 3,4	b	301,4 ± 7,5	a	21,3
4	28	306,6 ± 29,6	-33,4	1,0 ± 0,1	b	137,0 ± 4,1	b	302,5 ± 7,8	a	21,8
<i>p</i> -valor		0,166		0,050		0,009		0,009		
<b>Talhão 2 (Natal)</b>										
0	7	448,0 ± 67,4		1,8 ± 0,2		169,6 ± 6,8	a	241,5 ± 9,1	c	
1	6	427,3 ± 42,5	-4,6	1,5 ± 0,2		144,1 ± 8,0	b	286,1 ± 16,2	b	18,5
2	8	493,3 ± 84,1	10,1	2,0 ± 0,3		145,6 ± 5,4	b	281,5 ± 10,4	b	16,5
3	9	358,8 ± 62,5	-19,9	1,3 ± 0,2		146,9 ± 8,1	b	282,8 ± 14,4	b	17,1
4	5	355,0 ± 126,6	-20,8	1,1 ± 0,5		111,1 ± 11,7	c	385,7 ± 48,7	a	59,7
<i>p</i> -valor		0,508		0,196		0,006		0,006		
<b>Talhão 3 (Pera Rio)</b>										
0	11	480,5 ± 53,7	a	2,0 ± 0,3	ab	166,5 ± 7,9	a	249,5 ± 11,9	b	
1	15	579,2 ± 52,4	a	2,2 ± 0,2	a	158,9 ± 5,8	a	260,4 ± 9,9	b	4,4
2	10	547,7 ± 50,5	a	1,9 ± 0,2	ab	142,8 ± 7,9	b	291,9 ± 15,5	a	17,0
3	19	463,5 ± 42,6	a	1,5 ± 0,1	b	134,6 ± 4,7	b	309,2 ± 12,3	a	23,9
4	28	336,3 ± 29,4	b	1,1 ± 0,1	c	129,8 ± 4,3	b	322,5 ± 11,0	a	29,3
<i>p</i> -valor		0,000		<0,001		<0,001		<0,001		
<b>Talhão 4 (Pera Rio)</b>										
0	12	393,2 ± 37,7	ab	1,3 ± 0,1	a	138,7 ± 8,1	a	300,5 ± 12,4	c	
1	23	463,7 ± 28,2	a	1,3 ± 0,1	a	115,1 ± 3,3	b	359,2 ± 10,5	b	19,5
2	18	413,8 ± 30,4	ab	1,2 ± 0,1	a	121,8 ± 6,7	b	352,1 ± 18,3	b	17,1
3	9	357,6 ± 51,2	b	0,9 ± 0,1	b	103,0 ± 4,3	c	407,8 ± 16,7	a	35,7
4	7	233,9 ± 36,0	c	0,6 ± 0,1	b	108,2 ± 3,2	bc	377,3 ± 10,8	ab	25,6
<i>p</i> -valor		0,002		<0,001		0,001		0,001		
<b>Talhão 5 (Natal)</b>										
0	3	579,3 ± 103,8		2,4 ± 0,3	a	169,2 ± 9,6	a	241,4 ± 13,1	a	
1	30	375,1 ± 46,4	-35,3	1,3 ± 0,2	bc	153,6 ± 11,8	a	285,6 ± 11,2	ab	18,3
2	17	393,8 ± 31,9	-32,0	1,4 ± 0,1	ab	148,9 ± 9,6	a	306,1 ± 36,7	ab	26,8
3	7	282,1 ± 22,5	-51,3	0,9 ± 0,1	c	122 ± 7,2	b	339,6 ± 18,8	a	40,7
4	1	462,0	-20,3	1,0	bc	90,6	b	448,3	a	85,7
<i>p</i> -valor		0,125		0,047		0,031		0,031		
<b>Talhão 6 (Valência)</b>										
0	3	871,3 ± 106,0	a	4,1 ± 0,3	a	194,4 ± 14,8	ab	211,2 ± 15,2	bc	
1	28	674,6 ± 69,4	a	3,3 ± 0,3	ab	207,4 ± 8,3	a	200,2 ± 6,4	c	-5,2
2	33	585,5 ± 35,5	a	2,8 ± 0,2	b	192,7 ± 3,4	a	212,8 ± 3,7	abc	0,8
3	11	372,1 ± 67,9	b	1,6 ± 0,3	c	185,7 ± 6,5	ab	221,0 ± 6,8	ab	4,6
4	6	183,3 ± 37,6	b	0,7 ± 0,2	c	163,6 ± 10,2	b	254,1 ± 19,4	a	20,3
<i>p</i> -valor		0,000		<0,001		0,028		0,015		
<b>Talhão 7 (Valência)</b>										
0	12	728,6 ± 108,2		2,7 ± 0,3		162,8 ± 11,4	a	261,1 ± 15,7	b	
1	31	786,3 ± 69,1	7,9	2,8 ± 0,2	5,0	155,4 ± 5,8	a	273,7 ± 11,5	b	4,8
2	18	787,3 ± 76,6	8,1	2,4 ± 0,2	-10,8	126,4 ± 5,2	b	332,5 ± 17,1	a	27,4
3	18	646,4 ± 69,0	-11,3	2,1 ± 0,2	-24,1	137,7 ± 10,6	b	324,2 ± 24,9	a	24,2
4	12	576,4 ± 60,5	-20,9	1,9 ± 0,2	-30,6	132,1 ± 8,2	b	320,4 ± 19,7	a	22,7
<i>p</i> -valor		0,325		0,056		0,003		0,003		

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

O Coeficiente de Correlação por Postos de *Spearman* permitiu avaliar a dependência das notas de severidade com as variáveis de produção total de frutos, caixas/planta, gramas/fruto e frutos/caixa, nas 3 safras (Tab. 8).

Na maior parte das comparações das variáveis de produção com as notas de severidade as correlações foram estatisticamente significativas, sendo que, para maior parte dos talhões e das safras, há uma redução significativa do total de frutos/planta, caixas/planta e gramas/fruto com o aumento da severidade. Para frutos/caixa observou-se um aumento significativo na maioria dos talhões com o aumento da severidade. Dados esses de acordo com os resultados apresentados nas tabelas 5, 6 e 7 (Kruskal-Wallis).

Na safra 2018/2019 e 2019/2020, as variáveis número total de frutos/planta e caixas/planta mostraram uma correlação mais forte com a severidade da doença do que as demais variáveis. Fato esse que se difere na safra 2020/2021, em que as variáveis gramas/fruto e frutos/caixa mostram-se correlacionadas mais fortemente com a severidade do que as variáveis número total de frutos/planta e caixas/planta.

**Tabela 8.** Valores do coeficiente de correlação de *Spearman* obtidos na comparação da severidade do HLB com as variáveis número total de frutos/planta, caixas/planta, gramas/fruto e número de frutos/caixa para as safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021.

SAFRA 2018/2019							
Variáveis	Talhões						
	1	2	3	4	5	6	7
Total de frutos/planta	-0,62 *	-0,52 *	-0,27 *	0,11	-0,68 *	-0,51 *	-0,36 *
Caixas/planta	-0,50 *	-0,57 *	-0,46 *	-0,07	-0,76 *	-0,71 *	-0,55 *
Gramas/fruto	0,01	0,06	-0,45 *	-0,41 *	-0,39 *	-0,49 *	-0,35 *
Frutos/caixa	-0,01	-0,06	0,45 *	0,41 *	0,39 *	0,49 *	0,35 *
SAFRA 2019/2020							
Total de frutos/planta	-0,61 *	-0,51 *	-0,82 *	-0,51 *	-0,61 *	-0,43 *	-0,54 *
Caixas/planta	-0,67 *	-0,47 *	-0,83 *	-0,63 *	-0,74 *	-0,51 *	-0,63 *
Gramas/fruto	-0,09	-0,13	-0,61 *	-0,29 *	-0,54 *	-0,22 *	-0,26 *
Frutos/caixa	0,09	0,13	0,61 *	0,29 *	0,54 *	0,22 *	0,26 *
SAFRA 2020/2021							
Total de frutos/planta	-0,17	-0,27	-0,43 *	-0,28 *	-0,04	-0,45 *	-0,13
Caixas/planta	-0,27 *	-0,38 *	-0,57 *	-0,45 *	-0,20	-0,51 *	-0,29 *
Gramas/fruto	-0,27 *	-0,54 *	-0,49 *	-0,42 *	-0,25	-0,30 *	-0,35 *
Frutos/caixa	0,27 *	0,54 *	0,49 *	0,44 *	0,25	0,33 *	0,35 *

\*Correlação significativa ( $p$ -valor = 0,05).

As variedades Hamlin, Natal, Pera Rio e Valência foram comparadas quanto as variáveis número total de frutos/planta (Tab. 9) e caixas/planta (Tab. 10) em cada nota de severidade por meio do teste ANOVA, seguido pelo teste de comparação de Tukey.

Para a variável número total de frutos/planta, na safra 2018/2019, as variedades se diferiram apenas nas notas 2 e 3. Nessa safra, a maior redução na produção de frutos foi na variedade Natal, com redução percentual de aproximadamente 58%. Na safra 2019/2020, a partir da nota 2, as variedades diferiram quanto ao número total de frutos/planta. Nessa safra, semelhante a safra anterior, a variedade Natal foi a mais influenciada negativamente pela interferência da doença, alcançando uma redução de aproximadamente 72%. Na safra 2020/2021, as variedades diferiram apenas nas notas 1 e 2, não havendo diferenças estatísticas nas notas 3 e 4. Na nota 1, a variedade Natal foi a mais afetada pela doença, com redução de aproximadamente 30%.

**Tabela 9.** Variação percentual (e erro padrão da média) do número total de frutos/planta entre as plantas com sintomas de HLB (notas 1 a 4) e as plantas assintomáticas (nota 0) para as safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021.

Severidade HLB	SAFRA 2018/2019			
	Variedades			
	Pera Rio	Hamlin	Natal	Valência
	Variação (%)			
1	-3,4 (3,1)	-4,0 (6,1)	-13,4 (5,0)	-14,9 (4,2)
2	-11,6 (3,1) a <sup>x</sup>	-22,0 (5,3) ab	-30,4 (5,1) b	-24,3 (4,2) ab
3	-22,4 (4,8) a	-37,8 (6,3) ab	-41,3 (5,1) b	-30,9 (4,3) ab
4	-32,4 (6,3)	-55,8 (7,9)	-57,6 (7,9)	-45,3 (4,9)
Severidade HLB	SAFRA 2019/2020			
1	-19,8 (3,7)	-26,8 (8,3)	-19,8 (4,6)	-17,7 (3,8)
2	-30,8 (4,4) ab	-39,8 (6,4) ab	-45,8 (5,3) b	-25,8 (4,8) a
3	-58,8 (6,0) bc	-47,8 (5,3) ab	-67,8 (4,9) c	-32,7 (4,2) a
4	-67,8 (6,0) ab	-65,8 (5,4) ab	-71,8 (5,6) b	-50,6 (4,4) a
Severidade HLB	SAFRA 2020/2021			
1	19,0 (6,5) a	-0,6 (28,6) abc	-30,2 (6,7) c	-6,3 (5,3) b
2	10,2 (7,8) a	-27,2 (10,4) b	-18,5 (8,1) ab	-18,4 (5,7) ab
3	3,1 (7,8)	-23,7 (7,3)	-33,6 (10,1)	-28,7 (7,5)
4	-32,1 (6,8)	-33,4 (7,6)	-20,7 (16,5)	-40,2 (9,5)

<sup>x</sup> Dados analisados por ANOVA seguidas por teste de Tukey. As médias nas linhas seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ( $p$ -valor = 0,05).

A variável caixas/planta mostrou reduções mais acentuadas que número total de frutos/planta. Para safra 2018/2019, somente a nota 4 não diferiu entre as variedades. Os dados indicaram que a variedade Natal foi a mais sensível, reduzindo até 65%. Na safra 2019/2020 as variedades se diferiram a partir da nota 2, as quedas alcançaram aproximadamente 83% na nota 4 para a variedade Natal. Na safra 2020/2021, somente houve diferenças entre as variedades nas notas 1 e 2. A maior redução foi observada na variedade Pera Rio, nota 4, (48%), contudo as demais variedades não se diferiram estatisticamente e os danos na produção foram equiparados para as quatro variedades.

Diante da análise comparativa das variedades em relação aos parâmetros de produção número de frutos/planta e número de caixas/planta, foi possível observar que a variedade Natal foi a mais sensível quanto a interferência do HLB na maioria das notas nas diferentes safras.

**Tabela 10.** Comparação da variação percentual da variável caixas/planta entre as variedades de laranjas doces nos diferentes níveis de severidade de HLB nas safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021.

Severidade HLB	SAFRA 2018/2019							
	Variedades							
	Pera Rio		Hamlin		Natal		Valência	
	Variação (%)							
1	-5,1 (2,8)	a <sup>x</sup>	-10,2 (5,5)	ab	-16,0 (4,5)	ab	-22,0 (3,8)	b
2	-17,1 (2,8)	a	-27,2 (4,7)	ab	-37,4 (4,6)	b	-33,4 (3,8)	b
3	-30,3 (4,3)	a	-25,2 (5,6)	a	-46,8 (4,6)	b	-39,8 (3,9)	ab
4	-44,2 (5,6)		-60,1 (7,1)		-65,4 (7,1)		-56,0 (4,5)	
Severidade HLB	SAFRA 2019/2020							
1	-24,8 (3,4)		-31,6 (7,6)		-23,2 (4,2)		-13,8 (3,4)	
2	-42,8 (4,0)	ab	-40,6 (5,8)	ab	-55,3 (4,8)	b	-32,7 (4,4)	a
3	-62,7 (5,5)	bc	-49,7 (4,8)	ab	-71,5 (4,4)	c	-34,7 (3,8)	a
4	-76,8 (5,5)	b	-68,8 (4,9)	ab	-83,8 (5,1)	b	-54,8 (4,0)	a
Severidade HLB	SAFRA 2020/2021							
1	4,1 (5,7)	a	41,7 (24,9)	a	-39,2 (5,8)	b	-6,0 (4,6)	a
2	-6,1 (6,5)	a	-41,7 (9,1)	b	-29,1 (7,0)	ab	-24,9 (4,9)	ab
3	-27,4 (6,6)		-36,3 (6,3)		-44,0 (8,8)		-37,6 (6,5)	
4	-48,1 (5,9)		-42,3 (6,6)		-44,4 (14,3)		-47,7 (8,3)	

<sup>x</sup> Dados analisados por ANOVA seguidas por teste de Tukey. As médias nas linhas seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ( $p$ -valor = 0,05).

#### 4.2. Variáveis de qualidade de suco de laranjas doces

Nas variáveis de suco SS, AT e *ratio*, na safra 2018/2019, não houve diferenças estatísticas para a maioria dos lotes, com exceção do lote 3 que, apesar de se diferir estatisticamente, mostrou uma baixa variação percentual entre plantas assintomáticas e sintomáticas (Tab. 11). Logo, para essas variáveis de suco não observamos alterações devido à interferência do HLB e nenhum padrão de aumento ou redução foi identificado.

**Tabela 11.** Médias (e erro padrão da média) dos sólidos solúveis totais (SS), acidez total (AT) e *ratio* (SS/TA) para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2018/2019. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2018/2019							
Talhão 1 (Hamlin)							
Nota	Nº Amostra	SS (°Brix - g/100g)	%	AT (g/100g)	%	Ratio (SS/TA)	%
0	15	10,9 ± 0,5		0,7 ± 0,1		14,8 ± 1,1	
1	20	11,1 ± 0,8	1,7	0,8 ± 0,1	2,2	14,7 ± 1,2	-0,3
2	27	10,9 ± 0,6	-0,3	0,7 ± 0,1	-0,1	14,7 ± 1,0	-0,2
3	19	11,0 ± 0,5	0,4	0,7 ± <0,1	-2,4	15,2 ± 1,1	2,7
4	12	10,6 ± 0,5	-3,3	0,7 ± 0,1	-0,7	14,4 ± 1,4	-2,2
<i>p</i> -valor		0,143		0,673		0,809	
Talhão 2 (Natal)							
0	7	9,7 ± 0,3		0,9 ± 0,1		10,8 ± 1,1	
1	11	10,4 ± 0,7	7,0	1,0 ± 0,2	6,5	11,1 ± 2,5	3,6
2	9	10,0 ± 0,8	3,8	0,8 ± 0,1	-6,2	11,9 ± 1,4	10,9
3	8	10,1 ± 0,7	4,1	0,8 ± 0,1	-9,7	12,6 ± 2,4	17,3
4	2	9,5 ± 0,5	-2,3	0,8 ± 0,2	-10,5	12,1 ± 2,3	12,4
<i>p</i> -valor		0,254		0,325		0,350	
Talhão 3 (Pera Rio)							
0	30	13,6 ± 0,7	bz	1,2 ± 0,1	c	11,2 ± 0,9	ab
1	30	13,6 ± 0,9	b	1,2 ± 0,1	c	11,4 ± 1,1	a
2	29	14,6 ± 0,6	a	1,4 ± 0,2	a	10,5 ± 1,0	c
3	18	14,6 ± 0,8	a	1,3 ± 0,2	ab	10,8 ± 1,5	bc
4	16	15,1 ± 1,0	a	1,2 ± 0,1	b	11,9 ± 1,3	a
<i>p</i> -valor		<0,001		<0,001		<0,001	
Talhão 4 (Pera Rio)							
0	25	13,3 ± 0,3		1,1 ± 0,1		12,1 ± 1,8	
1	25	13,4 ± 0,6	0,8	1,1 ± 0,2	-4,4	12,7 ± 1,5	5,1
2	20	13,6 ± 0,5	2,1	1,0 ± 0,1	-6,4	13,2 ± 1,8	9,1
3	1	12,5	-6,1	0,9	-15,1	13,1	8,6
4	-	-	-	-	-	-	-
<i>p</i> -valor		0,107		0,197		0,066	
Talhão 5 (Natal)							
0	26	11,6 ± 0,6	b	0,96 ± 0,2		12,1 ± 2,0	
1	24	12,0 ± 0,7	ab	0,94 ± 0,2	-2,2	12,9 ± 3,3	6,5
2	28	12,4 ± 0,6	a	0,90 ± 0,1	-5,8	12,0 ± 1,5	-1,2
3	13	11,8 ± 0,8	b	0,87 ± 0,1	-9,0	12,8 ± 1,8	5,5
4	3	12,4 ± 1,0	a	0,83 ± 0,1	-12,8	12,4 ± 1,4	1,8
<i>p</i> -valor		0,007		0,524		0,700	
Talhão 6 (Valência)							
0	14	9,4 ± 0,3		0,6 ± 0,1		16,1 ± 1,8	
1	20	9,5 ± 0,3	1,3	0,6 ± <0,1	2,2	15,8 ± 1,0	-1,6
2	20	9,6 ± 0,4	2,6	0,6 ± 0,1	5,0	15,7 ± 1,5	-2,4
3	19	9,4 ± 0,4	0,7	0,6 ± 0,1	1,4	15,9 ± 1,6	-1,1
4	9	9,5 ± 0,4	1,0	0,6 ± 0,1	5,2	15,6 ± 2,5	-2,8
<i>p</i> -valor		0,426		0,836		0,966	
Talhão 7 (Valência)							
0	21	12,3 ± 0,9		0,8 ± 0,2		15,9 ± 2,7	
1	21	12,6 ± 1,0	2,8	0,9 ± 0,2	7,0	15,4 ± 2,7	-3,2
2	21	12,2 ± 1,0	-0,9	0,8 ± 0,2	-0,3	15,9 ± 3,3	0,4
3	21	11,8 ± 0,9	-4,2	0,8 ± 0,1	-4,4	15,9 ± 2,9	-0,1
4	21	12,1 ± 1,1	-1,8	0,8 ± 0,2	5,0	14,9 ± 2,5	-6,1
<i>p</i> -valor		0,083		0,656		0,926	

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

Na safra 2019/2020 também não foi possível detectar um padrão para as variáveis SS, AT e *ratio* (Tab. 12). Apesar de alguns talhões apresentarem diferenças estatísticas entre as notas de severidade e as variáveis, observamos oscilações quanto ao aumento e redução das variáveis entre as notas nos talhões.

**Tabela 12.** Médias (e erro padrão da média) dos sólidos solúveis totais (SS), acidez total (AT) e *ratio* (SS/TA) para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2019/2020. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2019/2020								
Talhão 1 (Hamlin)								
Nota	Nº Amostra	SS (°Brix - g/100g)	%	AT (g/100g)	%	Ratio (SS/TA)	%	
0	10	13,0 ± 0,7	a <sup>z</sup>	0,9 ± 0,1		14,3 ± 0,9	a	
1	10	12,4 ± 1,1	ab	-4,8	0,8	13,5 ± 0,7	ab	-5,6
2	17	12,1 ± 1,2	b	-6,8	0,1	13,3 ± 0,7	b	-7,0
3	26	11,6 ± 0,7	bc	-10,7	-0,6	13,6 ± 1,0	ab	-4,6
4	24	11,2 ± 0,9	c	-14,0	-6,9	13,2 ± 1,1	b	-7,5
<i>p</i> -valor		<0,001		0,033		0,050		
Talhão 2 (Natal)								
0	4	11,9 ± 0,5		0,6 ± <0,1		19,3 ± 0,8		
1	14	12,6 ± 0,7	5,8	0,6 ± 0,1	-0,5	20,7 ± 1,9	7,0	
2	11	12,3 ± 0,2	3,1	0,6 ± 0,1	0,1	20,1 ± 2,1	3,9	
3	6	12,2 ± 0,6	2,2	0,6 ± 0,1	0,3	19,8 ± 1,4	2,5	
4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>p</i> -valor		0,125		0,942		0,483		
Talhão 3 (Pera Rio)								
0	25	12,0 ± 0,6	d	0,8 ± 0,1		14,8 ± 1,1	b	
1	24	12,5 ± 0,9	c	4,5	2,2	15,1 ± 1,2	b	2,1
2	16	13,2 ± 0,9	b	10,1	6,0	15,3 ± 1,2	b	3,6
3	17	13,3 ± 0,9	b	10,4	-0,6	16,5 ± 1,3	a	11,2
4	18	14,4 ± 1,3	a	20,2	6,5	16,9 ± 1,8	a	13,9
<i>p</i> -valor		<0,001		0,091		<0,001		
Talhão 4 (Pera Rio)								
0	22	11,0 ± 0,5	b	0,7 ± 0,1		15,5 ± 1,3		
1	26	11,8 ± 0,8	ab	6,7	3,1	16,2 ± 2,0	4,2	
2	20	12,2 ± 1,0	ab	11,0	4,3	16,5 ± 1,9	6,7	
3	2	18,8 ± 0,4	a	16,1	8,3	16,7 ± 2,1	7,7	
4	1	12,2	ab	10,8	0,6	19,5	25,5	
<i>p</i> -valor		<0,001		0,323		0,157		
Talhão 5 (Natal)								
0	4	12,8 ± 0,4	ab	0,6 ± <0,1		20,8 ± 1,6	ab	
1	20	13,4 ± 0,8	a	4,5	0,9	21,6 ± 2,0	a	3,9
2	14	12,7 ± 1,3	ab	-0,8	5,7	19,6 ± 1,9	bc	-5,6
3	24	12,0 ± 1,4	b	-6,6	9,8	17,9 ± 3,0	c	-14,0
4	22	12,1 ± 0,9	b	-5,6	6,2	18,7 ± 2,9	bc	-10,0
<i>p</i> -valor		0,001		0,154		<0,001		
Talhão 6 (Valência)								
0	6	14,4 ± 0,2	a	0,6 ± 0,1		25,0 ± 4,0	a	
1	21	14,6 ± 0,7	a	1,8	2,0	24,9 ± 3,8	a	-0,5
2	17	14,6 ± 0,8	a	1,4	9,2	23,0 ± 2,8	ab	-8,1
3	22	13,6 ± 0,7	b	-5,6	6,8	21,9 ± 2,8	ab	-12,5
4	16	13,2 ± 0,5	b	-8,4	10,1	21,2 ± 4,9	b	-15,4
<i>p</i> -valor		<0,001		0,401		0,023		
Talhão 7 (Valência)								
0	9	15,1 ± 0,4		0,8 ± 0,1		19,3 ± 2,5		
1	27	14,9 ± 1,3	-1,2	0,7 ± 0,1	-8,5	20,7 ± 2,5	7,7	
2	13	14,4 ± 1,4	-4,5	0,7 ± 0,1	-7,4	19,9 ± 2,9	3,4	
3	18	13,9 ± 1,4	-7,9	0,7 ± 0,1	-8,9	19,6 ± 3,3	1,6	
4	22	13,8 ± 0,3	-8,6	0,7 ± 0,1	-9,3	19,4 ± 3,1	0,9	
<i>p</i> -valor		0,013		0,373		0,327		

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

O comportamento das variáveis SS, AT e *ratio* na safra 2020/2021 foi semelhante as demais safras analisadas, ou seja, não foi possível detectar um padrão de aumento ou redução dessas variáveis com o aumento da severidade da doença (Tab. 13). Nessa safra a variação percentual das variáveis com relação à doença foi de uma amplitude muito pequena, sem muita interferência na qualidade do suco.

**Tabela 13.** Médias (e erro padrão da média) dos sólidos solúveis totais (SS), acidez total (AT) e *ratio* (SS/TA) para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2020/2021. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2020/2021								
Talhão 1 (Hamlin)								
Nota	Nº Amostra	SS (°Brix - g/100g)	%	AT (g/100g)	%	Ratio (SS/TA)	%	
0	10	13,2 ± 1,2	a <sup>z</sup>	1,1 ± 0,2		12,1 ± 1,4		
1	2	12,9 ± 1,6	ab	1,0 ± 0,1	-8,4	12,5 ± <0,1	8,3	
2	15	12,4 ± 1,3	ab	1,1 ± 0,2	23,6	11,3 ± 0,9	-20,6	
3	31	11,8 ± 1,2	b	1,0 ± 0,2	15,2	11,9 ± 1,2	-17,9	
4	28	11,6 ± 1,0	b	1,0 ± 0,1	20,1	11,9 ± 1,2	-16,6	
<i>p</i> -valor		0,011		0,227		0,384		
Talhão 2 (Natal)								
0	7	13,2 ± 0,7	ab	0,7 ± 0,1		17,7 ± 1,4		
1	6	12,6 ± 1,1	b	0,8 ± 0,2	10,7	15,4 ± 2,4	-12,8	
2	8	11,7 ± 0,5	c	0,7 ± 0,1	-1,1	15,9 ± 2,1	-9,9	
3	9	13,0 ± 0,6	b	0,8 ± 0,1	10,3	15,8 ± 2,1	-10,5	
4	5	14,1 ± 1,0	a	0,9 ± 0,1	16,5	16,3 ± 2,1	-8,0	
<i>p</i> -valor		0,002		0,136		0,304		
Talhão 3 (Pera Rio)								
0	11	14,1 ± 1,0	b	0,6 ± 0,1		22,4 ± 4,7	b	
1	15	14,6 ± 1,3	b	0,6 ± 0,1	-7,6	24,5 ± 2,6	ab	9,2
2	10	15,2 ± 1,3	ab	0,6 ± 0,1	-3,1	24,3 ± 2,7	ab	8,5
3	19	15,6 ± 1,0	a	0,6 ± 0,1	-3,3	25,3 ± 3,8	ab	13,0
4	28	15,8 ± 1,3	a	0,6 ± 0,1	-7,1	26,5 ± 3,4	a	18,4
<i>p</i> -valor		<0,001		0,676		0,032		
Talhão 4 (Pera Rio)								
0	12	15,8 ± 0,7		0,7 ± 0,1		21,9 ± 2,0		
1	23	15,9 ± 0,9	0,9	0,7 ± 0,1	-2,1	22,7 ± 2,4	3,4	
2	17	16,0 ± 0,8	1,3	0,7 ± 0,1	-0,6	22,5 ± 2,5	2,5	
3	8	16,5 ± 1,2	4,6	0,7 ± 0,1	-4,2	24,3 ± 3,7	10,9	
4	7	15,7 ± 0,6	-0,9	0,7 ± 0,1	-9,6	24,1 ± 2,6	10,0	
<i>p</i> -valor		0,552		0,481		0,322		
Talhão 5 (Natal)								
0	3	11,7 ± 0,6		0,6 ± 0,1	ab	18,4 ± 2,0	a	
1	30	11,6 ± 0,9	-0,6	0,8 ± 0,2	a	15,6 ± 3,1	ab	-14,9
2	17	11,7 ± 0,7	0,7	0,7 ± 0,1	ab	18,0 ± 2,4	a	-2,2
3	7	11,4 ± 0,5	-2,4	0,8 ± 0,1	a	15,0 ± 2,3	b	-18,3
4	1	11,9	1,9	0,9	a	13,4	b	-27,1
<i>p</i> -valor		0,881		0,054		0,001		
Talhão 6 (Valência)								
0	3	9,8 ± 0,1		0,6 ± 0,1		17,6 ± 3,2		
1	27	9,6 ± 0,7	-1,6	0,5 ± <0,1	-3,7	17,7 ± 1,9	0,2	
2	33	9,9 ± 0,4	0,8	0,5 ± <0,1	-4,2	18,2 ± 1,7	3,1	
3	11	9,5 ± 0,6	-3,3	0,5 ± <0,1	-7,1	18,2 ± 2,9	2,8	
4	6	9,3 ± 1,2	-4,9	0,6 ± 0,1	1,1	17,0 ± 4,5	-3,6	
<i>p</i> -valor		0,111		0,786		0,976		
Talhão 7 (Valência)								
0	12	15,0 ± 0,9	a	0,6 ± <0,1	c	26,4 ± 3,0	a	
1	31	14,9 ± 1,1	ab	0,6 ± 0,1	bc	24,2 ± 3,6	ab	-8,3
2	18	14,4 ± 0,9	bc	0,7 ± 0,1	a	21,0 ± 3,8	c	-20,4
3	18	14,0 ± 1,4	c	0,7 ± 0,1	ab	21,7 ± 3,8	c	-17,8
4	12	14,5 ± 1,9	c	0,7 ± 0,2	ab	22,0 ± 5,4	bc	-16,6
<i>p</i> -valor		0,032		0,011		0,001		

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

Na safra 2018/2019 foram avaliadas as variáveis *limonin*, vitamina C e pH (Tab. 14). Para *limonin*, apesar de poucos talhões apresentarem diferença estatística, observamos um aumento da concentração desse composto em todos os talhões devido ao aumento da severidade da doença. Para vitamina C, seis dos setes talhões foi observado aumento do teor do composto, e quatro desses lotes foram significativos estatisticamente. Com relação ao pH, não foi possível determinar um padrão de aumento ou redução ligados a severidade da doença.

**Tabela 14.** Médias (e erro padrão da média) de *limonin*, vitamina C e pH para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2018/2019. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2018/2019							
Talhão 1 (Hamlin)							
Nota	Nº	<i>Limonin</i> (mg/L)	%	Vitamina C (mg/L)	%	pH	%
0	4	1,1 ± 0,2	d <sup>Z</sup>	488,0 ± 14,8	c	3,9 ± 0,1	a
1	5	1,4 ± 0,4	cd	534,2 ± 13,9	b	3,9 ± 0,0	ab
2	4	1,8 ± 0,5	bc	559,0 ± 32,3	b	3,8 ± 0,1	bc
3	5	2,3 ± 0,5	ab	546,0 ± 29,4	b	3,8 ± 0,0	bc
4	3	3,4 ± 0,7	a	620,7 ± 22,4	a	3,8 ± 0,0	c
<i>p</i> -valor		0,004		0,006		0,041	
Talhão 2 (Natal)							
0	5	1,9 ± 0,8		308,8 ± 17,3	b	3,8 ± 0,1	
1	5	2,7 ± 1,3	45,7	364,6 ± 51,4	a	3,7 ± 0,2	-2,9
2	5	2,8 ± 0,6	51,1	351,2 ± 14,6	a	3,7 ± 0,0	-1,8
3	5	2,9 ± 1,0	56,4	364,4 ± 15,7	a	3,7 ± 0,1	-2,4
4	2	3,1 ± 2,3	64,9	291,0 ± 12,7	b	3,8 ± 0,2	-0,2
<i>p</i> -valor		0,461		0,007		0,370	
Talhão 3 (Pera Rio)							
0	5	1,2 ± 0,3	b	456,4 ± 12,8	c	3,5 ± 0,0	a
1	5	1,8 ± 0,4	b	468,4 ± 21,5	c	3,5 ± 0,0	ab
2	5	3,4 ± 0,9	a	545,8 ± 37,2	b	3,4 ± 0,1	ab
3	5	4,5 ± 2,2	a	591,8 ± 35,2	ab	3,3 ± 0,1	c
4	5	5,3 ± 2,1	a	646,8 ± 65,1	a	3,4 ± 0,0	bc
<i>p</i> -valor		0,001		<0,001		0,013	
Talhão 4 (Pera Rio)							
0	5	1,3 ± 0,2		429,4 ± 28,2		3,6 ± 0,1	
1	5	1,7 ± 0,4	32,3	412,4 ± 35,7	-4,0	3,6 ± 0,0	1,8
2	5	2,3 ± 1,1	75,4	452,4 ± 32,5	5,4	3,5 ± 0,1	-0,8
3	1	1,8	38,5	391	-8,9	3,9	10,3
4		-		-		-	
<i>p</i> -valor		0,176		0,220		0,123	
Talhão 5 (Natal)							
0	5	1,8 ± 0,5		350,8 ± 22,6	bc	3,7 ± 0,1	
1	5	1,3 ± 0,6	-29,2	337,0 ± 30,0	c	3,8 ± 0,1	2,5
2	5	2,3 ± 1,0	30,3	383,4 ± 42,7	ab	3,6 ± 0,2	-1,1
3	5	2,3 ± 1,1	30,3	390,4 ± 39,6	ab	3,5 ± 0,1	-3,4
4	5	2,6 ± 1,0	46,1	402,2 ± 17,1	a	3,7 ± 0,1	-0,2
<i>p</i> -valor		0,051		0,015		0,177	
Talhão 6 (Valência)							
0	5	1,2 ± 0,4		357,8 ± 12,0		3,8 ± 0,1	
1	4	1,2 ± 0,4	-5,7	336,8 ± 15,5	-5,9	3,7 ± 0,1	-1,9
2	4	1,3 ± 0,1	8,6	359,5 ± 29,1	0,5	3,8 ± 0,0	-0,7
3	5	1,3 ± 0,4	8,2	372,0 ± 8,7	4,0	3,8 ± 0,1	-0,9
4	3	1,4 ± 0,3	12,0	363,0 ± 19,3	1,5	3,9 ± 0,0	1,9
<i>p</i> -valor		0,871		0,135		0,299	
Talhão 7 (Valência)							
0	5	1,6 ± 0,4		457,2 ± 40,8		3,9 ± 0,2	
1	5	3,4 ± 1,3	115,0	482,6 ± 90,3	5,6	3,6 ± 0,2	-5,7
2	5	3,0 ± 1,0	86,3	483,0 ± 38,5	5,6	3,7 ± 0,1	-3,3
3	5	2,3 ± 1,4	43,8	501,0 ± 27,4	9,6	3,7 ± 0,2	-3,5
4	5	2,7 ± 1,5	66,3	508,4 ± 61,1	11,2	3,8 ± 0,1	-1,5
<i>p</i> -valor		0,118		0,470		0,425	

<sup>Z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p*-valor = 0,05).

Na tabela 15, constam os dados da safra 2019/2020 das variáveis de qualidade de suco. Para *limonin* detectamos um padrão de aumento do teor à medida que aumenta a severidade da doença. Apenas o talhão 4 mostrou um comportamento oposto. Dos talhões avaliados, somente três foram significativos para *limonin*. Com relação à vitamina C e pH, não foi possível detectar um padrão linear de aumento ou redução, já que ocorre muitas oscilações positivas e negativas entre as médias das notas em cada variável.

**Tabela 15.** Médias (e erro padrão da média) de *limonin*, vitamina C e pH para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2019/2020. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2019/2020								
Talhão 1 (Hamlin)								
Nota	Nº	<i>Limonin</i> (mg/L)	%	Vitamina C (mg/L)	%	pH	%	
0	5	0,3 ± 0,1	d <sup>Z</sup>	537,2 ± 50,4		3,7 ± <0,1		
1	5	0,6 ± 0,1	c	592,2 ± 44,6	10,2	3,6 ± 0,1	-1,6	
2	5	1,1 ± 0,4	b	589,0 ± 45,9	9,6	3,6 ± 0,0	-0,8	
3	5	1,3 ± 0,9	b	593,6 ± 71,6	10,5	3,7 ± 0,1	-0,4	
4	5	2,1 ± 0,8	a	603,2 ± 89,2	12,3	3,7 ± 0,1	0,8	
<i>p-valor</i>		0,001		0,632		0,632		
Talhão 2 (Natal)								
0	4	0,7 ± 0,1		278,5 ± 8,1	b	4,3 ± <0,1		
1	4	0,8 ± 0,2	18,5	337,5 ± 31,4	a	4,2 ± 0,1	-1,2	
2	4	0,9 ± <0,1	29,6	340,0 ± 14,6	a	4,3 ± 0,1	-0,6	
3	4	0,9 ± 0,1	37,0	287,0 ± 34,8	b	4,3 ± 0,1	1,0	
4		-		-		-		
<i>p-valor</i>		0,062		0,021		0,598		
Talhão 3 (Pera Rio)								
0	5	0,7 ± 0,6	c	401,0 ± 17,6		3,9 ± 0,1	a	
1	5	0,5 ± 0,1	c	377,2 ± 85,8	-5,9	3,9 ± <0,1	a	
2	5	0,9 ± 0,1	b	404,8 ± 97,2	9,9	3,8 ± <0,1	b	
3	5	1,7 ± 0,6	a	494,4 ± 58,6	23,3	3,8 ± <0,1	ab	
4	5	2,8 ± 0,5	a	513,6 ± 296,6	28,1	3,7 ± 0,1	b	
<i>p-valor</i>		0,002		0,083		0,034		
Talhão 4 (Pera Rio)								
0	5	1,0 ± 1,2		369,4 ± 26,1	c	3,8 ± 0,1		
1	5	1,2 ± 1,6	15,4	439,8 ± 48,5	ab	3,8 ± 0,1	-1,8	
2	5	0,6 ± 0,1	-38,5	481,8 ± 41,4	a	3,8 ± 0,1	-1,6	
3	2	0,8 ± 0,3	-27,9	402,5 ± 64,3	bc	3,9 ± 0,1	2,0	
4	1	1,0	-3,8	425,0	abc	4,2	8,3	
<i>p-valor</i>		0,783		0,034		0,083		
Talhão 5 (Natal)								
0	4	0,9 ± 0,3		343,5 ± 9,3		4,0 ± 0,1		
1	5	0,7 ± 0,2	-20,0	328,0 ± 29,3	-4,5	4,1 ± 0,1	1,5	
2	5	0,9 ± 0,1	5,1	345,2 ± 15,5	0,5	4,1 ± 0,0	1,5	
3	5	1,1 ± 0,2	23,4	330,4 ± 12,6	-3,8	4,1 ± 0,1	2,2	
4	5	1,8 ± 1,8	108	322,6 ± 10,8	-6,1	4,1 ± 0,1	1,7	
<i>p-valor</i>		0,168		0,135		0,571		
Talhão 6 (Valência)								
0	5	0,4 ± 0,1	c	394,2 ± 128,7		4,3 ± 0,1		
1	5	0,5 ± 0,2	ab	448,8 ± 30,8	13,9	4,3 ± 0,0	-1,0	
2	5	0,6 ± 0,3	ab	439,7 ± 38,0	11,5	4,3 ± 0,1	-0,6	
3	5	0,4 ± 0,1	bc	382,6 ± 40,4	-2,9	4,4 ± 0,1	1,3	
4	4	0,6 ± 0,1	a	431,5 ± 11,1	9,5	4,3 ± 0,0	0,4	
<i>p-valor</i>		0,039		0,134		0,355		
Talhão 7 (Valência)								
0	5	0,7 ± 0,2		418,2 ± 29,5		4,1 ± 0,1		
1	5	0,8 ± 0,4	2,7	435,2 ± 77,9	4,1	4,2 ± 0,1	1,5	
2	5	0,8 ± 0,6	8,1	395,0 ± 29,9	-5,5	4,2 ± 0,1	1,3	
3	5	1,0 ± 0,7	40,5	464,4 ± 43,8	11,0	4,1 ± 0,1	1,1	
4	5	1,0 ± 0,4	40,5	412,8 ± 22,0	-1,3	4,2 ± 0,1	3,4	
<i>p-valor</i>		0,738		0,153		0,203		

<sup>Z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p-valor* = 0,05).

Na safra 2020/2021 (Tab. 16) foi avaliado *limonin* e vitamina C em 6 talhões. Para *limonin* não observamos um padrão com relação as médias e o aumento da severidade. As médias das plantas entre as notas de severidade alternaram positiva e negativamente em alguns talhões, e em outros talhões observamos aumento de *limonin* e em outros redução. Para vitamina C, na maioria dos talhões, foi observado um aumento do teor do composto ligado ao aumento da severidade da doença, apesar de somente os lotes 2 e 3 serem estatisticamente significativos.

**Tabela 16.** Médias (e erro padrão da média) de *limonin* e vitamina C para plantas sem sintomas de HLB (nota 0) e sintomáticas (notas 1 a 4) colhidas na safra 2020/2021. A variação percentual apresentada para as médias das plantas notas 1 a 4 foi calculada com base nas médias das plantas nota 0. A letra “N” indica o número de plantas avaliadas que apresentavam a mesma nota de severidade em cada talhão.

SAFRA 2020/2021						
Talhão 2 (Natal)						
Nota	Nº	<i>Limonin</i> (mg/L)	%	<i>Vitamina C</i> (mg/100 mL)		%
0	5	2,6 ± 0,4		294,2 ± 29,1	b <sup>z</sup>	
1	5	3,4 ± 1,3	30,2	321,8 ± 54,2	b	9,4
2	5	3,2 ± 0,8	22,5	288,8 ± 43,7	b	-1,8
3	5	3,1 ± 1,0	20,9	336,6 ± 36,0	b	14,4
4	5	3,5 ± 0,9	37,2	392,2 ± 28,7	a	33,3
<i>p-valor</i>		0,524		0,017		
Talhão 3 (Pera Rio)						
0	5	1,5 ± 0,9		333,2 ± 18,5	b	
1	5	1,2 ± 0,3	-18,4	331,2 ± 35,7	b	-0,6
2	5	1,1 ± 0,4	-30,3	409,6 ± 40,3	a	22,9
3	5	1,2 ± 0,1	-18,4	463,8 ± 90,5	a	39,2
4	5	1,3 ± 0,5	-14,5	434,0 ± 48,9	a	30,3
<i>p-valor</i>		0,933		0,002		
Talhão 4 (Pera Rio)						
0	5	0,6 ± 0,3		386,0 ± 42,2		
1	5	0,6 ± 0,2	3,2	380,4 ± 33,7		-1,5
2	5	0,6 ± 0,2	-3,2	430,0 ± 54,7		11,4
3	5	0,6 ± 0,3	3,2	441,0 ± 51,5		14,2
4	5	0,9 ± 0,4	11,6	434,6 ± 21,9		12,6
<i>p-valor</i>		0,235		0,099		
Talhão 5 (Natal)						
0	3	0,9 ± 0,1	b	315,3 ± 33,1		
1	5	3,1 ± 2,0	a	260,0	350,4 ± 45,5	11,1
2	5	2,2 ± 0,5	a	149,2	329,0 ± 18,8	4,3
3	5	3,9 ± 1,4	a	350,0	328,0 ± 29,6	4,0
4	1	3,6	a	315,4	369,0	17,0
<i>p-valor</i>		0,038		0,617		
Talhão 6 (Valência)						
0	3	1,3 ± 0,3		251,7 ± 6,7		
1	5	0,8 ± 0,1	-36,9	268,2 ± 8,1		6,6
2	5	1,0 ± 0,2	-21,5	264,0 ± 11,3		4,9
3	5	1,2 ± 0,3	-10,8	259,2 ± 11,3		3,0
4	4	1,6 ± 0,8	19,2	267,7 ± 29,4		6,4
<i>p-valor</i>		0,099		0,255		
Talhão 7 (Valência)						
0	3	1,2 ± 0,5	b	435,3 ± 65,1		
1	5	2,2 ± 0,9	b	80,0	455,4 ± 42,9	4,6
2	5	4,3 ± 2,2	a	260,0	490,8 ± 67,3	12,7
3	5	3,8 ± 1,0	a	218,3	433,8 ± 36,4	-0,4
4	1	2,0	ab	66,7	444,0	2,0
<i>p-valor</i>		0,029		0,540		

<sup>z</sup> Médias dentro das colunas da mesma variável e talhão, seguidas de mesmas letras, representa não significância pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em ranks (*p-valor* = 0,05).

Por meio do teste de correlação de *Spearman* observamos que poucas variáveis de qualidade de suco mostraram correlação significativa com a severidade da doença nas três safras avaliadas (Tab. 17). Na safra 2018/2019 e 2019/2020, as variáveis *limonin* e vitamina C indicaram forte correlação com a severidade da doença na maioria dos talhões. As demais

variáveis, quando significativas, em geral, indicaram correlação fraca. Para a safra 2020/2021, apenas vitamina C indicou correlação forte para maioria dos talhões. Em relação aos talhões, o 3 foi o mais sensível à interferência do HLB nas três safras, sendo significativos para maioria das variáveis analisadas. Em contrapartida, o talhão 2 foi o menos interferido pela doença.

**Tabela 17.** Valores do coeficiente de correlação de *Spearman* obtidos na comparação da severidade do HLB com as variáveis SS, *ratio*, concentração de suco, peso do suco, Kg/SS, AT, *limonin*, vitamina C e pH para as safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021.

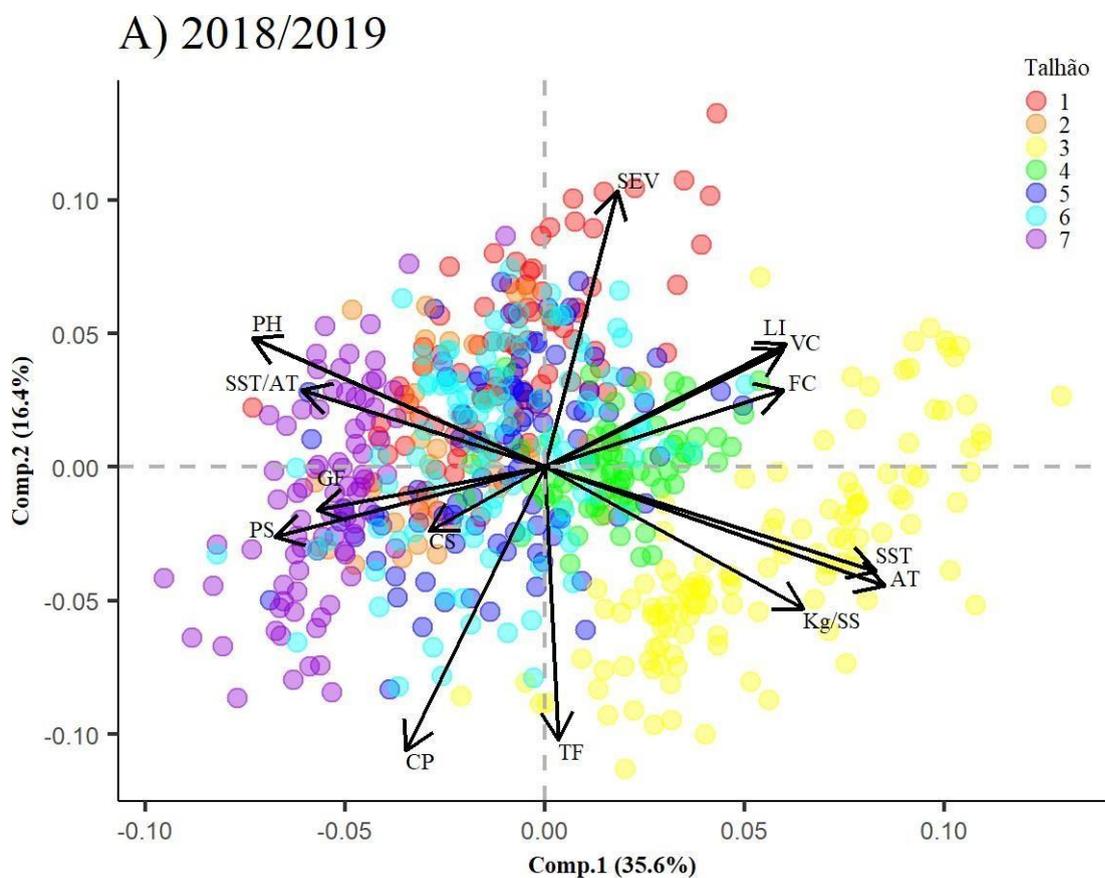
Variáveis	SAFRA 2018/2019						
	Talhões						
	1	2	3	4	5	6	7
SS (°Brix)	-0,16	-0,04	0,57 *	0,18	-0,32 *	0,05	-0,18
<i>Ratio</i> (SS/TA)	0,04	0,32	-0,08	0,32 *	0,05	-0,05	-0,05
Concentração de suco	0,01	-0,11	-0,35 *	0,12	0,28 *	0,12	0,11
Peso do suco	0,01	-0,03	-0,58 *	-0,14	-0,06	-0,15	-0,25 *
Kg/SS	-0,06	-0,15	0,10	0,20	-0,04	0,12	-0,12
AT	-0,13	-0,29	0,38 *	-0,25 *	-0,18	0,03	-0,01
<i>Limonin</i>	0,86 *	0,34	0,85 *	0,54 *	0,44 *	0,18	0,08
Vitamina C	0,76 *	0,28	0,88 *	0,05	0,65 *	0,35	0,37
pH	-0,67 *	-0,20	-0,63 *	0,05	-0,27	0,18	-0,02
SAFRA 2019/2020							
SS (°Brix)	-0,51 *	-0,10	0,65 *	0,58 *	-0,42 *	-0,60 *	-0,37 *
<i>Ratio</i> (SS/TA)	-0,23 *	-0,01	0,51 *	0,28 *	-0,44 *	-0,37 *	-0,12
Concentração de suco	-0,03	-0,36 *	-0,35 *	0,11	-0,26 *	-0,26 *	-0,18
Peso do suco	-0,13	-0,33	-0,53 *	-0,07	-0,52 *	-0,35 *	-0,19
Kg/SS	-0,60 *	-0,33	0,42 *	0,53 *	-0,51 *	-0,59 *	-0,41 *
AT	-0,33 *	0,05	0,08	0,13	0,18	0,19	-0,13
<i>Limonin</i>	0,84 *	0,68 *	0,82 *	0,23	0,36	0,44 *	0,19
Vitamina C	0,18	0,07	0,57 *	0,50 *	-0,34	-0,16	0,05
pH	0,15	0,07	-0,49 *	0,18	0,24	0,23	0,41 *
SAFRA 2020/2021							
SS (°Brix)	-0,35 *	0,19	0,47 *	0,05	-0,04	-0,14	-0,33 *
<i>Ratio</i> (SS/TA)	-0,01	-0,17	0,34 *	0,23	0,02	-0,01	-0,38 *
Concentração de suco	0,15	-0,29	-0,44 *	-0,18	0,17	0,23 *	-0,01
Peso do suco	-0,07	-0,61 *	-0,57 *	-0,38 *	-0,21	-0,03	-0,21 *
Kg/SS	-0,22 *	0,01	0,11	-0,16	0,17	0,03	-0,28 *
AT	-0,21 *	0,34 *	-0,07	-0,16	0,01	-0,08	-0,29 *
<i>Limonin</i>	-	0,32	-0,04	0,35	0,62 *	0,30	0,01
Vitamina C	-	0,56 *	0,76 *	0,48 *	0,15	0,20	0,62 *

\*Correlação significativa ( $p$ -valor = 0,05)

### 4.3. Interações entre as variáveis de produção, qualidade de suco e severidade do HLB

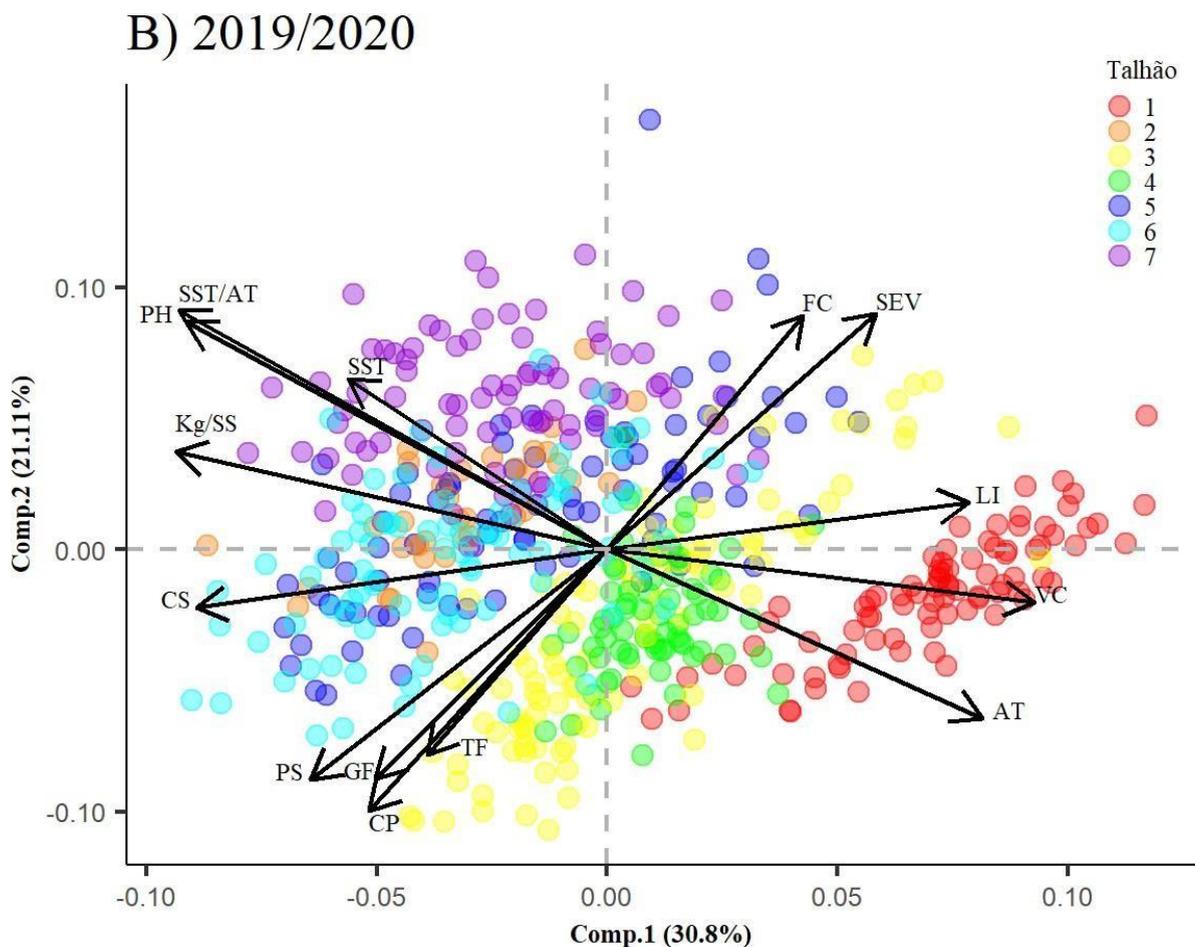
A ACP da safra 2018/2019 (Fig. 5), mostra que a primeira componente principal explica 35,6% da variabilidade dos dados, enquanto que a segunda explica 16,4%. Na análise

verificamos que as variáveis *limonin*, vitamina C e frutos por caixa são correlacionadas positivamente entre si e estas apresentam uma correlação positiva com a severidade da doença. Por outro lado, a severidade está negativamente correlacionada com total de frutos/planta, gramas/fruto, peso de suco, caixas por planta e concentração de suco. As variáveis *limonin*, vitamina C e frutos por caixa estão negativamente correlacionadas com o peso do suco, a concentração de suco e gramas por fruto. As variáveis SS, AT, Kg/SS não mostraram uma forte ligação com a severidade da doença.



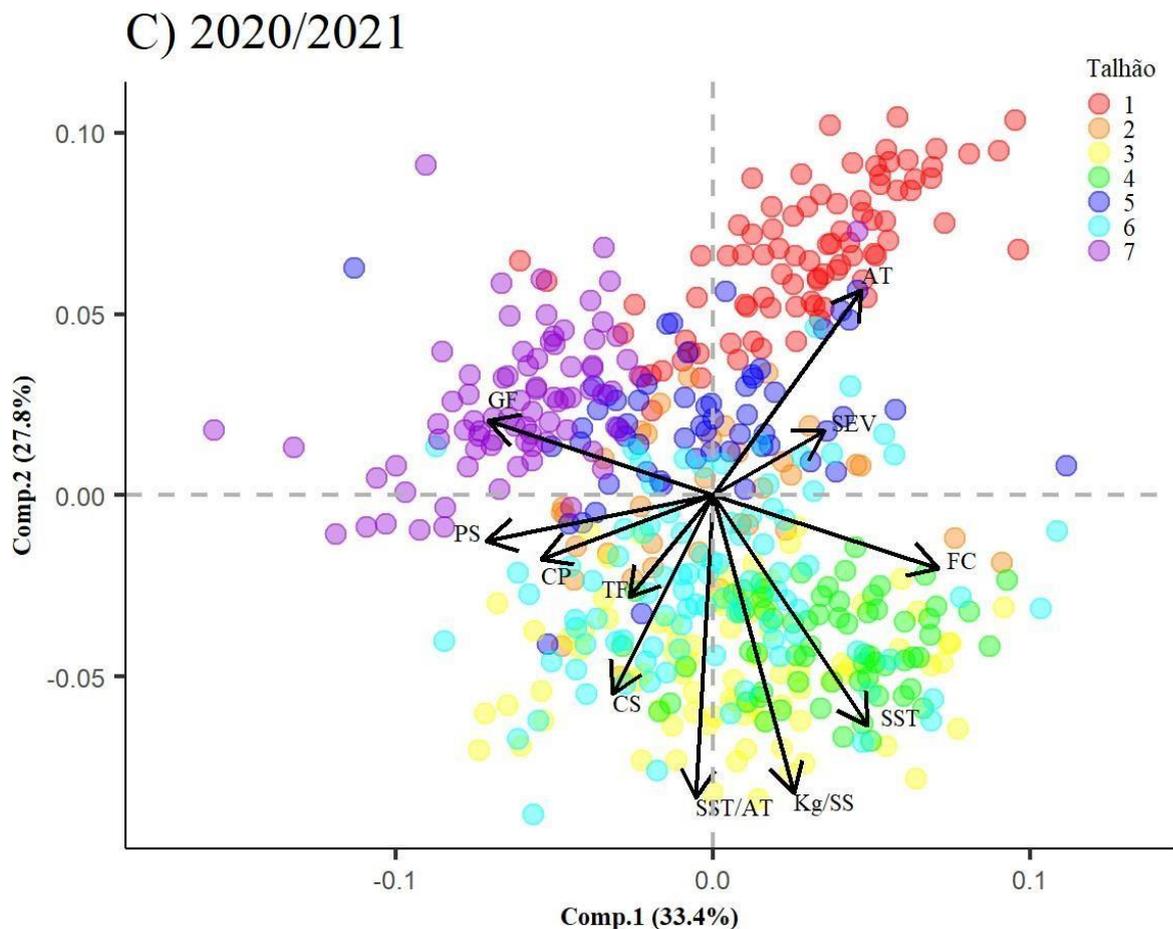
**Figura 5.** ACP das variáveis de severidade do HLB, produção e qualidade do suco de laranjas doces colhidas na safra 2018/2019. Comp.1: primeira componente principal; Comp.2: segunda componente principal; TF: total de frutos por planta; GF: gramas por fruto colhido; CP: caixas por planta; SS: sólidos solúveis totais (°Brix); SS/AT: *ratio*; CS: concentração de suco dos frutos colhidos por planta; FC: número de frutos por caixa; PS: peso do suco dos frutos colhidos por planta; Kg/SS: quilograma de sólidos solúveis dos frutos colhidos por planta; AT: acidez total; PH: potencial hidrogeniônico dos frutos colhidos por planta; VC: teor de vitamina C dos frutos colhidos por planta; LI: teor de *limonin* dos frutos colhidos por planta; e SEV: notas de severidade do HLB em plantas de laranjas doces. Talhão 1: Hamlin; Talhões 2 e 5; Natal; Talhões 3 e 4: Pera Rio; Talhões 6 e 7: Valência.

A ACP da safra 2019/2020 (Fig. 6) mostrou que a primeira componente explica 30,8% da variabilidade dos dados, enquanto que a segunda explica 21,1%. O aumento da severidade do HLB esteve fortemente associado ao aumento do número de frutos por caixa e o aumento da concentração de *limonin* nas amostras. Em sentido contrário, as variáveis número total de frutos/planta, caixas/planta, gramas/fruto e peso de suco estão negativamente correlacionadas com a severidade. As variáveis *limonin*, vitamina C e AT mostram-se positivamente correlacionadas e mostram uma proximidade positiva com a severidade do HLB.



**Figura 6.** ACP das variáveis de severidade do HLB, produção e qualidade do suco de laranjas doces colhidas na safra 2019/2020. Comp.1: primeira componente principal; Comp.2: segunda componente principal; TF: total de frutos por planta; GF: gramas por fruto colhido; CP: caixas por planta; SS: sólidos solúveis totais (°Brix); SS/AT: *ratio*; CS: concentração de suco dos frutos colhidos por planta; FC: número de frutos por caixa; PS: peso do suco dos frutos colhidos por planta; Kg/SS: quilograma de sólidos solúveis dos frutos colhidos por planta; AT: acidez total; PH: potencial hidrogeniônico dos frutos colhidos por planta; VC: teor de vitamina C dos frutos colhidos por planta; LI: teor de *limonin* dos frutos colhidos por planta; e SEV: notas de severidade do HLB em plantas de laranjas doces. Talhão 1: Hamlin; Talhões 2 e 5; Natal; Talhões 3 e 4: Pera Rio; Talhões 6 e 7: Valência.

Na safra 2020/2021, a ACP (Fig. 7) indicou que a primeira componente explica 33,4% da variabilidade dos dados, enquanto que a segunda explica 27,8%. A severidade mostrou uma correlação forte com a AT, fato não encontrado nas demais safras. Total de frutos/planta, peso do suco e caixas/plantas foram as variáveis que foram correlacionadas negativamente com a severidade e AT.



**Figura 7.** ACP das variáveis de severidade do HLB, produção e qualidade do suco de laranjas doces colhidas na safra 2020/2021. Comp.1: primeira componente principal; Comp.2: segunda componente principal; TF: total de frutos por planta; GF: gramas por fruto colhido; CP: caixas por planta; SS: sólidos solúveis totais (°Brix); SS/AT: *ratio*; CS: concentração de suco dos frutos colhidos por planta; FC: número de frutos por caixa; PS: peso do suco dos frutos colhidos por planta; Kg/SS: quilograma de sólidos solúveis dos frutos colhidos por planta; AT: acidez total; e SEV: notas de severidade do HLB em plantas de laranjas doces. Talhão 1: Hamlin; Talhões 2 e 5: Natal; Talhões 3 e 4: Pera Rio; Talhões 6 e 7: Valência.



## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Variáveis de produção de laranjas doces

Um dos pilares para o manejo do HLB é a inspeção e erradicação de plantas doentes (Belasque Jr. 2010). De acordo com o Programa Nacional de Prevenção e Controle à doença denominada *Huanglongbing* (HLB) – PNCHLB, instituído pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, caberá ao produtor eliminar, às suas expensas, as plantas hospedeiras com sintomas de HLB, não lhe cabendo qualquer tipo de indenização. Essa eliminação de plantas sintomáticas é obrigatória para os pomares de citros até o oitavo ano após o plantio, e facultativa para os demais, desde que realizado controle (Brasil, 2021). Contudo, a erradicação de uma planta com sintomas inferiores a 25% pode ser onerosa ao produtor. Nosso estudo, nas safras 2018/2019 e 2020/2021, mostrou que as médias de produção das plantas em alguns talhões com esse nível de severidade (<25%) foi maior do que em plantas saudáveis (Tab. 5 e Tab. 7), ou seja, não houve queda de produção para alguns talhões para plantas com poucos sintomas (<25%). Caso o produtor realize um adequado controle químico do vetor no interior do pomar a disseminação secundária é praticamente inexistente (Bergamin Filho *et al.* 2016), logo manter essas plantas produzindo pode ser uma alternativa interessante. Por outro lado, nós também encontramos reduções no número de frutos por planta que chegaram a até 35,3% na nota 1 (Tab. 7), em que o produtor estaria perdendo aproximadamente 1 caixa por planta (40,8 kg). Visando a obrigatoriedade de erradicação das plantas até 8 anos, e os resultados apresentados nesse estudo, cabe uma análise econômica para compreender o momento e a necessidade do arranquio de plantas sintomáticas, já que muitos produtores argumentam que há perdas diretas e imediatas quando uma planta sintomática, mas produtiva é eliminada, especificamente em casos de plantas adultas com sintomas iniciais que poderiam produzir por mais alguns anos (Bassanezi *et al.* 2013a).

Com o aumento da severidade da doença, o HLB interfere na redução da produção resultando em quedas prematuras de frutos devido à deficiência de água e carboidratos, ocasionando a queda de folhas e enfraquecimento das raízes, conseqüentemente interferindo o desenvolvimento dos frutos (Baldwin *et al.* 2018). Nossos dados indicaram que a maioria dos talhões, nas três safras, apontam uma redução de produção (nº de frutos por planta e caixas por planta) acima de 50% quando a severidade da doença atinge metade da copa (>50%), principalmente em anos muito produtivos (Tab. 6). Observamos quedas de até 83% no número

de caixas/planta colhida, o que ocasionaria uma perda financeira alta para o produtor, nesse caso, manter uma planta produzindo poderia gerar uma receita negativa.

Nosso estudo indicou que as plantas avaliadas na safra 2019/2020 apresentaram maiores produções em comparação às safras 2018/2019 e 2020/2021. Os dados das estimativas de safra realizadas pelo Fundecitrus também revelaram maior produção em São Paulo/Minas Gerais na safra 2019/2020 (387 milhões de caixas) em comparação à safra 2018/2019 (286 milhões) e 2020/2021 (268 milhões). Esse comportamento se dá devido à bienalidade dos citros, característica comum em plantas cítricas. Na bienalidade, após uma safra produtiva, as plantas respondem com uma produtividade baixa na próxima safra (Mazhar e Maqbool, 2007). Na safra mais produtiva (2019/2020) nós observamos um maior percentual de redução do número de frutos/planta e caixas/planta à medida que aumentou a severidade da doença, queda essa menos acentuada quando comparada as demais safras estudadas. Ademais, por meio da ACP (Fig. 5) da safra 2019/2020, nos verificamos que todas as variáveis de produção estão intimamente associadas a severidade da doença nessa safra. As variáveis gramas/fruto, caixas/planta e total de frutos/planta encontram-se opostas a severidade da doença, reduzindo as médias dessas variáveis à medida que aumenta a severidade da doença, enquanto que variável frutos/caixa mostrou uma forte correlação positiva com a severidade. Nas demais safras (Fig. 4 e Fig. 6) apenas total de frutos/planta e caixas/planta foram correlacionados fortemente com a severidade.

Com relação ao peso dos frutos, inferido pela variável gramas/fruto, e o tamanho dos frutos, inferido pela variável frutos/caixa, na safra 2018/2019 observamos que a variedade Valência indicou maior sensibilidade a essas variáveis na nota 4, com redução de até 30,6% no peso dos frutos e aumento de 39,6% no número de frutos/caixa (Tab. 5). Na safra 2019/2020, as variedades Pera Rio e Natal foram as que apresentaram maiores diferenças percentuais entre plantas assintomáticas e plantas com severidade acima de 75%. Já na safra 2020/2021, a variedade Natal foi a que mostrou maior variação nessas duas variáveis. Corroborando os resultados de Bassanezi *et al.* (2011), que mostrou que a interferência do HLB no peso de frutos foi mais pronunciada em variedades tardias do que nas variedades precoces e de meia-estação.

Por meio da análise de correlação (Tab. 8) nós observamos que todas as variáveis de produção estão correlacionadas diretamente com o HLB. O HLB reduziu o número de frutos/planta, número de caixas/planta e a massa dos frutos em todas as safras e em praticamente todos os talhões, e, também, interferiu no desenvolvimento dos frutos, tornando-os menores.

Para o número total de frutos/planta, nas três safras, todas as correlações significativas foram negativas, isso porque as plantas tendem a produzir poucos frutos devido ao aumento da severidade da doença. Bassanezi *et al* (2011) ao avaliar o número de frutos sintomáticos por planta e a severidade da doença, observou uma correlação positiva de 0,53, 0,41 e 0,31 para as variedades precoces, meia-estação e tardia, respectivamente. Nesse estudo, apesar de não quantificar o número de frutos sintomáticos à medida que aumentou a severidade do HLB, pudemos inferir que esses frutos, com o aumento da severidade, eram sintomáticos, já que os valores indicativos de tamanho de frutos e massa são característicos de frutos mal desenvolvidos e imaturos.

A variedade Pera Rio (talhão 3) e a Valência (talhão 6) mostraram uma correlação com a severidade da doença em todas as safras para todas as variáveis de produção estudadas (Tab. 8). Bassanezi *et al.* 2011, ao avaliar a interferência do HLB no peso de frutos sintomáticos para as variedades Hamlin, Westin, Pera Rio e Valência, observaram que para nenhuma variedade houve correlação significativa com a severidade da doença. Diferente dos nossos resultados, em que a variável gramas/fruto, nas três safras, mostrou uma correlação significativa negativa para maioria dos talhões. Fato esse descrito por Bové (2006), o qual afirma que laranjeiras infectadas com HLB tendem a produzir frutos com tamanho reduzido. As plantas produzem carboidratos através da fotossíntese por meio da fixação de carbono, posteriormente ocorre a migração desses compostos dos tecidos fontes (folhas, por exemplo) para os tecidos drenos (tubérculos, raízes e frutos) (Lemoine *et al.* 2013). A infecção do HLB afeta diretamente as vias envolvidas no transporte fonte-dreno, incluindo o metabolismo de carboidratos, que, por sua vez, impacta diretamente os tecidos drenos, resultando em redução de tamanho e má formação dos frutos (Smeekens *et al.* 2010; Cai *et al.* 2022).

Cabe ressaltar que, para a correlação de *Spearman*, um valor absoluto de 1 indica que os dados ordenados por posto são perfeitamente lineares, nesse sentido, devemos considerar que as variáveis que não foram significativas ou que apresentaram uma correlação baixa, podem ser bem ajustadas em outros modelos estatísticos. Por exemplo, Bassanezi (2011), em seu trabalho optou pelo modelo exponencial negativo para descrever a relação entre a produção relativa de frutos e a severidade do HLB.

A comparação das variedades de citros com diferentes níveis de severidade em relação à produção foi possível devido à eliminação das diferenças intrínsecas das variedades por meio do cálculo de redução ou aumento das variáveis de produção nos frutos sintomáticos, para cada

nota de severidade, em relação aos frutos assintomáticos (nota 0). A variedade Natal foi muito sensível a interferência do HLB no surgimento dos primeiros sintomas. Observamos uma redução do número de frutos/planta de até 30,2% (Tab. 9) em plantas com menos de 25% de sintomas. Nas plantas dessa variedade com sintomas acima de 75%, nos observamos uma redução de até 71,8%. Em relação ao número de caixas/planta essa redução foi mais acentuada, chegando a 39,2% de redução em plantas nota 1, e alcançando percentuais acima de 80% em plantas nota 4. Para explicar esse evento, Bassanezi *et al.* (2009), sugere que variedades precoces e de meia-estação são um pouco mais tolerantes para HLB ou mais eficientes no transporte e acumulação de SS nos frutos do que as variedades tardias. Outra hipótese pode estar relacionada a época de colheita dos frutos, em que a expressão dos sintomas do HLB é sazonal, geralmente ocorrendo desde o início do outono até o final do inverno, quando a concentração de bactérias nos tecidos é maior (Gottwald *et al.* 2007). No início dos sintomas foliares, frutos de variedades precoces e de meia estação estão quase prontos para serem colhidos no final do outono e inverno, enquanto frutos de variedades tardias colhidas na primavera e no início do verão, tornam-se mais afetados pela doença (Bassanezi *et al.* 2011).

## 5.2. Variáveis de qualidade do suco de laranjas doces

Em um ciclo normal de desenvolvimento de frutos cítricos, esses tendem a amadurecer, causando alteração na cor da casca, tornando-se menos verde e mais laranja, o teor de açúcares, *ratio* e sólidos solúveis aumenta, e a acidez e o ácido cítrico diminuem (Bai *et al.* 2016).

O Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) do suco de laranja pasteurizado definido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece a concentração mínima de SS em 10,5°Brix, *ratio* maior ou igual a 7,00, ácido ascórbico (mg/100mg) maior ou igual a 25 e açúcares totais naturais de laranja (g/100g) não superior a 13 (BRASIL, 2018).

Quando árvores cítricas são infectadas com HLB, as características morfológicas e bioquímicas podem ser alteradas (Yi *et al.* 2018). Nosso trabalho mostrou que características físico-químicas, como SS, AT e *ratio* não foram influenciadas negativamente para a qualidade do suco quando a colheita é realizada considerando todos os frutos da copa, ou seja, frutos sintomáticos e assintomáticos.

Em nosso trabalho, poucos lotes apresentaram SS abaixo de 10,5°Brix, aqueles que obtiveram médias abaixo do padrão do MAPA, já apresentavam valores abaixo nas plantas assintomáticas (nota 0), ou seja, é possível que a baixa concentração seja influenciada pela época de colheita. Em nenhum lote, que foi significativo para SS, houve valores desse composto abaixo do PIQ.

Para a AT, poucos lotes foram significativos, e os que se diferiram, foi observado um aumento da concentração de acidez à medida que aumentava a severidade. Os valores variaram entre as safras, e nenhum padrão foi observado entre as safras para os mesmos lotes. Bassanezi *et al.* (2009), ao avaliar a qualidade do suco observou diferenças quanto à concentração de AT para frutos sintomáticos e assintomáticos das variedades Hamlin, Westin, Pera e Valência. No estudo, a variedade precoce Hamlin indicou os menores valores de AT, sendo 0,76 e 0,91 g/100g para frutos assintomáticos e sintomáticos, respectivamente. A variedade Valência apresentou os maiores valores de AT, sendo 1,22 e 1,75 g/100g para frutos assintomáticos e sintomáticos, respectivamente.

A relação SS/AT, conhecida como *ratio*, é um dos indicadores de qualidade do suco mais comumente usados na indústria cítrica como parâmetro de maturidade do fruto e a época de colheita dos frutos de laranja. Mesmo que a fruta destinada ao suco no Brasil exija uma proporção SS/AT de  $\geq 7$ , os consumidores de sucos cítricos geralmente preferem um *ratio* de 15 a 18, dependendo do produto e dos gostos (BRASIL, 2018; Kimball, 1991). Nossos resultados estão de acordo com a legislação federal, apresentando *ratio* acima de 7, inclusive em plantas com alta severidade da doença. As variedades Natal e Valência, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, foram as que mostraram maior redução do *ratio*, porém, essa redução não inviabilizou os frutos à produção de suco. Curiosamente, os talhões 3 e 4, ambos Pera Rio, nas três safras analisadas, mostraram aumento de SS e *ratio* à medida que aumentou a severidade da doença, dados esses divergentes das pesquisas publicadas (Bassanezi *et al.* 2009; Ploto *et al.* 2010; Liao e Burs, 2012). Por outro lado, corroborando os nossos resultados, estudos recentes relataram variação entre os teores desses compostos em frutos afetados pela doença. Hung e Wang (2018) analisaram os SS e *ratio* de frutos de Hamlin sadios, assintomáticos e sintomáticos, e os resultados mostraram um teor de SS e *ratio* nos frutos assintomáticos e sintomáticos maior que nos frutos sadios. Resultados semelhantes foram encontrados por Baldwin *et al.* (2018), nos quais analisaram frutos das variedades Hamlin e Valência, sadios e com HLB, colhidos em janeiro e abril de 2015, respectivamente, os resultados mostraram aumento do teor de SS nos frutos sintomáticos. Nesse mesmo estudo,

foram analisados frutos de Hamlin colhidos em dezembro de 2014, esses apresentando maiores valores de SS nos frutos sadios do que nos frutos sintomáticos.

Apesar de relatos na literatura da interferência do HLB nas variáveis *ratio*, SS e AT, nossos resultados indicaram poucas alterações, isso pode estar associado à diluição que a mistura dos frutos com sintomas e sem sintomas provocam, já que avaliamos a copa inteira.

O *limonin* é conhecido pelo amargor que causa no suco, e sua concentração é maior em sucos provenientes de frutos imaturos. O suco de laranja de frutos afetados pelo HLB contém altos níveis de *limonin*, uma vez que a doença interfere no desenvolvimento dos frutos, tornando-os imaturos. Na safra 2019/2020, bienalidade positiva, o teor de *limonin* das plantas assintomáticas foi menor que das demais safras. Isso possivelmente devido a safra apresentar frutos mais maduros, comprovado pelos maiores teores de SS. Em nosso estudo, no geral, todos os lotes aumentaram o teor de *limonin* com o aumento da severidade da doença. De acordo com Dagulo *et al.* (2010), frutos sintomáticos para HLB são similares a frutos imaturos, logo a presença da doença tende a aumentar os teores de *limonin*. Na variedade Pera Rio, talhão 3, safra 2018/2019, encontramos teor de *limonin* de 5,3 mg/L na nota 4. A literatura mostra que o limiar de reconhecimento do *limonin* está em torno de 4-6 mg/L em suco de laranja, logo, o suco proveniente desse talhão poderia ser rejeitado pela indústria cítrica. Na safra 2019/2020, esse talhão também apresentou as maiores concentrações de *limonin*, alcançando 2,8 mg/L na nota 4. No geral, menores concentrações de *limonin* foram encontrados na safra de bienalidade positiva, isso pode ter ocorrido devido à alta produção de frutos sadios nessa safra, mesmo em plantas com alta severidade, mascarando as altas concentrações de *limonin* dos frutos imaturos.

Nosso trabalho mostrou que o teor de vitamina C pode ser um indicativo da presença de HLB em plantas cítricas quando comparado ao teor desse composto em plantas sadias. Nos observamos aumento desse composto à medida que aumenta a severidade do HLB. Sites e Reitz (1951) mostraram que o teor de vitamina C em frutas cítricas e seus sucos diminui durante o amadurecimento. Enquanto os frutos maduros contêm as menores concentrações de vitamina C, frutos imaturos contêm maiores. Baldwin *et al.* (2018), mostrou que frutos sadios de Hamlin e Valência possuem uma concentração de vitamina C menor do que frutos sintomáticos para HLB. Dessa forma, é possível inferir que frutos provenientes de plantas com alta severidade de HLB apresentam maiores concentrações de vitamina C, já que a presença de frutos imaturos e mau desenvolvimento são sintomas típicos da doença.

Observamos, por meio da ACP, que as variáveis frutos/caixa, *limonin* e vitamina C estão correlacionadas positivamente. Essa relação ocorre devido ao aumento do número de frutos por caixa e a redução da massa dos frutos em plantas com níveis altos de severidade, possivelmente frutos imaturos, os quais, conseqüentemente, apresentam maiores concentrações de *limonin* e vitamina C.

Em relação ao pH, poucos lotes apresentaram diferenças estatísticas em relação ao aumento da severidade. Nesses lotes foi observado uma redução do pH diretamente proporcional ao aumento da severidade. Contudo, não há um padrão em relação ao aumento ou redução do pH e a infecção de CLas entre os resultados disponíveis na literatura científica (Dala-Paula *et al.* 2019). Alguns autores encontraram aumento de pH em frutos sintomáticos (Ploto *et al.* 2008), outros, a queda do pH (Ploto *et al.* 2010; Raithore *et al.* 2015).

Por fim, nossos resultados mostraram que a qualidade do suco de frutos de laranjas doces infectadas pelo HLB, quando considerada a copa toda, não possui restrições legislativas para as variáveis de SS, AT e *ratio*, principalmente em anos de bienalidade positiva. Contudo, para *limonin* algumas plantas com níveis de severidade acima de 50% apresentaram valores perceptíveis ao paladar humano (Tab. 14), o que poderia inviabilizar a destinação para produção de suco.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Plantas de laranjas doces com severidade do HLB acima de 50% apresentaram uma redução de número total de frutos/planta e de caixas/planta em até 74 e 84%, respectivamente. Plantas com severidades menores que 25% não apresentaram redução na produção na maior parte dos casos.

A variedade Natal foi a mais sensível à presença do HLB para as variáveis número de frutos/planta e número de caixas/planta, reduzindo até 71,8% e 83,8%, respectivamente.

Os parâmetros de produção número de frutos/planta, caixas/planta e gramas/fruto estão negativamente correlacionados a severidade da doença, enquanto o número de frutos/caixa está positivamente correlacionado.

Para as condições de uso para indústria, ou seja, quando há mistura de frutos assintomáticas e sintomáticas, as variáveis SS, AT, *ratio* e pH foram pouco alteradas, pois nesse processo de mistura ocorre a diluição dos danos causados pelo HLB na qualidade do suco.

A vitamina C é uma variável que se altera com o aumento da severidade do HLB, está correlacionada positivamente com a severidade, podendo ser um indicativo indireto da presença do HLB em plantas.

A doença não altera o *limonin* a níveis perceptíveis ao paladar humano em plantas com severidade até 50%. Contudo, observamos valores de *limonin* acima de 4,5 mg/L em plantas com severidade acima de 50%, o que poderia influenciar no sabor do suco. Nesse caso, sugerimos uma análise sensorial para determinar com exatidão a mudança de qualidade do suco.



## REFERÊNCIAS

- Achor, D. S., Etxeberria, E., Wang, N., Folimonova, S. Y., Chung, K. R., & Albrigo, L. G. (2010). Sequence of Anatomical Symptom Observations in Citrus Affected with Huanglongbing Disease. *Plant Pathology Journal*, 9(2), 56–64. <https://doi.org/10.3923/ppj.2010.56.64>.
- Aritua, V., Achor, D., Gmitter, F. G., Albrigo, G., & Wang, N. (2013). Transcriptional and Microscopic Analyses of Citrus Stem and Root Responses to ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ Infection. *PLoS ONE*, 8(9), e73742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073742>.
- Baba, R. K.; Vaz, M. S. M. G.; da Costa, J., 2014. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 4, p. 515–526.
- Bai, J., Baldwin, E. A., McCollum, G., Plotto, A., Manthey, J. A., Widmer, W. W., *et al.* (2016). Changes in volatile and non-volatile flavor chemicals of “Valencia” orange juice over the harvest seasons. *Foods* 5:4. doi: 10.3390/foods5010004.
- Baldwin, E., Plotto, A., Bai, J., Manthey, J., Zhao, W., Raithore, S., & Irely, M. (2018). Effect of Abscission Zone Formation on Orange (*Citrus sinensis*) Fruit/Juice Quality for Trees Affected by Huanglongbing (HLB). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2877–2890. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05635>.
- Baldwin, E., Plotto, A., Manthey, J., McCollum, G., Bai, J., Irely, M., Cameron, R., & Luzio, G. (2010). Effect of Liberibacter Infection (Huanglongbing Disease) of Citrus on Orange Fruit Physiology and Fruit/Fruit Juice Quality: Chemical and Physical Analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(2), 1247–1262. <https://doi.org/10.1021/jf9031958>.
- Baldwin, E., Bai, J., Plotto, A., Manthey, J., Raithore, S., Deterre, S., Zhao, W., Nunes, C. d. N., Stansly, P. A., & Tansey, J. A. (2017). Effect of Vector Control and Foliar Nutrition on Quality of Orange Juice Affected by Huanglongbing: Chemical Analysis, *HortScience*, 52(8), 1100-1106. Retrieved Aug 11, 2022, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/52/8/article-p1100.xml>.
- Bassanezi, R. B., Belasque, J., & Montesino, L. H. (2013a). Frequency of symptomatic trees removal in small citrus blocks on citrus *Huanglongbing* epidemics. *Crop Protection*, 52, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.012>.

- Bassanezi, R. B., Montesino, L. H., Gimenes-Fernandes, N., Yamamoto, P. T., Gottwald, T. R., Amorim, L., & Filho, A. B. (2013b). Efficacy of area-wide inoculum reduction and vector control on temporal progress of *Huanglongbing* in young sweet orange plantings. *Plant Disease*, 97(6), 789–796. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0314-RE>.
- Bassanezi, Renato Beozzo, Lopes, S. A., Júnior, J. B., Spósito, M. B., Yamamoto, P. T., Miranda, M. P. de, Teixeira, D. do C., & Wulff, N. A. (2010). Epidemiologia do Huanglongbing e suas implicações para o manejo da doença. *Citrus Research & Technology*, 31(1), 11–23. <https://doi.org/10.5935/2236-3122.20100002>.
- Bassanezi, Renato Beozzo, Montesino, L. H., & Stuchi, E. S. (2009). Effects of Huanglongbing on fruit quality of sweet orange cultivar in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 125(4), 565–572. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9506-3>.
- Bassanezi, R. B., Montesino, L. H., Gasparoto, M. C. G., Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (2011). Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 577–586.
- Belasque, J., Jr., Yamamoto, P. T., Miranda, M. P., Bassanezi, R. B., Ayres, A. J., & Bové, J. M. (2010). Controle do huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. *Citrus Research and Technology*, 31, 53–64.
- Bergamin Filho A, Inoue-Nagata AK, Bassanezi R. B *et al.*, 2016. The importance of primary inoculum and área-wide disease management to crop health and food security. *Food security* 8, 221-238.
- Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018, 2018.Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.
- Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria Nº 317, de 21 de maio de 2021, 2021. Programa Nacional de Prevenção e Controle à doença denominada Huanglongbing (HLB) - PNCHLB. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.
- Boina, D. R., & Bloomquist, J. R. (2015). Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus. *Pest Management Science*, 71(6), 808–823. <https://doi.org/10.1002/ps.3957>.
- Bové, J.M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88, 7–37. <https://doi.org/10.4454/jpp.v88i1.828>.

- Bové, Joseph M. (2014). Huanglongbing or yellow shoot, a disease of Gondwanan origin: Will it destroy citrus worldwide? In *Phytoparasitica* (Vol. 42, Issue 5, pp. 579–583). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s12600-014-0415-4>.
- Cai Q *et al.* (2022). HLB induce changes in the tree physiology of citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle). *Physiol Mol Biol Plants* (February 2022) 28(2):517-531. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01129-z>.
- Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley & Sons.
- Catling, H. D. (1969). The bionomics of the South African citrus psylla, *Trioza erytreae* (Del Guercio) (Homoptera: *Psyllidae*) J. ent. Soc. sth. Afr. Vol. 33, No.2.
- Cocuzza, G. E. M., Alberto, U., Hernández-Suárez, E., Siverio, F., Di Silvestro, S., Tena, A., & Carmelo, R. (2017). A review on *Trioza erytreae* (African citrus psyllid), now in mainland Europe, and its potential risk as vector of Huanglongbing (HLB) in citrus. *Journal of Pest Science*, 90(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0804-1>.
- Coletta-Filho, H. D., Carlos, E. F., Lotto, L. L., Luciane, F. C., Alves, K. C. S., Pereira, M. A. R., & Machado, M. A. (2007). Prevalence of ‘*Candidatus Liberibacter* spp.’ in HLB-diseased Citrus Plants in São Paulo State, Brazil. In *Conference Proceedings of the Seventeenth International Organization of Citrus Virologists* (pp. 110–115). <https://escholarship.org/uc/item/7zg8d1v4>.
- Coletta-Filho, H. D., Targon, M. L. P. N., Takita, M. A., De Negri, J. D., Pompeu, J., Machado, M. A., do Amaral, A. M., & Muller, G. W. (2007). First Report of the Causal Agent of Huanglongbing (‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’) in Brazil. *Plant Disease*, 88(12), 1382–1382. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.12.1382C>.
- Dagulo, L., Danyluk, M. D., Spann, T. M., Valim, M. F., Goodrich-Schneider, R., Sims, C., & Rouseff, R. (2010). Chemical characterization of orange juice from trees infected with citrus greening (Huanglongbing). *Journal of food science*, 75(2), C199–C207. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01495.x>.
- da Graça, J. V., & Korsten, L. (2004). Citrus Huanglongbing: Review, Present status and Future Strategies. In *Diseases of Fruits and Vegetables Volume I* (pp. 229–245). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/1-4020-2606-4\\_4](https://doi.org/10.1007/1-4020-2606-4_4).
- da Graça, John V., Douhan, G. W., Halbert, S. E., Keremane, M. L., Lee, R. F., Vidalakis, G., & Zhao, H. (2016). Huanglongbing: An overview of a complex pathosystem ravaging the world’s citrus. *Journal of Integrative Plant Biology*, 58(4), 373–387. <https://doi.org/10.1111/jipb.12437>.

- Dala Paula, B. M., Raithore, S., Manthey, J. A., Baldwin, E. A., Bai, J., Zhao, W., Glória, M. B. A., & Plotto, A. (2018). Active taste compounds in juice from oranges symptomatic for Huanglongbing (HLB) citrus HLB disease. *LWT*, 91, 518–525. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.01.083>.
- Dala-Paula, B. M., Plotto, A., Bai, J., Manthey, J. A., Baldwin, E. A., Ferrarezi, R. S., & Gloria, M. B. A. (2019). Effect of Huanglongbing or HLB Disease on Orange Juice Quality, a Review. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1976. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01976>.
- Embrapa, Débora, C. B., Ester, A. F., Orlando, S. P., Jucieny, F. S., Elma, M. A., & Marcelo, C. (2014). Variedades copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. *EMBRAPA: Mandioca e Fruticultura*, 35, 36–45. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1007492/1/Debora214.pdf>.
- Etcheberria, E. ., & Narciso, D. (2015). Anatomy of the citrus leaf petiole: healthy vs. Huanglongbing. *Acta Horticulturae*, 1065, 891–897. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1065.110>.
- Etcheberria, E., Gonzalez, P., Achor, D., & Albrigo, G. (2009). Anatomical distribution of abnormally high levels of starch in HLB-affected Valencia orange trees. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 74(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/J.PMPP.2009.09.004>.
- Fava, M. T., & Gustavo, N. V. (2017). *Anuário da Citricultura*. 1º ed. São Paulo. Disponível em < <https://citrusbr.com/biblioteca/publicacoes-citrusbr/>> acesso em 09 de Julho de 2022.
- Folimonova, S. Y., & Achor, D. S. (2010). Early Events of Citrus HLB (Huanglongbing) Disease Development at the Ultrastructural Level. *Phytopathology*, 100(9), 949–958. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-9-0949>.
- Fundecitrus. (2021). Inventário de árvores e estimativa da safra de laranja 2021/22 do cinturão citrícola de são paulo e triângulo/sudoeste mineiro.
- Fundecitrus. (2022). Estimativa da safra de laranja 2022/2023 do cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro. Disponível em < [https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes\\_relatorios/2022\\_05\\_26\\_Sumario\\_Executivo\\_da\\_Estimativa\\_da\\_Safra\\_de\\_Laranja\\_2022-2023.pdf](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2022_05_26_Sumario_Executivo_da_Estimativa_da_Safra_de_Laranja_2022-2023.pdf)> Acesso em 07 de Julho de 2022.

- Gasparoto, M. C. G., Coletta-Filho, H. D., Bassanezi, R. B., Lopes, S. A., Lourenço, S. A., & Amorim, L. (2012). Influence of temperature on infection and establishment of '*Candidatus Liberibacter americanus*' and '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in citrus plants. *Plant Pathology*, 61(4), 658–664. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02569.x>.
- Gottwald, T.R. (2007). Citrus Canker and Citrus Huanglongbing, two Exotic Bacterial Diseases Threatening the Citrus Industries of the Western Hemisphere. *Outlooks on Pest Management*, 18, 274-279.
- Gottwald, T.R., Graham, J. H., Irey, M. S., McCollum, T. G., & Wood, B. W. (2012). Inconsequential effect of nutritional treatments on Huanglongbing control, fruit quality, bacterial titer and disease progress. *Crop Protection*, 36, 73–82. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2012.01.004>.
- Gottwald, Tim R. (2010). Current Epidemiological Understanding of Citrus Huanglongbing. *Annual Review of Phytopathology*, 48(1), 119–139. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114418>.
- Ha, P. T., He, R., Killiny, N., Brown, J. K., Omsland, A., Gang, D. R., & Beyenal, H. (2019). Host-free biofilm culture of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' the bacterium associated with Huanglongbing. *Biofilm*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2019.100005>.
- Harding, P. L, Winston, J. R., and Fisher, D. F. 1940. Seasonal changes in Florida oranges. U.S., Dep. Agric., Tech. Bull.753.
- Heo, J., Roszak, P., Furuta, K. M., & Helariutta, Y. (2014). Phloem development: Current knowledge and future perspectives. *American Journal of Botany*, 101(9), 1393–1402. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400197>.
- Hijaz, F., Manthey, J. A., Van der Merwe, D., & Killiny, N. (2016). Nucleotides, micro- and macro-nutrients, limonoids, flavonoids, and hydroxycinnamates composition in the phloem sap of sweet orange. *Plant Signaling & Behavior*, 11(6), e1183084. <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1183084>.
- Hung, W. L., & Wang, Y. (2018). Metabolite Profiling of '*Candidatus Liberibacter*' Infection in Hamlin Sweet Oranges. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(15), 3983–3991. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05866>.
- Ikpechukwu, C. (2012). A sensory evaluation of citrus HLB-affected juice blends [University of Florida]. <https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00002926.pdf>.

- Jagoueix, S., Bove, J.-M., & Garnier, M. (1994). The Phloem-Limited Bacterium of HLB Disease of Citrus Is a Member of the Subdivision of the Proteobacteria. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 44(3), 379–386. <https://doi.org/10.1099/00207713-44-3-379>.
- Kim, J.-S., Sagaram, U. S., Burns, J. K., Li, J.-L., & Wang, N. (2009). Response of Sweet Orange (*Citrus sinensis*) to ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ Infection: Microscopy and Microarray Analyses. *Phytopathology*, 99(1), 50–57. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-1-0050>.
- Kimball, D. (1991). The Brix/Acid *Ratio*. In: *Citrus Processing*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3700-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3700-3_4).
- Lemoine R, Camera SL, Atanassova R, Dedaldechamp F, Allario T, Pourtau N, Bonnemain JL, Laloi M, Coutos-Thevenot P, Maurousset L, Faucher M, Girousse C, Lemonnier P, Parrilla J, Durand M (2013) Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Front Plant Sci* 4:272. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00272>.
- Li, S.; Wu, F.; Duan, Y.; Singerman, A.; Guan, Z. (2020). Citrus greening: management strategies and their economic impact. *HortScience*, Alexandria, v.55, n.5, p.604–612.
- Liao, H.-L., & Burns, J. K. (2012). Gene expression in *Citrus sinensis* fruit tissues harvested from *Huanglongbing*-infected trees: comparison with girdled fruit. *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 3307–3319. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers070>.
- Madden, L. V., & Nutter, F. W. (1995). Modeling crop losses at a field scale. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17, 124–137.
- Madden, L. V., Hughes, G., & van den Bosh, F. (2007). *The study of plant disease epidemics*. Saint Paul: APS Press.
- Martinello, M., & Sanches, N. A. (2018). Levantamento de *Huanglongbing* (HLB) em citros no Brasil e diagnose dos agentes etiológicos. EMBRAPA: Mandioca e Fruticultura.
- Mazhar, M.S., R. Anwar, and M. Maqbool. 2007. A review of alternate bearing in citrus, p.143–150. In: *Proceedings of the International Symposium on Prospects of Horticultural Industry in Pakistan*, Faisalabad, Pakistan, 28–30 March 2007. Institute for Horticultural Sciences, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- McClellan, A. P. ., & Schwarz, R. E. (1970). HLB or blotchy-mottle disease of citrus. In *Phytophylactica* (Vol. 2, Issue 3). Dept. of Agriculture. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19730507294>.

- Mehl, F., Marti, G., Boccard, J., Debrus, B., Merle, P., Delort, E., Baroux, L., Raymo, V., Velazco, M. I., Sommer, H., Wolfender, J.-L., & Rudaz, S. (2014). Differentiation of lemon essential oil based on volatile and non-volatile fractions with various analytical techniques: a metabolomic approach. *Food Chemistry*, 143, 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.125>.
- Miranda, S. H. G., Adami, A. C. O., Bassanezi, R. B. (2012). Economic impacts of Huanglongbing disease in São Paulo State. Project no 505157/2007-1 - "Inovação Tecnológica para Defesa Agropecuária.
- Nagy, S. (1980). Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(1), 8–18. <https://doi.org/10.1021/jf60227a026>.
- Neves, F. N., Trombin, V. G., & Kalaki, R. B. (2014). Orange juice brazilian market: an alternative to mitigate the effects of the decline in consumption in the world. *Citrus R&T*, vol.35, n2, p.61-71, 2014. <http://dx.doi.org/10.5935/2236-3122.20140006>.
- Plotto, A., Margaría, C. A., Goodner, K. L., and Baldwin, E. A. (2008). Odour and flavour thresholds for key aroma components in an orange juice matrix: esters and miscellaneous compounds. *Flavour Fragr. J.* 23, 398–406. doi: 10.1002/ffj.1888.
- Plotto, A., Baldwin, E., McCollum, G., Manthey, J., Narciso, J., & Irej, M. (2010). Effect of Liberibacter Infection (Huanglongbing or “HLB” Disease) of Citrus on Orange Juice Flavor Quality by Sensory Evaluation. *Journal of Food Science*, 75(4), S220–S230. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01580.x>.
- Poiroux-Gonord, F., Santini, J., Fanciullino, A.-L., Lopez-Lauri, F., Giannettini, J., Sallanon, H., Berti, L., & Urban, L. (2013). Metabolism in orange fruits is driven by photooxidative stress in the leaves. *Physiologia Plantarum*, 149(2), 175–187. <https://doi.org/10.1111/ppl.12023>.
- Raithore, S., Dea, S., Plotto, A., Bai, J., Manthey, J., Narciso, J., Irej, M., & Baldwin, E. (2015). Effect of blending Huanglongbing (HLB) disease affected orange juice with juice from healthy orange on flavor quality. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 868–874. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.06.020>.
- Schneider., H. (1967). Phloem necrosis associated with the HLB disease of Sweet Orange (*Citrus sinensis*). *Phytopathology*, 57, 8829. <https://eurekamag.com/research/014/603/014603031.php>.

- Sites JW, Reitz HJ. (1951) The variation in individual Valencia oranges from different locations of the tree as a guide to sampling methods and spot picking for quality. III. Vitamin C and juice content of the fruit. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 56, 103-110.
- Smeekens S, Ma JK, Hanson J, Rolland F (2010) Sugar signals and molecular networks controlling plant growth. *Curr Opin Plant Biol* 13(3):273–278. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.12.002>.
- Spreen T. H., Zansler M. L. (2016). Economic analysis of incentives to plant citrus trees in Florida. *HortTechnology*, Alexandria, v.26, n.6, p.720-726.
- Teixeira, D. d. C., Saillard, C., Eveillard, S., Danet, J. L., da Costa, P. I., Ayres, A. J., & Bové, J. (2005). ‘*Candidatus Liberibacter americanus*’, associated with citrus Huanglongbing (HLB disease) in Sao Paulo State, Brazil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(5), 1857–1862. <https://doi.org/10.1099/ij.s.0.63677-0>.
- Teixeira, D. do C., Wulff, N. A., Lopes, S. A., Yamamoto, P. T., Miranda, M. P. de, Spósito, M. B., Júnior, J. B., & Bassanezi, R. B. (2010). Caracterização e etiologia das bactérias associadas ao *Huanglongbing*. *Citrus Research & Technology*, 31(2), 115–128. <https://doi.org/10.5935/2236-3122.20100012>.
- Tsai, J. H., & Liu, Y. H. (2000). Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: *Psyllidae*) on Four Host Plants. *Journal of Economic Entomology*, 93(6), 1721–1725. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.6.1721>.
- Vanderslice, J. T., Higgs, D. J., Hayes, J. M., & Block, G. (1990). Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-as-eaten. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3(2), 105–118. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(90\)90018-H](https://doi.org/10.1016/0889-1575(90)90018-H).
- Wang F.; Zhang R.; Wu W.;Zhu C.,Huang Y., Chein J.; Zeng J. Effects of Citrus Huanglongbing on Tree Traits and Fruit Quality of *Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. Shatian Yu[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(9): 1847-1855.
- Wang, N., Pierson, E. A., Setubal, J. C., Xu, J., Levy, J. G., Zhang, Y., Li, J., Rangel, L. T., & Martins, J. (2017). The ‘*Candidatus Liberibacter*’–Host Interface: Insights into Pathogenesis Mechanisms and Disease Control. *Annual Review of Phytopathology*, 55(1), 451–482. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035513>.
- Yi L, Yao LJ, Li SH, Huang AJ (2018) Structural changes in ‘Newhall’ navel oranges infected with ‘*Candidatus Liberibacter*’ Asiaticus. *J Fruit Sci* 35(7):853–858. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20180027>.

- Zhao, X. Y. (1982). Citrus yellow shoot disease (Huanglongbing) in China--a review. *Proceedings of the International Society of Citriculture / [International Citrus Congress, November 9-12, 1981, Tokyo, Japan ; K. Matsumoto, Editor]*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301477097>.
- Zheng, Y., Kumar, N., Gonzalez, P., & Etxeberria, E. (2018). Strigolactones restore vegetative and reproductive developments in Huanglongbing (HLB) affected, greenhouse-grown citrus trees by modulating carbohydrate distribution. *Scientia Horticulturae*, 237, 89–95. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.04.017>.
- Zou, Z., Xi, W., Hu, Y., Nie, C., & Zhou, Z. (2016). Antioxidant activity of Citrus fruits. *Food Chemistry*, 196, 885–896. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.09.072>.