

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE
ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM LARANJAS ‘VALÊNCIA’
PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Victor Brunini Moreto
Engenheiro Agrônomo

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE
ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM LARANJAS ‘VALÊNCIA’
PARA O ESTADO DE SÃO PAULO**

Victor Brunini Moreto

Orientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias Veterinárias - UNESP,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Produção Vegetal).**

2015

M845m Moreto, Victor Brunini
Modelos agrometeorológicos para previsão de atributos qualitativos em laranjas 'Valência' para o estado de São Paulo / Victor Brunini
Moreto. -- Jaboticabal, 2015.
v, 85 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Glauco de Souza Rolim
Banca examinadora: Regina Célia de Matos Pires, Arthur Bernardes Cecílio Filho
Bibliografia

1. *Citrus sinensis* L. Osbeck. 2. Modelagem. 3. Previsão. 4. Estimação. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 551.502.4:519.22

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM LARANJAS 'VALÊNCIA' PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

AUTOR: VICTOR BRUNINI MORETO

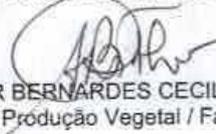
ORIENTADOR: Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dra. REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES
Instituto Agrônômico de Campinas / Campinas/SP


Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 19 de dezembro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Victor Brunini Moreto – Nascido em 29 de abril de 1988 no município de Ribeirão Preto, estado de São Paulo. Ingressou no curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Jaboticabal em março de 2007. No mesmo campus, participou do Grupo integração Empresa Universidade (GIEU) durante a gestão 2009-2010, na condição de integrante da Comissão de Patrocínio. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na modalidade de iniciação científica no período de agosto de 2010 a abril de 2011. Realizou o trabalho de conclusão de curso (Modelos agrometeorológicos de previsão de produtividade de amendoim na região de Jaboticabal, SP) no Departamento de Ciências Exatas sob orientação do Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim. Em novembro de 2012 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo. Iniciou o curso de mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) em fevereiro de 2013, também sob orientação do Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, com pesquisa na área de agrometeorologia e modelagem.

“Não acredite em algo simplesmente porque ouviu. Não acredite em algo simplesmente porque todos falam a respeito. Não acredite em algo simplesmente porque está escrito em seus livros religiosos. Não acredite em algo só porque seus professores e mestres dizem que é verdade. Não acredite em tradições só porque foram passadas de geração em geração. Mas depois de muita análise e observação, se você vê que algo concorda com a razão, e que conduz ao bem e benefício de todos, aceite-o e viva-o.”

Buda

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós Marino Brunini (*in memoriam*), Olga Santin Brunini, Noêmia da Silva Moreto (*in memoriam*) e Lodovico Moreto. Por todos os ensinamentos que passaram a geração dos meus pais e a grande contribuição que estes somaram a minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Vladimir Moreto e Maria Cecilia Brunini Moreto, pelo apoio, confiança e motivação sempre investidos na minha formação pessoal e profissional. Sem o conhecimento e o empenho de vocês, não chegaria nem na metade dessa caminhada. Sua força e amor, pai e mãe, são o que me movem, me fazem continuar e procurar sempre fazer o meu melhor em qualquer situação.

Ao meu irmão, Caio Brunini Moreto, que mesmo mais novo, sem seus conselhos e sua forma única de me acalmar nos momentos mais difíceis, chegar até este momento talvez não seria possível.

Aos meus padrinhos, Ivan Silva (Padro) e Maria Cristina Brunini Silva (Madra), e a minha prima-irmã, Isabela Brunini Silva, que com grande ajuda durante a minha caminhada, não apenas no suporte fornecido a mim, mas a toda a família nos momentos em que mais precisava, foram importantes responsáveis na minha formação.

Aos meus tios Dindo, Rô, Sandro, Marcia, Carla e Marco, que mesmo com poucas palavras ou algumas cervejinhas abriram minha visão e recarregaram minhas energias.

A minha namorada Daniela Pimenta Dantas (Val), acima de tudo uma grande companheira. Com conselhos, experiências e vivências que contribuíram no decorrer do curso de mestrado para minha formação e realização deste trabalho.

Ao meu Orientador Glauco de Souza Rolim pela confiança, incentivo e parceria ao longo dos anos de graduação e pós. Sua orientação durante este caminho foi determinante para minha formação.

Aos amigos de Ribeirão e Jaboticabal, sempre animados e dispostos ajudar, Karkanelos, Madalenos, Burraxeros, Kichute, Fernandão, Cruz, Gervas, Gabrielzão, Stink & Japona, Calebera, Mudim, Boko, os amigos do GIEU e tantos outros. Os

momentos de descontração passados juntos sempre recarregando as energias (ou acabando com elas) para continuar trabalhando.

À República Arrankabaço, todas as amizades construídas e que de alguma forma, com poucas palavras e muitas festas, sempre trouxeram relevantes informações e conhecimentos a minha formação pessoal e profissional.

À WoodsHouse, casa onde conheci e tive a oportunidade de dividir momentos importantes com grandes amigos. Fabrício, Ermão (Victor), Karen, Frango, Cidinha, Verinha, Val, vocês são demais! Valeu mesmo a força durante esses anos do mestrado, obrigado.

À Empresa Citrosuco, Bruno, Leone e Ana, pela confiança depositada em mim para realização deste trabalho e a parceria que conseguimos para unir os conhecimentos do meio acadêmico e empresarial.

Ao departamento de Ciências Exatas, principalmente a Zezé, Adriana e Shirley, aos professores e aos colegas de trabalho que de alguma forma, seja no cafezinho ou em aulas ajudaram a enxergar de forma diferente algum problema no decorrer do curso.

À FCAV-UNESP/Jaboticabal, ao Programa de Produção Vegetal e a todos os professores que, ao longo da minha formação, tive o privilégio de conviver e que foram decisivos para que eu chegasse até este momento.

Enfim, agradeço a todos, amigos, família e conhecidos que passaram por algum momento da vida e trouxeram de alguma forma contribuições para minha formação no curso de mestrado e na elaboração deste trabalho. Muito Obrigado!

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
CAPITULO 1 – Considerações Gerais.....	1
Introdução.....	1
Revisão de Literatura.....	2
Laranjas ‘Valência’	2
Necessidades climáticas.....	3
Modelos agrometeorológicos.....	5
Referências.....	8
CAPITULO 2 - Estimation of annual yield and quality of “Valência” orange related to monthly water deficiencies	14
Abstract.....	14
Introduction.....	15
Material and Methods	17
Results and Discussion	20
Conclusions	33
References	33
CAPITULO 3 – Modelos agrometeorológicos para previsão de atributos de qualidade em laranjas ‘Valência’ para o Estado de São Paulo, Brasil.	37
Resumo.....	37
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	44
Conclusão.....	69
Referências	70

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM LARANJAS 'VALÊNCIA' PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

RESUMO - O Brasil é o maior produtor de laranjas do mundo, visto que o estado de São Paulo é o grande responsável pela produção. A variedade “Valência” encontra-se como uma das mais produzidas no estado. O clima é o fator de maior influência na variabilidade da produtividade e qualidade dos cultivos, sendo que a variação anual pode trazer efeitos positivos e/ou negativos a esta variabilidade. A previsão é o ato de estimar com uso de dados atuais um fenômeno futuro, ou seja, que ainda vai ocorrer. Enquanto estimação usa de dados atuais para estimar um fenômeno também atual. Este estudo tem como objetivo entender a influência das variáveis meteorológicas mensais ao longo do ciclo de laranjas “Valência” enxertadas em limoeiro “Cravo” (VACR) de pomares com mais de seis anos, em quatro locais de destaque na produção do Estado de São Paulo (Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão), e desenvolver modelos agrometeorológicos de previsão e estimação de atributo de qualidade mensal de VACR. As deficiências hídricas (DEF) são fatores limitantes na produtividade e qualidade dos frutos. Por esta razão sua influência no cultivo foi analisada de forma isolada, desenvolvendo modelos de estimação apenas em função das DEF mensais, a fim de determinar quais fases fenológicas da VACR são mais sensíveis a DEF e com isso estimar de forma acurada os atributos qualitativos da VACR, nos quatro locais do estado de São Paulo. Os modelos foram construídos em regressão linear múltipla e classificados pelos índices estatísticos de erro percentual absoluto médio (MAPE) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado). Foi possível elaborar modelos acurados tanto para estimações como também para previsões. Em relação aos modelos de estimação houve maior atuação da DEF no número de frutos por caixa no primeiro ano do ciclo e nos outros atributos no segundo ano. Para os modelos de previsão, as temperaturas mínimas, médias e máximas e a evapotranspiração relativa (ETR/ETP) são as variáveis mais importantes para predizer os atributos de qualidade.

Palavras-Chave: modelagem, previsão, estimação, *Citrus sinensis* L. Osbeck

FORECAST AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR QUALITY ATRIBUTES OF 'VALÊNCIA' ORANGE FOR THE STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT – The main producer country of oranges at the world is Brazil, been the State of São Paulo responsible for almost all of this production. The 'Valência' orange is one of the most important cultivars of the State. The major influent factors on yield and quality variability of crops are climatic factors, where this annually variation can bring positive or negative effects. Forecasting is the use of actual data to estimate an event that will happen, while estimation uses actual data to esteem a current event. This study aims to understand the influence of monthly meteorological variables during the 'Valência' orange grafted on rangpur lime of orchards with more than six years old (VACR), for four main producers regions of the State of São Paulo (Bauru, Bebedouro, Limeira and Matão) and develop agrometeorological models for predict the qualitative attributes of every month of VACR during the production year. . Water deficits (DEF) are limiting factors at yield and quality of fruits. Therefore its influence on crop development was analyzed isolated; developing estimation models in function only of monthly DEF, in order to determine which phenological phases of VACR are more sensitive to DEF and with that, make accurate estimation of the qualitative attributes of VACR, at four regions of the State of São Paulo. The models were constructed in multiple linear regressions and classified according to the mean absolute perceptual error (MAPE) and the adjusted coefficient of determination (R^2 adjusted). All the developed models were accurate. Relative to the estimation models, for number of fruits per box, DEF were more important at the phases of the first year of the cycle and for the others attributes at the second year. For the forecasting models the main influent variables were: minimum, mean and maximum temperatures and relative evapotranspiration.

Keywords: modelling, forecasting, estimation, *Citrus sinensis L. Osbeck*

CAPITULO 1 – Considerações Gerais

Introdução

A laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) foi trazida ao Brasil por volta de 1.500, nas grandes navegações, onde se adaptou muito bem devido ao país possuir as características edafoclimáticas ideais para o cultivo. A citricultura brasileira inicialmente desenvolveu-se nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia. No início do século XX, não era considerada um negócio rentável, mas havia perspectivas de exportação e aumento contínuo da produção. A boa qualidade da laranja, devido às condições climáticas, propiciou o aumento contínuo da produção, dando condições para que, a partir da década de 1920, fosse possível a exportação de cítricos para a Argentina e, em 1930, para a Europa, exportando-se cerca de meio milhão de caixas de laranja (REIS, 2008). O fortalecimento da citricultura no país teve seu início na década de 1960, período que se tornou decisivo para a mudança do perfil da citricultura brasileira, mudando o foco comercial de fruta fresca para a produção de matéria-prima voltada à indústria, consolidando o Estado de São Paulo como o maior polo cítrico nacional e mundial (Tabela 1).

Tabela 1. Produção mundial de laranjas, no Brasil e nos Estados Unidos (EUA) no período de 1961 a 2013.

Período	Produção de laranjas em toneladas			% Total mundial	
	Mundo	Brasil	EUA	Brasil	EUA
1961 - 1969	16.445.701	2.054.006	4.713.519	12,49	28,66
1970 - 1979	34.102.095	5.787.589	8.494.322	16,97	24,91
1980 - 1989	37.382.231	13.340.323	7.811.303	35,69	20,90
1990 - 1999	53.167.768	20.017.022	9.517.271	38,37	18,24
2000 - 2008	53.583.837	16.525.114	8.890.743	30,84	16,59
2009 - 2013	58.708.247	9.153.180	4.957.564	15,59	6,74

Fonte: FAOSTAT (2015)

O desenvolvimento do parque industrial no Estado de São Paulo foi alavancado pela falta de matéria-prima nos Estados Unidos, em decorrência das geadas, principalmente na Flórida, nos anos de 1977, 1981, 1982, 1983, 1985 e 1989 (NEVES et al. 2010), às suas boas condições climáticas naturais do estado

paulista e aos empreendedores nacionais que souberam aproveitar a oportunidade (BOTEON; NEVES, 2005). A partir desse período, a história da citricultura brasileira passa a ser fortemente retratada pela produção do Estado de São Paulo que se consolida como o maior produtor de citros do país e, posteriormente, do mundo.

Mesmo com fatores positivos para o cultivo de citros no Estado, a produção apresenta dificuldades que exigem bom manejo do pomar e conhecimento das dependências do cultivo às condições de tempo e clima.

O clima é o principal fator de mudanças na superfície terrestre, sendo o seu estudo fundamental para o uso racional dos recursos naturais e para o planejamento do uso da terra (BAENA, 2004). Os principais elementos climáticos, segundo Ometto (1981) e Vianello e Alves (1991), são: precipitação, temperatura do ar, radiação solar, umidade atmosférica, vento e pressão atmosférica. O crescimento e desenvolvimento de plantas perenes são influenciados por diversos fatores, tais como, genótipo, clima, solo, idade das plantas, pragas, doenças e manejo (espaçamento, irrigação, adubação, entre outros). Dentre esses fatores, o clima tem sido relatado como preponderante na determinação do desempenho produtivo das plantas cítricas (PAULINO et al., 2007).

Desta forma, o conhecimento das interações entre o ciclo das plantas cítricas e as condições meteorológicas é de suma importância para o estabelecimento adequado de tratamentos fitossanitários, programação de colheitas e elaboração de modelos que possam prever a produtividade e a qualidade dos frutos, auxiliando o planejamento futuro das ações, sejam elas, em relação ao manejo cultural do pomar e/ou a investimentos no setor.

Revisão de Literatura

Laranjas ‘Valência’

A laranja ‘Valência’ ocupa lugar de destaque entre as laranjeiras-doces, devido a sua boa produtividade e tamanho adequado dos frutos (Pio et al. 2005). Seus frutos se adequam as formas de comercialização possíveis: mercado interno e exportação de fruta fresca e suco concentrado congelado (FIGUEIREDO, 1991).

Esta variedade apresenta maturação tardia, com frutos de forma quase esférica. Em média, o peso dos frutos é de 150 gramas, apresentando de cinco a seis sementes. A casca têm coloração laranja e espessura média, a polpa apresenta cor laranja escura e textura firme.

A variedade 'Valência' é apreciada pelo seu elevado teor de suco, excelente sabor, aparência e coloração atraente. Do ponto de vista industrial, representa um dos suportes da agroindústria em todo o mundo, tendo em vista a excelente qualidade do suco para processamento, armazenamento e transporte (COELHO, 2002). Dentre as variedades cultivadas no Brasil, a valência é a mais indicada para a produção de suco, por apresentar bom rendimento e qualidade (DARROS-BARBOSA, 2006).

Necessidades climáticas

Uma larga variação de condições edafoclimáticas é suportada pelas plantas cítricas, mais comuns em plantios comerciais nas regiões de clima tropical e subtropical. De acordo com Davies e Albrigo (1994), nessas regiões os fatores ambientais exercem influência decisiva no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas cítricas, sendo os principais responsáveis pela amplitude na produção de pomares adultos. As condições climáticas também influenciam fortemente a fenologia do cultivo (Figura 1), sendo o florescimento dependente direto da temperatura (horas de frio) e da disponibilidade hídrica (SENTELHAS, 2005).

A temperatura do ar em conjunto com a radiação solar são fatores de maior expressão na produtividade e na qualidade dos frutos. A disponibilidade de radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Toda energia necessária para a realização da fotossíntese é proveniente da radiação solar (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Um dos métodos mais usados para verificar a influência da temperatura no crescimento vegetal é a soma térmica ou acúmulo de graus dias (GD), definido como a soma de temperaturas diárias médias acima de uma temperatura base

inferior e abaixo de uma temperatura base superior (limite), para que a planta complete seu ciclo ou chegue a um estágio fenológico (SOUZA, 1990). O cálculo da soma térmica é usado para na previsão de sub períodos fenológicos, no planejamento de semeadura e colheita, na previsão de produção e no zoneamento climático (ROBERTO et al., 2005).

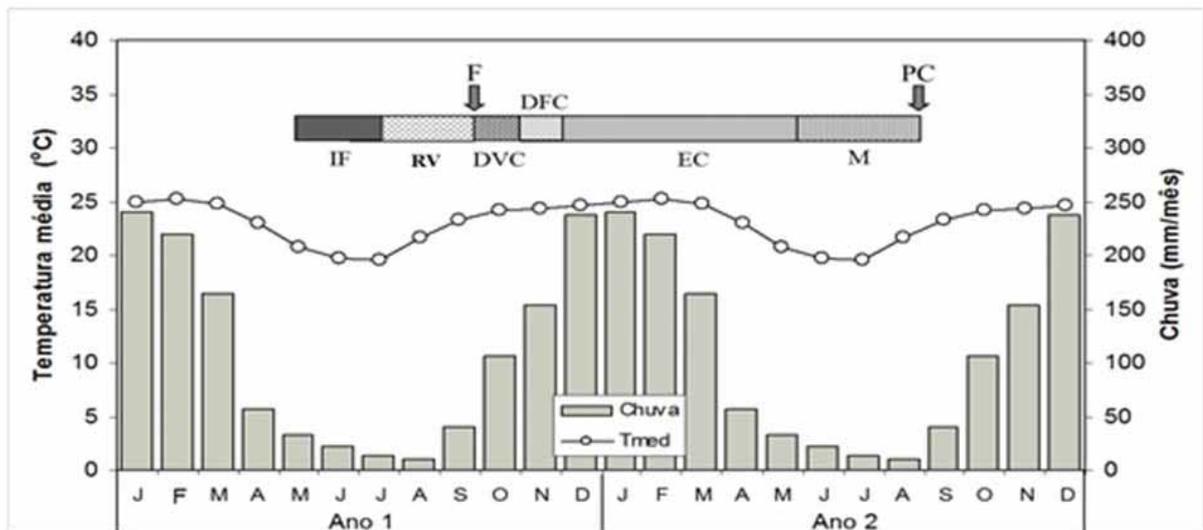


Figura 1. Fases fenológicas do citros considerando as condições climáticas das regiões produtoras do norte do Estado de São Paulo (SENTELHAS, 2005). IF: indução floral, RV: repouso vegetativo, F: florescimento, DVC: divisão celular, DFC: diferenciação celular, EC: expansão celular, M: maturação e PC: colheita.

Na produção citrícola, a radiação solar, além de influenciar diretamente a taxa fotossintética e, portanto, a assimilação de CO₂, também é relacionada à qualidade dos frutos. Entre os índices de qualidade da fruta influenciados pela luz, destacam-se o tamanho, a firmeza, concentração de sólidos solúveis, acidez, cor da epiderme e o teor de vitamina C. (ICET, 2004).

, a disponibilidade de água é o principal fator de controle da produtividade em condições não irrigadas, indicando que o florescimento, o crescimento do fruto e a maturação, são as fases que mais necessitam de água (TEJERO et al. 2012). Apesar da quantidade de água necessária para o cultivo variar entre 900 e 1200 mm ano⁻¹ (DOORENBOS; KASSAM, 1994, Pereira et al. 2009) demonstram que a

quantidade necessária para a transpiração da planta, visando elevadas produtividades, varia em função da radiação solar e da área foliar.

A qualidade do suco também é afetada pelas condições climáticas. De acordo com Volpe et al. (2002), a produção de suco com alta qualidade necessita, igualmente, de frutos com alta qualidade, sendo esta avaliada através das suas características físico-químicas que, por sua vez, variam durante o período de maturação e dependem, entre outros fatores, das condições meteorológicas durante a formação e maturação dos frutos.

Entre os principais problemas climáticos para produção de citros, em especial as laranjeiras, está a geada. Este problema atinge as regiões subtropicais nas latitudes acima de 20°S e 20°N. O fenômeno corresponde a ocorrência de temperatura igual ou inferior à temperatura crítica da planta que, no caso das espécies de citros, é da ordem de -4°C a -8°C, no tecido foliar (ORTOLANI et al., 1991).

Modelos agrometeorológicos

A habilidade de prever o desempenho de uma cultivar em diferentes ambientes é um desafio da pesquisa agrícola. Os modelos de crescimento e desenvolvimento de culturas constituem uma conveniente forma de sintetizar informações das condições climáticas, fisiologia, níveis tecnológicos de produção, solos e até mesmo de mercado, tornando possível a simulação da fenometria, da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (ROLIM et al., 2008). Passioura (1974) salienta que todos os modelos são construções matemáticas subjetivas que procuram tanto um melhor entendimento do comportamento de uma cultura como a previsão de informações de interesse, sendo que um grande número de modelos é baseado em análises de regressão. Normalmente, os modelos estatísticos apresentam bom ajuste, mas com pouca universalidade.

Haun (1973) e Ben Mechlia e Carrol (1989) indicam a modelagem dinâmica, em detrimento aos modelos estatísticos, para prever as mudanças diárias na

morfologia vegetal ao invés do uso de coeficientes fixos. Nestes modelos mecanísticos, o mote é relacionar as causas e os efeitos na relação das plantas com o ambiente. Entretanto, essa modelagem é mais complexa e requer maior número de variáveis. Devido a isso, poucos trabalhos são encontrados na literatura utilizando a modelagem.

A ação de modelar o funcionamento de uma cultura agrícola significa realizar uma síntese dos mecanismos de desenvolvimento e produção, representando-os por meio de funções matemáticas (MEDEIROS et al., 2000) derivadas dos aspectos fisiológicos e meteorológicos que governam a cultura. Modelos de crescimento e desenvolvimento de plantas são úteis para planejamento e manejo da produção agrícola, sendo importantes também em pesquisas, porque permite estimar a importância e o efeito de certas variáveis que poderiam ser mais estudadas em pesquisas futuras (DOURADO NETO et al., 1998a).

As interações clima-produtividade podem ser quantificadas através de modelos que estudam as variações e o efeito do clima sobre o comportamento vegetal (ROBERTSON, 1983). Esses modelos que expressam a influência de elementos meteorológicos na produtividade dos cultivos são denominados de modelos agrometeorológicos.

Os modelos agrometeorológicos e a interpretação de dados climáticos relacionados com o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas fornecem informações que permitem ao setor agrícola tomar importantes decisões, tais como: melhor planejamento do uso do solo, adaptação de culturas, monitoramento e previsão de safras, controle de pragas e doenças, estratégias de pesquisa, planejamento de épocas de semeadura favoráveis à implantação do cultivo assim como a seleção de germoplasma adaptados ao clima regional (LAZINSKI, 1993).

Para a previsão de produção agrícola no Brasil é usado um método, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos de cada setor (IBGE, 2004). Este levantamento é considerado um método subjetivo, pois não permite análise

quantitativa dos erros envolvidos. Uma das alternativas para a resolução do problema da subjetividade é o uso de modelos de produtividade. Modelo é uma simplificação do sistema real e é definido como sua representação matemática e modelagem é o processo de desenvolvimento dessa representação matemática (WIT, 1982).

Existem poucos trabalhos que fazem a previsão de produtividade e qualidade dos cultivos, o mais comum é o uso de estimativa. A previsão é o ato de estimar para o futuro, ou seja, com os dados disponíveis atuais prever um fenômeno que ainda não ocorreu.

No Brasil, existem diversos trabalhos em que foram desenvolvidos modelos agrometeorológicos que visam estimar a produtividade do cultivo através da sua relação com os elementos do clima, por exemplo, Picini et al. (1999), Camargo et al. (2003) e Santos e Camargo (2006) que desenvolveram modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade de cafeeiros em diferentes regiões dos Estados de São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Minas Gerais. Rizzi e Rudorff (2005) também fizeram uma modelagem agrometeorológica para estimar a produtividade para o cultivo da soja na região de Ribeirão Preto e no Rio Grande do Sul, respectivamente. Araújo et al. (2014) fizeram modelagem a fim de estimar a produtividade da soja associada às variáveis agrometeorológicas no Estado do Paraná. Porém, poucos trabalhos são encontrados na literatura utilizando a modelagem para estimação de produtividade em variedades de laranjeiras nacionais (CAMARGO et al., 1999; VOLPE et al., 2002; MARTINS; ORTOLANI, 2006; PAULINO et al., 2007).

O uso de previsão de produtividade é uma ferramenta importante para as indústrias de suco e processadoras de laranja por auxiliar no planejamento e destinação da safra. Normalmente, as estimativas são realizadas em meados de abril para a colheita e são de grande utilidade no estabelecimento de estratégias de marketing para o setor (PAULINO et al., 2007). Estresses de baixa intensidade, principalmente os hídricos na fase de florescimento, já podem causar perdas na

produtividade quando se trata de pomares citrícolas (GARCIA-TEJERO et al., 2010). Pérez-Pérez et al. (2009) identificaram o mesmo efeito quando há restrições hídricas na fase de crescimento do fruto. O monitoramento da disponibilidade hídrica nos pomares deve ser frequente para evitar reduções significativas no tamanho do fruto e, conseqüentemente, perdas na produtividade (BALLESTER et al., 2013).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar e avaliar a influência de variáveis meteorológicas mensais no ciclo de laranjas 'Valência'. E ainda, desenvolver modelos agrometeorológicos de previsão e estimacão (este em funcão apenas das deficiências hídricas mensais) de forma mais antecipada possível, dos atributos de qualidade dos frutos na variedade cultivada de laranja doce 'Valência', enxertada em limoeiro 'Cravo', em quatro locais de destaque na produçãõ do Estado de São Paulo (Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão).

Referências

ARAÚJO, E. C.; URIBE-OPAZO M. A.; JOHANN J. A. Modelos de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**. v. 34, p. 286-299. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000200010>

BAENA, L. G. N. Modelo para geração de séries sintéticas de dados climáticos. 2004. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.b

BALLESTER C.; CASTEL J.; INTRIGLIOLO D. S.; CATEL J. R. Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: yield components and fruit composition. **Irrigation Science**. v. 31, n. 3, p. 333–341, 2013. doi: 10.1007/s00271-011-0311-3

BEN MECHLIA, N.; CARROL, J .J. Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. Citrus response

formulation. **International Journal of Biometeorology**, Berlim, v. 33, p. 36-51, 1989.

BOTEON, M.; NEVES, E. M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. *In*: JUNIOR, D. de M. *et al.* (editores). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005, cap. 2, p. 19-36.

CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ROSA, S. M. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 171-178, 1999.

COELHO, Y. S. Frutas cítricas importadas no mercado de Salvador. Bahia. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 5, n. 2, p. 29-33. 2002.

DARROS-BARBOSA. Colheita, beneficiamento, embalagem, conservação e comercialização. *In*: KOLLER, O.C. **Citricultura: 1. Laranja: tecnologia de produção, pós-colheita, industrialização e comercialização**. Porto Alegre: Cinco Continentes. cap. 10, p. 310-331. 2006.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Crop production science in horticulture**. Citrus. Wallingford: CAB International, 254p, 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; FRIZZONE, J. A. & BACCHI, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agrícola**, v. 55, p. 46-50, 1998a.

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>> Acesso. 11/02/2015. FIGUEIREDO, D. C. Projeto GeoSafras - aperfeiçoamento do sistema

de previsão de safras da CONAB. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, p. 110-120, 2005.

GARCIA-TEJERO I.; ROMERO-VICENTE R.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA J. A. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality and water productivity. **Agricultural water management**. v. 97, p. 689-699, 2010. doi:10.1016/j.agwat.2009.12.012

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 116-119, 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola: 2004**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>. Data de acesso: 11/06/2012

INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Produtor de citros**. 2. ed. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2004.

LAZINSKI, L. R. **Variabilidade da utilização do modelo Soygro para a região de Londrina, PR**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

MARTINS, A. N.; ORTOLANI, A. A. Estimativa de produção de laranja Valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p.355-361, 2006.

MEDEIROS, S. L. P. et. al. A. Ajuste do módulo de produção de matéria seca no modelo CERES Sorghum para simulação da cultura do sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.2, p.223-229, 2000.

NEVES, M. F. *et al.* **O Retrato da Citricultura Brasileira**. Elaborado por: MARKESTRAT (Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia). Coordenador: Marcos Fava Neves. Ribeirão Preto, SP, 2010.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440p

ORTOLANI, A.A.; PEDRO Jr., M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo de citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU Jr., J.; AMARO, A.A. **Citricultura brasileira**, Campinas: Fundação Cargill, 1991. p.153-195.

PASSIOURA, J. B. Sense and nonsense in crop simulation. **Journal of Australian Institute Agriculture Science**, Sidney, v. 39, p. 181-183. 1974.

PAULINO, S. E. P. Agrometeorological models for 'valência' and 'hamlin sweet oranges to estimate the numbers of fruits per plant. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Brazil), v. 64, n. 1, p. 1-11, 2007.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; ALFARO, A. T. Water requirements of citrus and apple trees as affected by leaf area and solar energy. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 671-679. 2009.

PÉREZ-PÉREZ J. G.; ROBLES J. M.; BOTÍA P. Influence of déficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. **Agricultural Water Management**. v. 96, n. 6, p. 969-974, 2009. doi:10.1016/j.agwat.2009.01.008

PICINI, A. G. *et.al.* Desenvolvimento e teste de modelos Agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, p.157-170, v. 58, n. 1, 1999

PIO, R. M.; FIGUEREDO, J. O.; ESTUCHI, E. S.; CARDOZO S. A. de B. Variedades Copas. In: MATTOS JUNIOR, Dirceu de; NEGRI, José Dagoberto de; PIO, Rose Mary; POMPEU JUNIOR, Jorgino (Eds). **Citros**. Campinas, SP: Instituto Agronômico e Fundag, p. 929, 2005.

REIS, E. M. dos. **A Política Fitossanitária de Combate ao Cancro Cítrico na Região de Presidente Prudente – SP**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente: UNESP, 2008, 150 p.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da produtividade de soja por meio de um modelo agrometeorológico espectral: estudo de caso no Rio Grande do Sul. In: 12º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12º, 2005, Goiânia. Anais. Goiânia: INPE, 2005, p. 237-244.

ROBERTO, S. R.; SATO, A. J.; BRENER, E. A.; JUBILEU; B. S.; SANTOS, E. S.; GENTA, W. Caracterização da fenologia e exigência térmica (graus-dias) para a uva ‘Cabernet Sauvignon’ em zona subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.183-187, 2005.

ROLIM, G. S. et al. Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 30, n. 1, p. 048-053, 2008.

SANTOS, M. A.; CAMARGO, M. B. O. P. Parametrização de Modelo Agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. IAC – Instituto Agrônomo de Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.173-183, 2006

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia do Citros. In MATTOS JUNIOR, D. et. al. (Ed). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo. 2005

SOUZA, P.R. Alguns aspectos de influência do clima e temperatura sobre a cultura do arroz irrigado no sul do Brasil. **Lavoura Arrozeira**, v.43, p.9-11, 1990.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. *et al.*, 3° ed., Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

TEJERO, I.G.; ZUAZO, H.D.; SEVILHA, J.A.; FERNANDEZ, J.L.M.; Impact of water stress on citrus yield. **Agronomy for sustainable development**, v. 32, n. 3, p.651-659, 2012.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 449p, 1991.

VOLPE, C.A; SCHÖFFEL, E.R.; BARBOSA, J.C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 436-441, 2002.

WIT, C. T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F. W. T.; VAN LAAR, H. H. (Ed) **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen Pudoc, p. 3-8, 1982.

CAPITULO 2 - Estimation of annual yield and quality of “Valência” orange related to monthly water deficiencies

Abstract: The State of São Paulo, Brazil, is the major orange producer in the world. The “Valência” orange is one of the most important cultivars for industry, with a high efficiency of processed juice. The climate is the main factor of influence for citrus yield and quality and its study is fundamental for understanding the climatic requirements of the crop. The estimation of yield and quality by agrometeorological models helps to understand the effects of climate on crop cycle, besides being an option for orchards planning activities. Understanding the relationships between water deficiencies (DEF), phenological phases and qualitative attributes of “Valência” orange grafted on rangpur lime (VACR) is important to improve the water use in the production areas and to provide information about water stress for plants during its cycle. The present study aimed to investigate the influence of monthly DEF on yield and quality of VACR in orchards with more than six years old, in order to develop agrometeorological models for the main four producers regions of State of São Paulo, Brazil. Data of 13 years were used for analysis, being the period from 2001 to 2009 used for calibration and from 2010 to 2012 for validation. Were used multiple linear regression for models constructions. All of the developed agrometeorological models were accurate, ranging the values of mean absolute percentage error (MAPE) of 5.25% to 9.27% for mean annual FRBOX and 2.74% to 14.14% for quality (RATIO) among all regions. The angular coefficients indicate which phenological phase of VACR is more sensitive to DEF. For Bauru and Limeira FRBOX were related to DEF during bud formation and vegetative dormancy, both with direct relation (+), whereas for Bebedouro the DEF were related to the period between vegetative dormancy and flowering also with direct relation (+) and at Matão at bud formation with direct and inverse relation (\pm) Fruit quality was more sensitive to DEF during maturity at all regions.

Key-word: modeling, estimate, water deficiency, *Citrus sinensis* L. Osbeck

Introduction

While the other factors that affect production and plant development are constant, weather condition are variable from year to year and is considered the main factor to cause yield and quality variability (PAULINO et al., 2007). Agrometeorological models are tools used to understand the influence of climatic variables on crop production, being a way to summarize the responses of the crop to the climate (ROLIM et al., 2008). These models can be of great utility for planning the agricultural activities at orchards and to estimate production (processed or '*in natura*' fruits).

There are many examples of agrometeorological models application on estimations of yield of annual and perennial crops. Santos and Camargo (2006) developed agrometeorological models to estimate coffee yield at different regions of São Paulo, Espírito Santo, Paraná and Minas Gerais States. Bozorg et al. (2011) developed a model for wheat crop at Irã region. Araújo et al. (2014) made a modeling in order to estimate soybean yield associated to agrometeorological variables at Paraná.

Guimarães et al. (2013) elaborated models in multiple linear regressions to predict the banana "Prata" harvest time, at Guanambi, BA in function of yield characteristics, for example number of fruits. The main problem in multiple linear regression models is the selection of independent variables. According to Xu and Zang (2001) there are many methods for this selection linear and non-linear multiples models, as: a) forward selection, b) backwards elimination, c) stepwise, d) leaps and bound regression, e) orthogonal descriptors, f) genetic algorithm, g) genetic population, f) choosing the operators and g) fitness of evaluation. Or according to Gujarati and Porter (2011) another option is to test all possible combinations (APC) to avoid the minimum local problems in the domain range.

Some papers are found at literature using modelling to estimate yield and quality of "Valência" orange (CAMARGO et. al., 1999; VOLPE et. al., 2002;

PAULINO, 2007). For citrus crops is more common studies that use water deficiencies information to detect its effects at yield and quality with regards for irrigation scheduling. Panigrahi et al., (2014) have done a study about this subject and utilized this hydric information to predict yield of “Kinnow” mandarin in New Delhi, India.

Among the agrometeorological modelling papers for yield estimation a few are exclusive dedicated to understand the water deficiencies influence at different phenological phases. For annual crops this relation is more commonly studied, as the model tested by Monteiro and Sentelhas (2014) that used relative water deficiency at phenological phases to the calculation of actual soybean yield at different Brazil regions. For perennial crops such analysis are not common, most of “Valência” orange agrometeorological modelling papers search to understand effects of water stress at citrus orchards in order to determine the irrigation deficit, mainly at flowering (PÉREZ-PÉREZ et al., 2009; ROCUZZO et al., 2014) and not to estimate yield and quality of the fruits in function of the monthly water deficiency.

The “Valência” is important among sweet oranges, due to its yield and fruit size (PIO et al., 2005). At industrial view, this orange represents one of the pillars of the agroindustry, being the second cultivar most produced at State of São Paulo. The “Valência” orange have excellent juice quality for processing, storage and transport (COELHO, 2002).

Brazil is the major citrus producer in the world, with the production mainly used to industrial processing for producing concentrated juice for exportation. Every five cups of orange juice consumed in the world has at least three from Brazilian fruits (NEVES et al., 2010). The State of São Paulo stands out due to three fundamental factors: economic, climatic and soil. With regard of climatic and soil factors, São Paulo shows favorable conditions to citrus production due to, moderate temperatures, suitable rainfall distribution, soils composition and relatively plain topography (REIS, 2008).

This study aim to develop agrometeorological models for estimating qualitative attributes (mean fruits per box and fruits weight maximum of ratio, fruit sugar content, kilograms of soluble solids per hectare and mean acidity) of “Valência” orange as a function of monthly water deficiencies (DEF) for Bauru (BAU), Bebedouro (BEB), Limeira (LIM) and Matão (MAT) regions and comprehend the relationship of annual DEF with yield and quality parameters of VACR orange.

Material and Methods

The regional climate data (Table 1) were obtained in daily scale from automatic meteorological station. Precipitation and air mean temperature data were organized at monthly scale from the period of 2000 to 2013 for calculation of potential evapotranspiration by the equation of Camargo (1971) (equations 1, 2, 3, 4 and 5). Data of 13 years were divided at nine years for calibration (2001-2009) and three for validation (2010-2012).

Meteorological data were used to calculate water deficiencies (DEF) (equation 6), from the water balance calculation by the Thornthwaite and Mather (1955) method at monthly scale with available water capacity (AWC) of 100 mm.

Table 1. Regional and climatic description. Legend: Normal annual water deficiency (DEF) estimated by Thornthwaite and Mather (1955) model.

Locals	Latitude	Longitude	Altitude (m)	DEF (mm)	Thorntwaite (1948) climate classification
Bauru	22° 17' 29" S	49° 33' 10" W	561	120	C ₂ sB' ₄ ^a
Bebedouro	20° 56' 58" S	48° 28' 45" W	573	203	C ₂ dA'a
Limeira	22° 33' 53" S	47° 24' 06" W	588	132	B ₁ rB' ₃ ^a
Matão	21° 36' 12" S	48° 21' 57" W	585	178	B ₁ rB' ₄ ^a

$$ETP = 0,01 \times Qo \times T \times ND \quad (1)$$

$$Qo = 37,6 \times DR \times \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) \times hn \times \sin \Phi \times \sin \delta + \cos \Phi \times \cos \delta \times \sin hn \right] \quad (2)$$

$$DR = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{360 \times JD}{365}\right) \quad (3)$$

$$\delta = 23,45 \times \sin\left[\left(\frac{360}{365}\right) \times (JD - 80)\right] \quad (4)$$

$$hn = \arccos[-\tan \Phi \times \tan \delta] \quad (5)$$

where, Q_0 : daily solar irradiance at the top of the atmosphere ($\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$); DR : relativity distance from earth to sun (astronomic units); hn : time of sunrise (hour); Φ : latitude ($^\circ$); δ : solar declination ($^\circ$); JD : Julian day; T : mean air temperature ($^\circ\text{C}$); ND : number of days of the monthly period that is equal to 30.

$$DEF = ETP - ETR \quad (6)$$

where, DEF is water deficiency at the soil-plant system; ETP is the potential evapotranspiration and ETR is actual or real evapotranspiration.

Monthly quality data of $RATIO$ (equation 7), fruit sugar content measured by optical refractometer ($BRIX$), kilograms of soluble solids per box ($KGSS$) (equation 8), acidity (% citric acid) and juice percentage (equation 9) and monthly yield data of fruits per box ($FRBOX$) and fruit weight ($WFRUIT$) of “Valência” orange (*Citrus sinensis*, L. Osbeck) grafted on rangpur lime (*Citrus limonia*, Osbeck) ($VACR$) were obtained from the regional producers. These data were organized as a mean of the two flowerings and only from adult orchards (more than six years). Orange plants usually have two flowerings during its cycle, induced by thermal and/or hydric stresses, but it is possible for the plant to have more flowerings with climatic stresses off season.

$$RATIO = {}^\circ BRIX \times ACIDITY^{-1} \quad (7)$$

$$KGSS = JC \times {}^\circ BRIX \times 40.8 \times 10^{-4} \quad (8)$$

$$\%JUICE = WJUICE \times WFRUIT^{-1} \times 100 \quad (9)$$

where, JC: juice content (L), WJUICE: juice weight (kg), ACIDITY: % of citric acid; 40.8 box weight in kg.

Multiple linear regressions (equation 10) were applied to develop the models. The dependent variables were the yield and quality parameters and independent variables were the monthly DEF during the development and production years (Figure 1). The DEF data from April to December of the first year and from April to December of the second year were used totaling 16 possible pre-selected variables to use in the models.

$$Y = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + \dots + C.L. \tag{10}$$

where, Y: fruits per box, brix, soluble solids, ratio, acidity and fruit weight; a, b, c,...: angular coefficients; X₁, X₂, X₃,...: selected monthly DEF and CL: Linear coefficient

Year 1 - Development										Year 2 - Production													
A	M	J	J	A	S	O	N	D		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
B. F.																							
		V. D.																					
				FLO													FLO						
				FRUIT GROWTH																			
				DIV	DIF	C. E.																	
																	MATURUTY / HARVEST						
																E		MID				LATE	

Figure 1. Mean phenology of “Valência” Orange grafted on rangpur lime for the State of São Paulo. Legend: B.F.: bud formation; V.D.: vegetative dormancy; FLO: flowering; DIV: cell division; DIF: cell differentiation; C.E.: cell expansion; E, MID e LATE: early, mid and late crops cycle harvest.

The main problem in multiple linear regressions is to find the combination of independent variables that brings consistency in the models. Following Gujarati and Porter (2011), the method used in this study was to test all possible combinations (APC) of monthly DEFs with 1 to 5 independent variables in the models, totaling 6,884 tested equations for each annual qualitative attribute. The equations were

generated by a routine in Visual Basic for Applications (VBA) in MS-Excel 2010 environment.

Analyses were made to identify the multicollinearity between the independent variables (monthly DEFs). Gujarati and Porter (2011) describe that multicollinearity is not an issue if the interest is just estimation. However if exists an interest of doing a coefficients interpretation, as is the case of this study, multicollinearity causes bias on these coefficients. In this study we chose to remove equations that have minimal correlations among independent variables greater than 0.7.

The best models were classified according to statistical indices of mean absolute percentage error (MAPE) (equation 11) and precision by the adjusted determination coefficient (adjusted R²) (equations 12), selecting only regressions that are statically significant by the test-F (p-value <0.05).

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| \times 100 \right)}{N} \quad (11)$$

$$R^2 \text{ adjusted} = \left[1 - \frac{(1 - R^2) \times (N - 1)}{N - k - 1} \right] \quad (12)$$

where, N: number of data, Yest: estimated Y, Yobs: observed Y, k: number of independent variables

Results and Discussion

From all 6,884 generated and later tested equations for each qualitative attribute, 4,095 equations showed multicollinearity between the independent variables at the models, the remained combinations (2,789) represent the possible models for estimation of each yield and quality parameter of each region (Figure 2). From these were selected the best models.

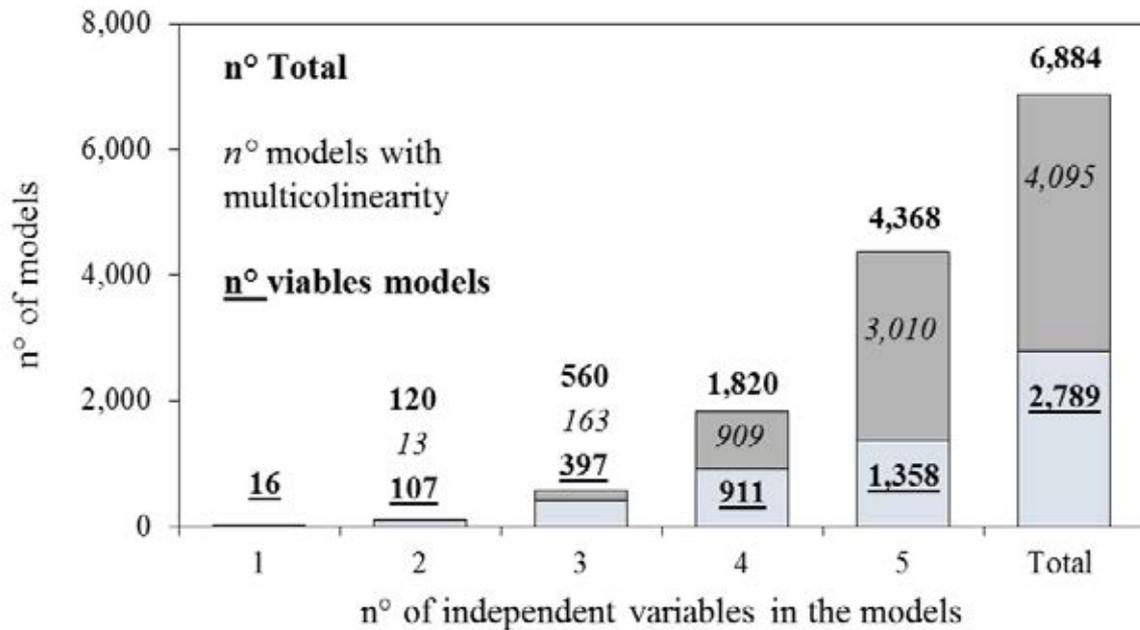


Figure 2. Number of equations generated and tested for multicollinearity for the development of agrometeorological models for estimate each qualitative attribute of ‘Valência’ orange grafted on rangpur lime in function of monthly deficiencies of the development year.

The method of testing all combinations of the pre-selected independent DEFs was efficient. As long as adjusted R^2 gets closest to 1.00 the p-value and the MAPE kept decreasing, coming increasingly close to zero (Figure 3). These were the criteria used for classify the best estimate model for each yield and quality parameter of VACR.

Analysis of available water variation at the studied regions proves a strong influence of DEF at FRBOX (Figure 4) and RATIO (Figure 5) of VACR. Garcia-Tejero et al. (2011) had a similar view for the Mediterranean conditions where the available water is the most limiting factor for plant development. For São Paulo DEF is the more influent variable at flowering of oranges at mid-north State region and also the most active at central region, associated to low temperatures during flowering which result in reduced yield (RIBEIRO et al., 2006).

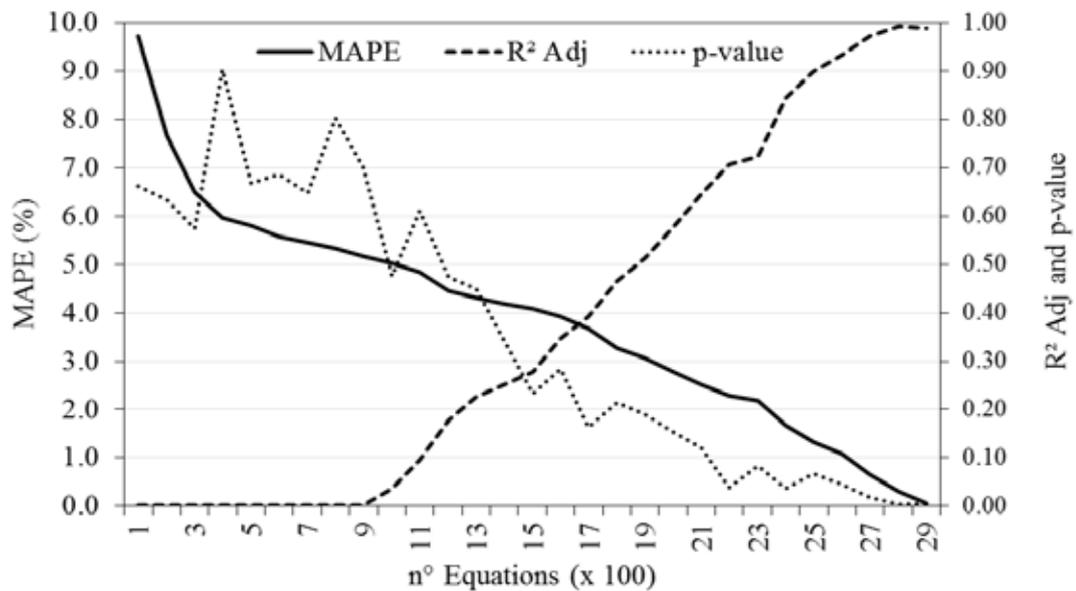


Figure 3. Example of a model classification at Bauru region according to criteria of accuracy (lowering MAPE and p-value and R² Adj coming close to 1.00).

Fruits per box (FRBOX) values are higher in April and reduce until December (maturity) due to the fruit size increase. In its turn, RATIO increase constantly up to the end of the year. This analysis proves that meteorological variables, especially the hydric balance elements as DEF have an interesting relation with yield and quality of VACR. An example of DEF influence at crops is demonstrated in the case of Bauru (BAU) and Bebedouro (BEB) that are regions with different characteristics where BAU have lowest temperature and lower DEF compared to BEB, however wet years (less DEF) favor yield increase at both regions. Limeira (LIM) and Matão (MAT) regions have intermediate values of DEF, being the FRBOX value higher at dry years. All the regions have different relations of increase or reduction of annual DEF, thereby an analysis were performed to quantify the influence of the annual water deficit variation and the responses this cause at average quality and yield of VACR, in annual scale (Table 2).

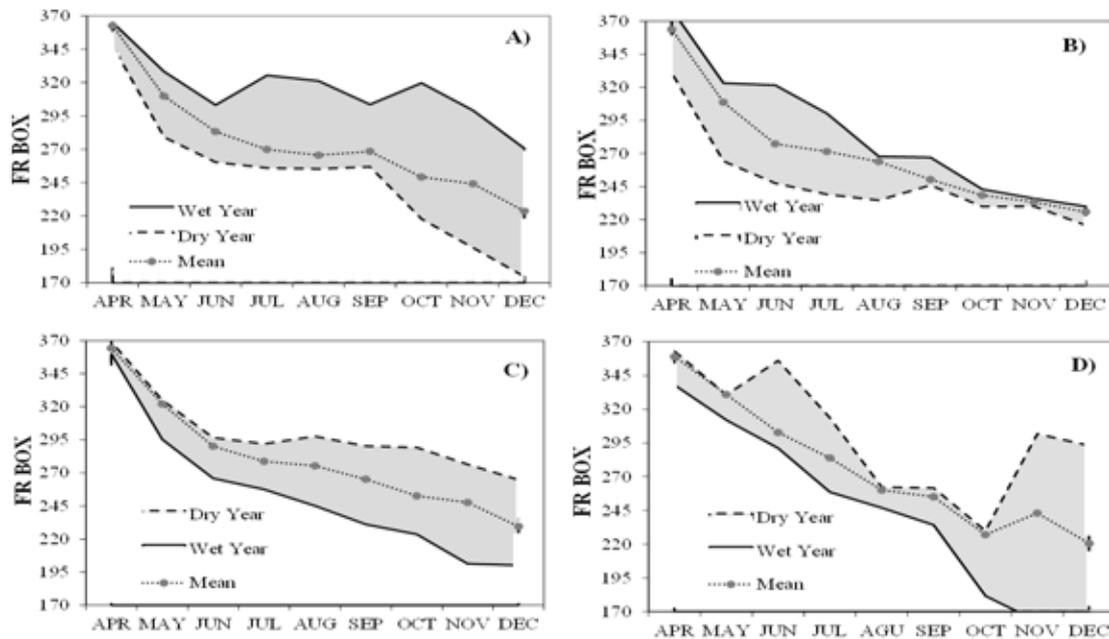


Figure 4. Yield (FRBOX, fruits per box) of “Valência” orange grafted on rangpur lime in function of the highest and the lowest water deficiency years from the period of 2000 to 2013 for four regions of State of São Paulo. A) Bauru; B) Bebedouro; C) Limeira and D) Matão.

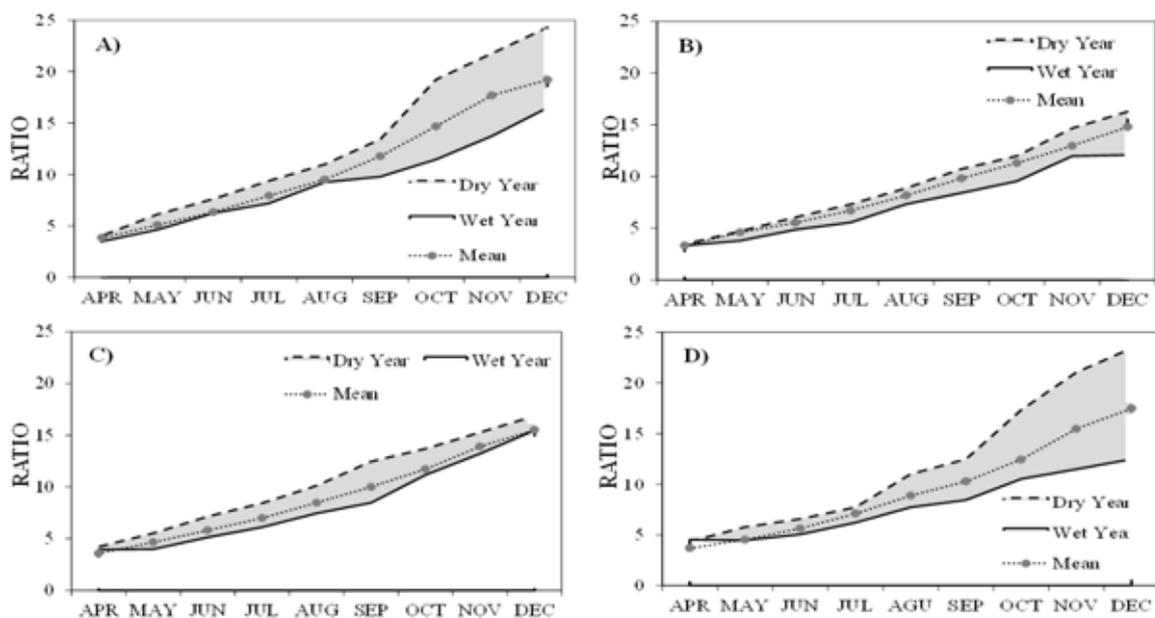


Figure 5. Quality (RATIO) of “Valência” orange grafted on rangpur lime in function of the highest and the lowest water deficiency years from the period of 2000 to 2013 for four regions of State of São Paulo. A) Bauru; B) Bebedouro; C) Limeira and D) Matão.

An evaluation of increase and reduction of 10 mm of annual DEF was made and how these variations affect the annual VACR yield and quality variability. Were used the values of the parameters of yield and quality from the dry and wet years and the mean values of the period from 2000 to 2013.

São Paulo by having a different topography and influence from air masses has a broad climatic diversity (ROLIM et al., 2007). North regions have higher air temperatures and lower occurrence of rain during winter that are favorable for orange crops production, which is the case of BEB and MAT. The recent performance of the climatic variables at Matão put this region with Bauru and Limeira that are places suitable for the cultivation (RIBEIRO et al., 2006).

At Bebedouro every 10 mm of annual DEF increase results in a mean reduction of (-) 0.0702 annual RATIO, while for BAU and LIM the reduction is around 0.008. However for MAT, the increase of 10 mm of annual DEF raises 0.1063 points of RATIO. The maximum variation of DEF at BEB during the period of study (2000-2013) was at 2009/2010 with an increase of DEF of 253 mm which could reduce RATIO up to 1.77 points from a year to another. The minimized effect at BAU and LIM and the increase at MAT caused by the annual DEF variation can be due to the fact that these regions do not have water restrictions for orange crop production (RIBEIRO et al. 2006). Reduce annual DEF in 10 mm, in other words, increase available water at the system for the plant, expressed RATIO increase for all regions.

An exact quantity of water applied to fill the plants needs at each phenological phase comes as an alternative to improve the water use efficiency and minimize losses at yield, by using irrigation with regulated deficiency. One of the difficulties of those techniques is in quantifying the permissible water deficiency for each phase (CARR et. al., 2012).

Table 2. Water deficiency variation and influence at annual yield and quality parameters of “Valência” orange grafted on rangpur lime from the wet and dry years of the period from 2000 to 2013. Legend: (+) increase and (-) reduce.

BAURU							
	RATIO	°BRIX	KGSS	ACIDITY	%JUICE	FRBOX	WFRUIT
Mean	8.56	10.28	2.44	1.47	0.58	268.71	0.16
Dry Year	8.47	9.94	2.37	1.39	0.58	253.91	0.17
Wet Year	7.43	9.72	2.33	1.61	0.59	278.5	0.16
(+ 10 mm DEF)	-0.0086	-0.0324	-0.0067	-0.0076	0.00	-1.4092	0.0010
(- 10 mm DEF)	0.1139	0.0565	0.0111	-0.0141	-0.0010	-0.9871	0.00
BEBEDOURO							
	RATIO	°BRIX	KGSS	ACIDITY	%JUICE	FRBOX	WFRUIT
Mean	10.67	11.19	2.56	1.36	0.56	275.18	0.16
Dry Year	10.12	10.94	2.66	1.29	0.59	267.59	0.16
Wet Year	9.31	10.8	2.5	1.45	0.56	272.22	0.16
(+ 10 mm DEF)	-0.0702	-0.0319	0.0128	-0.0089	0.0038	-0.9693	0.00
(- 10 mm DEF)	0.0777	0.0223	0.0034	-0.0051	0.00	0.1692	0.00
LIMEIRA							
	RATIO	°BRIX	KGSS	ACIDITY	%JUICE	FRBOX	WFRUIT
Mean	8.97	10.65	2.5	1.46	0.57	280.58	0.15
Dry Year	8.8	10.89	2.65	1.39	0.59	278.18	0.15
Wet year	8.33	10.5	2.48	1.57	0.58	295.83	0.14
(+ 10 mm DEF)	-0.0076	0.0107	0.0067	-0.0031	0.0009	-0.1067	0.00
(- 10 mm DEF)	0.0578	0.0135	0.0018	-0.0099	-0.0009	-1.3761	0.0009
MATÃO							
	RATIO	°BRIX	KGSS	ACIDITY	%JUICE	FRBOX	WFRUIT
Mean	9.5	11.29	2.59	1.5	0.56	281.11	0.15
Dry Year	10.78	11.60	2.76	1.34	0.58	302.30	0.14
Wet Year	7.31	9.82	2.21	1.57	0.55	253.12	0.18
(+ 10 mm DEF)	0.1063	0.0257	0.0141	-0.0133	0.0017	1.7597	-0.0008
(- 10 mm DEF)	0.1389	0.0932	0.0241	-0.0044	0.0006	1.7749	-0.0019

Researches about stress tolerance mechanisms and the understand of the interactions of these with the biotic factors are a need for help the citrus producers to deal with stress problems that can result in positive or negative effects depending of the phenological phase that the plant is (SYVERTSEN and GARCIA-SANCHEZ, 2014). The agrometeorological models developed in this paper relate the yield and quality parameters to the monthly DEFs of the regions (Figures 6, 7, 8 and 9) highlighting the phenological phases that are more sensitive to water stress by the use of adjusted coefficients, this can be a tool for quantify this tolerable DEF value for each phase during the plant cycle.

For a better understand of the limiting factors and estimation of yield and quality parameters were established multiple linear models with monthly DEFs as independent variables during the cycle of “Valência” orange.

For BAU region (Figure 6) the estimation model of maximum RATIO (equation 13) had accuracy (MAPE) and precision (R^2 adj) satisfactory, with values of 6.59% and 0.94, respectively at validation and p-value of 0.0372. Considering the maximum RATIO value from the period (17.70 points), the percentage error of 6.59% represents an error by the modes of 1.16 points. At BAU, for all parameters the most part of DEFs become concentrated at development year (1), between the phases of vegetative dormancy to the beginning of cell expansion. The yield (FRBOX) showed more sensibility to DEF at bud formation (April) and at vegetative dormancy (July), in which the angular coefficients were higher. This result is in accordance with Camargo et al. (1999) that noticed that VACR yield is particularly sensitive to water deficiency at the beginning of flowering phase (August).

$$RATIO_{maxBAU} = -0.019 \times DEF_{JUL(1)} - 0.0707 \times DEF_{AUG(1)} - 0.0419 \times DEF_{APR(2)} + 0.0638 \times DEF_{AUG(2)} + 0.0607 \times DEF_{SEP(2)} + 13.5827 \quad (13)$$

where, $JUL_{(1)}$ and $AUG_{(1)}$ represents variables of the development year and $APR_{(2)}$, $AUG_{(2)}$ and $SEP_{(2)}$ variables of the production year.

Bebedouro (Figure 7) had the same performance of BAU in relation of vegetative dormancy, being the most sensitivity phase to DEF, along with the start of flowering (August). This region in company of LIM and MAT had the main inducer flowering variable, the DEF (RIBEIRO et al., 2006), being the performance of the flowering one of the responsible factors for losses or gains at yield. The estimation model of mean FRBOX for BEB was significant with p-value of 0.018 and accuracy and precision at validation of 9.27% and 0.86, respectively. For a mean yield of 275.18 fruits per box, the percentage error of 9.27% represents an error by the model of 25.5 fruits per box approximately.

Region: BAURU				Quality Parameters				Yield Parameters		
Dependent Variables				RATIO max	BRIX max	KGSS max	ACIDITY mean	FRBOX mean	WFRUIT mean	
Phenology				DEF angular coefficients						
Year 1 - Development	APR	B. F.			0.0849			1.3875		
	MAY					-0.0076				
	JUN	V. D.								
	JUL			-0.0190			2.3384			
	AUG	FLO		-0.0707	0.0173	0.0038		0.1273	-0.0004	
	SEP				0.0244			-0.0485		
	OCT	FRUIT GROWTH	DIV			-0.0280	-0.0024	-0.0033	-0.2853	-0.0004
	NOV			DF		0.0262	0.0056			
	DEC									
	Year 2-Production	JAN								
		FEB								
		MAR								
APR		FRUIT GROWTH	C. E.							
MAY					-0.0419			-0.0110		
JUN		FRUIT GROWTH	C. E.	E				0.0128	-0.0007	
JUL									0.0015	
AUG		FLO	MID		0.0638			-0.0077		
SEP					0.0607					
OCT						0.0099				
NOV						0.0070			0.0002	
DEC										
JAN		MATURETY / HARVEST	L							
FEB										
Linear Coefficient				13.5827	9.7584	2.5709	1.7489	240.8113	0.1640	
p-value Regression				0.0372	0.0006	0.0471	0.0487	0.0330	0.0021	
Calibration	MAPE (%)			0.20	0.002	0.22	0.16	0.19	0.01	
	R² Adj			0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
Tests	MAPE (%)			6.59	4.14	7.40	7.39	5.25	2.73	
	R² Adj			0.94	0.99	0.95	0.99	0.80	0.94	

Figure 6. Agrometeorological models in function of monthly water deficiency for estimate mean and maximum annual parameters of “Valência” orange grafted on rangpur lime for Bauru region. Legend: B.F.: bud formation; V.D.: vegetative dormancy; FLO: flowering; DIV: cell division; DF: cell differentiation; C. E.: cell expansion; E: early harvest; MID: midway harvest; L: late harvest.

Region: BEBEDOURO				Quality Parameters				Yield Parameters		
Dependent Variables				RATIO max	BRIX max	KGSS max	ACIDITY mean	FRBOX mean	WFRUIT mean	
Phenology				DEF angular coefficients						
Year 1 - Development	APR									
	MAY	B. F.		-0.032					-0.0004	
	JUN						0.006			
	JUL		V. D.			-0.009	-0.001			
	AUG			-0.087	0.050			1.645	-0.0005	
	SEP		FLO					-0.601		
	OCT			0.069		0.005		-0.198		
	NOV									
	DEC									
Year 2-Production	JAN									
	FEB									
	MAR									
	APR			0.173			-0.003			
	MAY					0.018	0.015		-0.001	
	JUN					0.050	0.018			
	JUL					-0.022	-0.021	-0.008	-0.377	0.0004
	AUG			0.061					-0.0001	
	SEP		FLO			-0.017				
	OCT									
	NOV									
	DEC									
	JAN									
	FEB									
Linear Coefficient				17.346	11.387	3.350	1.399	251.951	0.175	
p-value Regression				0.020	0.036	0.044	0.038	0.018	0.027	
Calibration		MAPE (%)		1.09	1.38	0.62	0.49	0.81	0.41	
		R² Adj		0.97	0.86	0.94	0.95	0.91	0.96	
Tests		MAPE (%)		8.80	7.00	6.57	13.14	9.27	9.23	
		R² Adj		0.99	0.65	0.96	0.64	0.86	0.86	

Figure 7. Agrometeorological models in function of monthly water deficiency for estimate mean and maximum annual parameters of “Valência” orange grafted on rangpur lime for Bebedouro region. Legend: B.F.: bud formation; V.D.: vegetative dormancy; FLO: flowering; DIV: cell division; DF: cell differentiation; C. E.: cell expansion; E: early crops; MID: mid crops; L: late crops.

The performance of FRBOX at LIM (Figure 8) was practically the same as BAU, being the bud formation (April) and vegetative dormancy (July) phases the ones that are more sensitive to DEF, at the development year. Paulino et al., (2007) found that for LIM region the number of fruits per plant showed significant correlation with DEF of July to September of the development year. At production year (2) the most sensitive period for DEF at LIM is between the end of fruit growth and start of maturity (May and June). Water restrictions during these phases can lead to losses in yield and mainly in fruit weight (GARCIA-TEJERO et al., 2010). The estimation model for FRBOX at LIM showed high reliability, with p-value of 0.007, and accuracy (MAPE) and precision (R^2 adj) at validation of 7.86% and 0.46, respectively. For a mean yield of 280.58 fruits per box, the percentage error of 7.86% represents an error by the model of 22.05 fruits per box.

At MAT (Figure 9) the bud formation phase (April) was the most sensitive to DEF, the flowering (August to September) also presented sensibility to water deficiency. Martins et al. (2006) observed the same results about flowering of VACR at the region. The best estimation model of mean FRBOX was the one of this region with greater p-value of 0.061, great accuracy and precision values of 5.5% and 0.99, respectively. The percentage error of 5.5% represents an error by the model of 15.15 fruits per box, considering an average yield of 281.11 fruits per box.

The water stress at production year (2) at the final phases of fruit growth and maturity (from May to September) were the ones that presented more effects of DEF on quality parameters (RATIO, BRIX and KGSS). Garcia-Tejero et al. (2010) affirmed that water deficiency at maturity affects the organoleptic characteristics of fruits and mainly the quality parameters. Briefly for BAU the RATIO is the quality parameter more affect by DEF on maturity. For BEB and LIM are the BRIX and the KGSS and for MAT the BRIX.

Generally at humid regions that have lower annual DEF, as BAU and LIM, the parameters estimation models of yield and quality were more accurate.

Region: LIMEIRA				Quality Parameters				Yield Parameters		
Dependent Variables				RATIO max	BRIX max	KGSS max	ACIDITY mean	FRBOX mean	WFRUIT mean	
Phenology				DEF angular coefficients						
Year 1 - Development	APR	B. F.			0.082	0.027		1.349	-0.001	
	MAY									
	JUN			-0.160			0.009			
	JUL	V. D.		-0.011				1.057	-0.001	
	AUG						0.356	0.000		
	SEP		FLO	-0.051			0.005			
	OCT		FRUIT GROWTH							
	NOV			DF DIV						
	DEC									
Year 2-Production	JAN									
	FEB									
	MAR		C. E.							
	APR				-0.011	-0.005				
	MAY				-0.192	0.082	0.029	0.017	2.187	-0.001
	JUN					-0.022	-0.010		-1.560	0.001
	JUL				0.051					
	AUG					0.012	0.002	-0.003		
	SEP		FLO							
	OCT									
	NOV									
	DEC									
	JAN									
	FEB									
Linear Coefficient				19.760	10.580	2.515	1.157	243.182	0.178	
p-value Regression				0.005	0.007	0.042	0.062	0.007	0.057	
Calibration		MAPE (%)		1.12	0.62	1.20	2.53	0.48	1.17	
		R² Adj		0.96	0.96	0.85	0.70	0.96	0.82	
Tests		MAPE (%)		2.74	4.71	4.33	8.72	7.86	9.22	
		R² Adj		0.95	0.99	0.98	0.83	0.46	0.64	

Figure 8. Agrometeorological models in function of monthly water deficiency for estimate mean and maximum annual parameters of “Valência” orange grafted on rangpur lime for Limeira region. B.F.: bud formation; V.D.: vegetative dormancy; FLO: flowering; DIV: cell division; DF: cell differentiation; C. E.: cell expansion; E: early crops; MID: mid crops; L: late crops.

Conclusions

The 'Valência' orange grafted on rangpur lime had different sensitivities to the regional climate. Yield (FRBOX) was related to water deficiencies during bud formation (April) and vegetative dormancy (July) at Bauru and Limeira regions. The FRBOX at Bebedouro was more sensitive at the end of vegetative dormancy and the start of flowering (August) and Matão at bud formation (April).

For the quality parameters (RATIO, BRIX and KGSS) all regions were more sensitive to water deficiency at maturity, especially Limeira.

The agrometeorological models based on monthly water deficiencies showed good performance for yield and quality estimation of VACR for all regions.

References

- Araújo EC, Uribe-Opazo MA, Johann JA (2014). Modelos de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região do estado do Paraná. *Eng. Agric.* 34:286-299. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000200010>
- Bozorg FAA, Kaveh F, Parezkar M, Manshouri M (2011). Evaluation and modification of model for the prediction of wheat yield at Iran region. *Afr. J. Agric. Res.* 6:300-306. doi: 10.5897/AJAR10.428
- Camargo MBP, Ortolani AA, Pedro Jr MJ, Rosa SM (1999). Agrometeorological model for yield prediction of orange cultivar 'Valência'. *Bragantia.* 58:171-178. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051999000100016>
- Carr MKV (2012). The water relations and irrigation requirements of citrus (*Citrus* spp.): A review. *Expl Agric.* 48:347-377. doi: 10.1017/S0014479712000038.
- Coelho YS (2002). Frutas cítricas importadas no mercado de Salvador. *Bahia Agric.* 5:29-33.

Garcia-Tejero I, Romero-Vicente R, Jiménez-Bocanegra JA, Martínez-García G, Durán-Zuazo VH, Muriel-Fernández JL (2010). Response of citrus trees to deficit irrigation during different phonological periods in relation to yield, fruit quality and water productivity. *Agri. Water Manage.* 97:689-699. doi:10.1016/j.agwat.2009.12.012

Garcia-Tejero IF, Durán-Zuazo VH, Muriel-Fernández JL, Rodríguez-Pleguezuelo CR (2011). Water and sustainable agriculture. In: Springer Briefs in Agriculture. 1:1-94. doi: 10.1007/978-94-007-2091-6

Guimarães BVC, Donato SLR, Mais VM, Aspiazú I, Rodrgues MG, Marques PRR (2013). Simple and multiple linear regressions for harvest prediction of Prata type bananas. *Afr. J. Agric. Res.* 8(48):6300-6308. doi: 10.5897/AJAR2013.7544

Gujarati DN, Porter DC (2011). *Basics Econometrics* (5^a Ed.). 1:944. Publisher McGraw-Hill/Irwin.

Martins NA, Ortolani AA (2006). Estimativa de produção de laranja Valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. *Bragantia.* 65:261-355. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200018>

Monteiro LA, Sentelhas PC (2014). Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean n different Brazilian regions. *Acta Sci. Agron.* 36:265-272. doi: 10.4025/actasciagron.v36i3.17485

Neves MF, Trombim VG, Milan P, Lopes FF, Cressoni F, Kalaki R (2010). O Retrato da Citricultura Brasileira. In: Neves, M. F. (Coord.). In: ed.: Markestrat. 1:138 Disponível em: <<http://www.favaneves.org/arquivos/retrato-citricultura-brasileira-marcos-fava.pdf>>. Access in: 06 aug 2014.

Panigrahi P, Sharme RK, Hasan M, Parihar SS (2014). Deficit irrigation scheduling and yield prediction of 'Kinnow' mandarin (*Citrus reticulata Blanco*) in a semiaris region. *Agri. Water Manage.* 140:48-60. <http://dx.doi.org/10.1026/j.agwat.2014.03.018>

Paulino ES, Mourão Filho FAA, Maia AHN, Avilés TEC, Dourado Neto D (2007). Agrometeorological models for 'valência' and 'hamlin' sweet oranges to estimate the number of fruits per plant. *Sci. Agric.* 64:1-11. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000100001>

Pérez-Pérez JG, Robles JM, Botía P (2009). Influence of déficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. *Agri. Water. Manage.* 96:969-974. doi:10.1016/j.agwat.2009.01.008

Pio RM, Figueredo JO, Estuchi ES, Cardozo SAB (2005). Variedades Copas. In Mattos Jr D, Negri JD, Pio RM, Pompeu Jr J (Eds). In: Citros. Instituto Agronômico. 1:929.

Reis EM (2008). A política fitossanitária de combate ao cancro cítrico na região de Presidente Prudente, SP. *Rev. Fom.* 2:179-188.

Ribeiro VR, Machado CE, Brunini O (2006). Ocorrência de condições ambientais para indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. *Rev. Bras. Frutic.* 28:247-253. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200021>

Rocuzzo G, Villalobos FJ, Testi L, Fereres E (2014) Effects of water deficits on whole tree water use efficiency of orange. *Agri. Water Manage.* 140:61-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.019>

Rolim GS, Camargo MBP, Lania DG, Moraes JFL (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia.* 66:711-720. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>

Rolim GS, Ribeiro RV, Azevedo FA, Camargo MBP, Machado EC (2008). Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. *Rev. Bras. Frutic.* 30:048-053. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000100011>

Santos MA, Camargo MBOP (2006). Parametrização de Modelo Agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. *Bragantia*. 65:173-183. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000100022>

Syvertsen JP, Garcia-Sanchez F (2014). Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Env. Exp. Bot.* 103:128-137. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.015>

Thornthwaite CW (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38:55-94.

Thornthwaite CW, Matter, JR (1955). The Water Balance. *Publications in Climatology*. 1:104.

Volpe CA, Schoffel ER, Barbosa JC (2002). Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. *Rev. Bras. Frutic.* 24:436-441. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-2945200200020003>

Xu L, Zhang WJ (2001) Comparison of different methods for variable selection. *Analytica Chimica Acta*. 446:477-483.

CAPITULO 3 – Modelos agrometeorológicos para previsão de atributos de qualidade em laranjas ‘Valência’ para o Estado de São Paulo, Brasil.

Resumo: O clima é o fator de maior influência na variabilidade da produtividade de e qualidade dos produtos, a previsão antecipada de seus efeitos é a vanguarda em modelagem agrônômica, permitindo decisões estratégicas mais racionais. O Brasil é o maior produtor de laranjas do mundo, visto que o Estado de São Paulo é o maior responsável por essa produção. A variedade ‘Valência’ encontra-se como uma das mais produzidas no Estado. Este estudo tem como objetivo entender a influência das variáveis meteorológicas mensais ao longo do ciclo de laranjas ‘Valência’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’ (VACR) em quatro regiões de destaque na produção do Estado de São Paulo (Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão) e desenvolver modelos agrometeorológicos de previsão dos atributos de qualidade mensais de VACR. Os modelos foram construídos com regressão linear múltipla, visando maximizar a antecipação da previsão. Estes foram classificados pelos índices estatísticos de erro percentual absoluto médio (MAPE) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado). Foi possível a elaboração de modelos acurados, sendo que os melhores MAPEs em relação à frutos por caixa nos locais de Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão foram de 0,84%, 3,22%, 1,29% e 1,69%, respectivamente, dentre todos os meses, com uma antecipação mínima de previsão de quatro meses. E para RATIO os melhores MAPEs foram de 0,69%, 1,52%, 1,51% e 1,67%, nos locais de Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão respectivamente, com antecipação mínima de cinco meses. As variáveis de maior importância nos modelos foram às temperaturas mínimas, médias e máximas e a evapotranspiração relativa (ETR/ETP).

Palavras-Chave: modelagem, predição, *Citrus sinensis L. Osbeck*”.

Introdução

O setor citrícola é de ampla importância econômica e social para o Brasil. O país é o maior exportador de suco de laranja concentrado (SANTOS et al., 2013) e congelado do mundo sendo o Estado de São Paulo o maior responsável pela produção de laranjas de boa qualidade, principalmente para processamento de suco. Dentre cinco copos de suco que são consumidos no mundo, ao menos três são brasileiros (NEVES et al., 2012). Problemas fitossanitários e econômicos e a redução do consumo de suco de laranja no mundo (NEVES et al., 2012) fazem com que sejam necessárias novas alternativas para garantir o futuro da indústria citrícola brasileira. O fator de maior influência na variabilidade da qualidade e da produtividade de laranjas é o clima (PAULINO et al., 2007). O conhecimento da qualidade do fruto para processamento de suco antes da colheita é essencial para o planejamento de safra dos produtores (RUSLAN et al., 2012). Este planejamento no Estado de São Paulo começa no mês de abril, sendo necessárias novas técnicas para auxiliar os produtores e indústrias nesse processo. A laranja 'Valência' ocupa lugar de destaque entre as laranjeiras-doces, devido a boa produtividade e tamanho adequado dos frutos (PIO et al., 2005). Do ponto de vista industrial, representa um dos suportes da agroindústria em todo o mundo, tendo em vista a excelente qualidade do suco para processamento, armazenamento e transporte (COELHO, 2002).

Uma opção para atender as necessidades dos pomares de acordo com as condições climáticas da região é o uso de modelos agrometeorológicos de previsão de produtividade e qualidade. Além de ser uma ferramenta de auxílio no planejamento das atividades nas propriedades, ainda possui competência para identificar as variáveis meteorológicas mais influentes nas fases fenológicas do cultivo. A previsão é o ato de estimar para o futuro, ou seja, com os dados disponíveis atuais prever um fenômeno que ainda não ocorreu. Diferentemente de estimação, que, a partir de dados atuais, simula uma condição também atual.

Há diversos exemplos de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e qualidade de cultivos anuais e perenes que usam de regressões lineares simples ou múltiplas para elaborar modelos agrometeorológicos de estimativa ou previsão. A maior dificuldade nesta técnica está em selecionar quais variáveis independentes trazem mais informações e melhores resultados para os modelos. De acordo com Xu e Zang (2001), existem diversos métodos para seleção de variáveis independentes para modelos lineares e não lineares múltiplos como: a) “forward selection”, b) “backwards elimination”, c) “stepwise”, d) “leaps and bound regression”, e) “ortogonal descriptors”, f) “genetic algorithm”, g) “genetic population”, f) ”choosing the operators” and g) “fitness of evaluation”.

Salvo et al. (2012) desenvolveram modelos de regressão em função das variáveis climáticas para estimação da produtividade de mirtilos no Chile. Pedro Junior et al. (2014) realizaram a estimativa dos teores de sólidos solúveis e acidez titulável de uvas, no Estado de São Paulo, também com uso de regressões, em função dos graus-dia. De forma semelhante, Nyamdorj et al. (2014), também para o cultivo de uvas, elaboraram modelos empíricos para estimar as respostas deste em função do clima, na região ocidental da Austrália.

Alguns trabalhos são encontrados na literatura utilizando esta forma de modelagem para estimação de produtividade e qualidade de laranjas. Camargo et al. (1999) desenvolveram um modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade de laranja ‘Valência’ em função do fator hídrico e identificaram que o florescimento e o início do pegamento são as fases mais sensíveis ao déficit hídrico. Volpe et al. (2002) concluíram que a temperatura do ar, representada em graus-dia, é a variável mais influente na taxa de maturação dos frutos da primeira florada de laranjeiras ‘Valência’ e ‘Natal’ e utilizaram esta variável para desenvolver modelos de regressão quadráticas. Paulino et al. (2007) utilizaram do ajuste de modelos de regressão linear múltipla para descrever a relação entre o número de frutos por planta e as variáveis meteorológicas de maiores correlações em diferentes fases do ciclo de laranjas ‘Valência’. Para pomares de seis a dez anos, encontraram que a

temperatura do ar e a deficiência hídrica são as variáveis mais importantes nas fases de formação das gemas, repouso vegetativo e início da floração.

Poucos trabalhos de modelagem são encontrados com previsão de produtividade, como por exemplo, o estudo de Matsumura et al. (2014), que desenvolveram modelos em regressão linear para a previsão de produtividade de milho, em Jilin, na China. Na literatura, a previsão de produtividade está sendo feita de diferentes formas, por exemplo: 1) uso de NDVI (satélites) associado a modelo GCM (general circulation models) de previsão de clima. Nesta linha de pesquisa, Kogan et al. (2013) conseguiram antecipar entre 2 e 3 meses a previsão de trigo, na Ucrânia; 2) uso de análises de séries temporais (BOX et al., 2008); 3) uso de padrões de El Niño e La Niña, como exemplo, Hansen et al. (2004), que conseguiram previsões acuradas de produtividade de trigo para o período de pré-plantio no nordeste da Austrália; 4) uso de modelos estatísticos a partir de dados climáticos médios e normais.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de modelos agrometeorológicos de previsão dos atributos de qualidade mensais de laranjas 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' (VACR) para quatro regiões de destaque na produção em São Paulo, Bauru (BAU), Bebedouro (BEB), Limeira (LIM) e Matão (MAT) e ainda identificar quais variáveis meteorológicas mensais apresentam maior influência nos atributos qualitativos de VACR.

Material e Métodos

Dados climáticos dos locais (Tabela 1) foram obtidos em escala diária por estações meteorológicas automáticas (EMA). Foram usados dados diários de precipitação (P) e temperatura mínima (TMIN), média (T) e máxima (TMAX) do ar, organizados em escala mensal do período de 2000 a 2013 para o cálculo de evapotranspiração potencial (ETP) pela equação de Camargo (1971) (equações 1, 2, 3, 4 e 5). Os dados foram divididos em nove anos para calibração dos modelos (2001-2009) e quatro para os testes (2010-2013).

Tabela 1. Descrição geográfica e climática dos locais.

Locais	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Thornthwaite (1948) classificação climática
Bauru	22° 17' 29"	49° 33' 10"	561	C ₂ sB' ₄ a
Bebedouro	20° 56' 58"	48° 28' 45"	573	C ₂ dA'a
Limeira	22° 33' 53"	47° 24' 06"	588	B ₁ rB' ₃ a
Matão	21° 36' 12"	48° 21' 57"	585	B ₁ rB' ₄ a

$$ETP = 0,01 \times Q_o \times T \times ND \quad (1)$$

$$Q_o = 37,6 \times DR \times \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) \times hn \times \sin \Phi \times \sin \delta + \cos \Phi \times \cos \delta \times \sin hn \right] \quad (2)$$

$$DR = 1 + 0,033 \times \cos \left(\frac{360 \times JD}{365} \right) \quad (3)$$

$$\delta = 23,45 \times \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) \times (JD - 80) \right] \quad (4)$$

$$hn = \text{ARCCOS}[-\tan \Phi \times \tan \delta] \quad (5)$$

sendo, Q_o a irradiância solar diária no topo da atmosfera ($\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$); DR a distância relativa da terra ao sol (au, astronomic units); hn o ângulo horário do nascer do sol ($^\circ$); Φ a latitude ($^\circ$); δ a declinação solar ($^\circ$); JD dia juliano; T é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); ND é o número de dias do período.

Após determinada a ETP, foram geradas as informações de deficiência (DEF), excedente (EXC) e armazenamento (STO) hídricos mensais e evapotranspiração real (ETR) a partir do cálculo de balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), com capacidade de água disponível (CAD) igual a 100 mm. Temperaturas mínimas (TMIN), médias (T) e máximas (TMAX) do ar, precipitação (P) e a evapotranspiração relativa ($\text{RET} = \text{ETR}/\text{ETP}$), em escala mensal, foram as variáveis meteorológicas independentes utilizadas na construção dos modelos por regressões lineares múltiplas (equação 6). Buscando previsões mais antecipadas foram usadas apenas variáveis do ano de desenvolvimento (1º ano

fenológico) (Figura 1), totalizando em média 73 variáveis independentes (X_n) que foram pré-selecionadas como mais importantes para cada região.

$$Y = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + \dots + CL \quad (6)$$

sendo, Y a numero de frutos caixa⁻¹, como também °brix, kg de sólidos solúveis, ratio, acidez, peso do fruto e porcentagem de suco; a, b, c,...; são os coeficientes (pesos) angulares, X_1, X_2, X_3, \dots , são as variáveis meteorológicas selecionadas e CL o coeficiente linear.

Ano 1 - Desenvolvimento										Ano 2 - Produção													
A	M	J	J	A	S	O	N	D		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
F. G.																							
		R. V.																					
				FLO														FLO					
				CRESCIMENTO FRUTO																			
						DIV	DIF	E. C.															
																	MATURAÇÃO/COLHEITA						
															P		MED				TARDIA		

Figura 1. Fenologia média de laranja ‘Valência’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’ para o Estado de São Paulo. Legenda: F.G.: formação das gemas; R.V.: repouso vegetativo; FLO: floração; DIV: divisão celular; DIF: diferenciação celular; E.C.: expansão celular; P, MED e TARDIA: precoce, média e tardia, duração do ciclo de laranjeiras valência.

Os dados dos atributos de qualidade: RATIO (equação 7), teor de açúcar no fruto, medido por refratômetro (BRIX), kg de sólidos solúveis por caixa (KGSS) (equação 8), porcentagem de ácido cítrico (ACIDEZ), porcentagem de suco (%SUCO) (equação 9), frutos caixa⁻¹ (FRBOX) e peso do fruto, em kg, (PFRUTO) mensais de laranja valência (*Citrus sinensis*, L. Osbeck) enxertada em limoeiro cravo (*Citrus limonia*, Osbeck) (VACR) foram fornecidos por produtores de laranja ‘Valência’ dos locais. Para melhor aplicação dos modelos, os dados foram organizados como média entre as duas floradas de pomares adultos, ou seja, com idade maior que seis anos. Normalmente, no cultivo de laranja, observam-se duas

floradas por ciclo, induzidas por estresses térmicos e/ou hídricos, porém é possível a ocorrência de mais floradas quando há estresses climáticos fora de época.

$$RATIO = \frac{^{\circ}BRIX}{ACIDEZ} \quad (7)$$

$$KGSS = \frac{RS \times ^{\circ}BRIX \times 40.8}{10\,000} \quad (8)$$

$$\%SUCO = \frac{PSUCO}{PFRUTO} \times 100 \quad (9)$$

sendo, RS o rendimento de suco (litros); PSUCO o peso do suco (kg) e 40.8 o peso da caixa (kg).

O maior problema na regressão linear múltipla é a seleção das variáveis independentes a serem combinadas para gerar modelos significativos. Qualquer método numérico iterativo, como os de “stepwise”, tem problemas de estabilização em erros locais devido a combinações iniciais impróprias. Então, como sugerido por Walpole et al. (2012), uma opção é o teste de todas as combinações possíveis (APC) quando o número de variáveis independentes é relativamente pequeno.

Neste trabalho, apesar do grande número de variáveis independentes, utilizou-se a metodologia APC testando-se modelos com até três variáveis independentes do ano de desenvolvimento em escala mensal, perfazendo 64.897 equações possíveis para cada atributo qualitativo (RATIO, BRIX, KGSS, ACIDEZ, %SUCO, FRBOX e PFRUTO), totalizando 519.176 equações testadas para cada mês. Foi usada uma rotina em “Visual Basics for Applications” (VBA) no ambiente MS-Excel 2010, para desenvolver as equações. O critério aplicado para a seleção de variáveis foi a significância dos coeficientes ($t < 0,05$) e da regressão ($F < 0,05$), além da minimização do erro percentual absoluto médio (MAPE) e maximização de R^2 ajustado (equações 10 e 11).

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| \times 100 \right)}{N} \quad (10)$$

$$R^2 \text{ adjusted} = \left[1 - \frac{(1 - R^2) \times (N - 1)}{N - k - 1} \right] \quad (11)$$

sendo, Y_{est_i} : atributos de qualidade estimados no ano i ; Y_{obs_i} : atributos de qualidade observados; N : número de dados e k : número de variáveis independentes da regressão.

Foi realizada análise para retirada da multicolinearidade entre as variáveis independentes (TMIN, T, TMAX, P, RET, DEF, EXC e STO) mensais. Gujarati e Porter (2011) descrevem que a multicolinearidade não é um problema nos modelos quando o interesse é somente a estimação. Entretanto, quando existe também o interesse em analisar os coeficientes angulares, como é o caso deste trabalho, a multicolinearidade causa desvio nestes. Dessa forma, a análise dos coeficientes angulares permitiu inferir quais elementos meteorológicos e em qual momento estes tem maior influência na previsão dos atributos de qualidade de laranjas 'Valência'.

Resultados e Discussão

Os locais de Bauru, Bebedouro, Limeira e Matão apresentaram características climáticas anuais semelhantes, entretanto com diferenças sazonais que condicionaram de forma diferenciada os atributos qualitativos dos frutos (Figura 2).

De forma geral, os locais podem ser divididos em dois grupos, em relação à temperatura (Figura 2A): G_{T1} representado por Bebedouro (BEB) e Matão (MAT) com temperaturas médias (T) entre 22°C e 25 °C e G_{T2} com T entre 20°C e 23°C referente às locais de Limeira (LIM) e Bauru (BAU) (Tabela 2). As T mais baixas foram observadas entre os meses de maio, junho e julho referentes às fases fenológicas que antecedem a floração, como a formação das gemas e repouso vegetativo. A precipitação média (P) nos locais (Figura 2B) mostrou que no inverno, quando as T são mais baixas, ocorre o período de estiagem que chega até o mês de agosto (início da floração), o mesmo foi reportado por Sentelhas (2005) para o Estado de São Paulo.

A demanda evapotranspirativa foi atendida praticamente entre novembro e março (Figura 2C) em todas as locais ($ETR/ETP > 0,9$). O mês de maior restrição à

evapotranspiração foi em agosto, neste período a ETR chega a ser 40% da ETP em Bebedouro. Bauru foi a única região que apresentou excedente hídrico (EXC) durante o período de estiagem (Figura 2D), portanto em relação aos componentes do balanço hídrico (DEF, STO e EXC), os locais podem ser divididos em dois grupos: (G_{BH1}) BAU e (G_{BH2}) LIM, MAT e BEB (Tabela 2). Em relação à evapotranspiração relativa (RET), os locais ficaram divididos nos mesmos grupos do balanço hídrico. Este período de estiagem é importante na uniformidade do florescimento de laranjeiras valência, que tem como principais indutores a baixa disponibilidade hídrica e as baixas temperaturas (CASTRO et al., 2001).

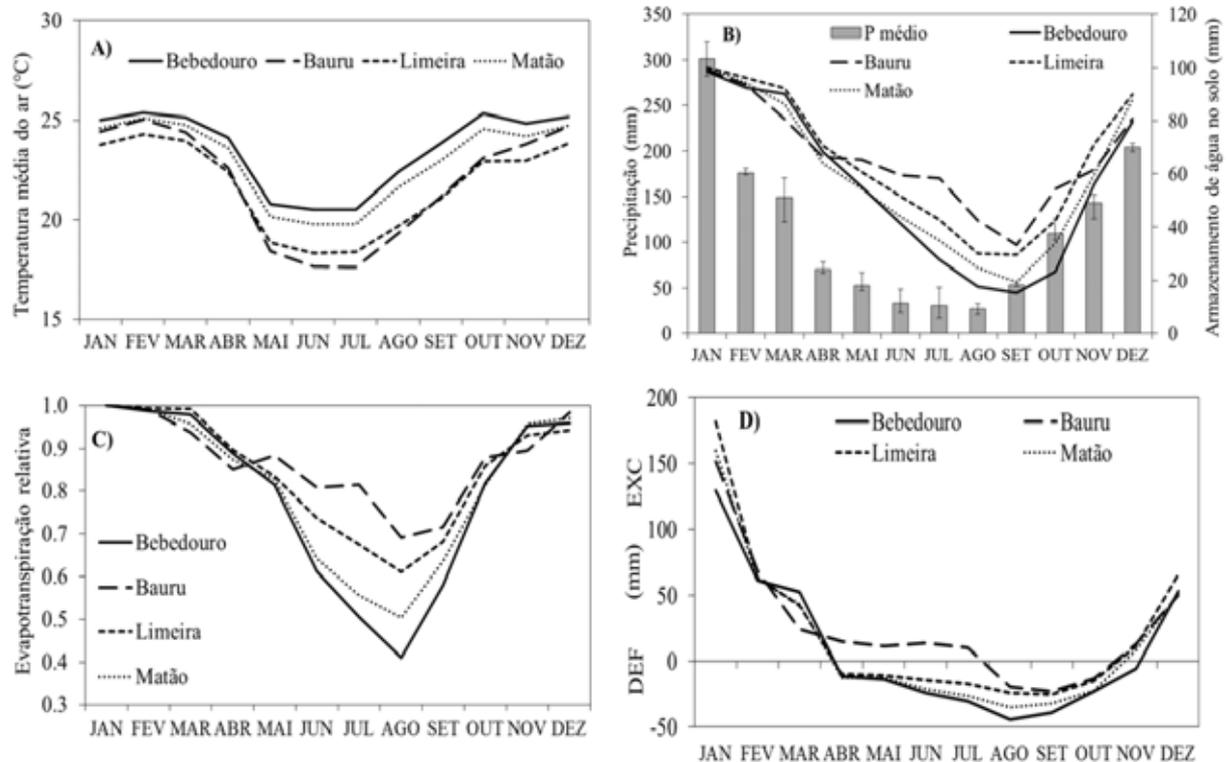


Figura 2. Características climáticas das locais no período de 2000 a 2013. A) temperatura média mensal (°C), B) Precipitação e armazenamento hídrico do solo (mm), C) Evapotranspiração relativa (RET) e D) deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídrico (mm). Os componentes do balanço como armazenamento hídrico, evapotranspiração real (ETR), DEF e EXC foram estimados pelo modelo de Thornthwaite e Mather (1955) com capacidade de água disponível de 100 mm.

Tabela 2. Grupos de similaridade das locais em relação à temperatura do ar e aos componentes do balanço hídrico. Legenda: STO: armazenamento hídrico no solo; DEF: deficiência; EXC: excedente; RET: evapotranspiração relativa.

Grupos de Similaridade			
Temperatura do ar		Balanço Hídrico (STO, DEF, EXC e RET)	
G_{T1} (22°C a 25°C)	Bebedouro Matão	G_{BH1} (EXC até julho)	Bauru
G_{T2} (20°C a 23°C)	Limeira Bauru	G_{BH2} (EXC até abril)	Bebedouro Limeira Matão

Os locais de BEB e MAT dos grupos G_{T1} e G_{BH2} têm como principal variável indutora do florescimento (FLO) a DEF, para LIM, região dos grupos G_{T2} e G_{BH2} são as baixas temperaturas do ar e para BAU, que se distingue por ser dos grupos G_{T2} e G_{BH1}, a combinação das duas variáveis, a DEF e as baixas T induzem o FLO na região como observado por Ribeiro et al. (2006).

Em busca do desenvolvimento de modelos agrometeorológicos acurados que atingissem o objetivo de prever os atributos qualitativos de VACR com antecipação de no mínimo três meses, foram testadas todas as combinações possíveis três a três (64.897 combinações) entre as variáveis climáticas mensais do ano de desenvolvimento (1° ano fenológico) para a previsão dos atributos mensais do ano de produção (2° ano fenológico). Retiradas as combinações em que as variáveis apresentavam multicolinearidade (21.380), as combinações restantes (43.517) representam os modelos possíveis para previsão dos atributos qualitativos de VACR mensais (Figura 3), destes surgiram os melhores modelos.

O método de testar todas as combinações foi eficiente, pois à medida que o R² ajustado ficou mais próximo a 1,00, o valor-p diminuiu, chegando cada vez mais próximo a zero e o MAPE consequentemente é reduzido (Figura 4). Estes foram os mesmos critérios usados para classificar os melhores modelos de previsão dos atributos qualitativos de VACR.

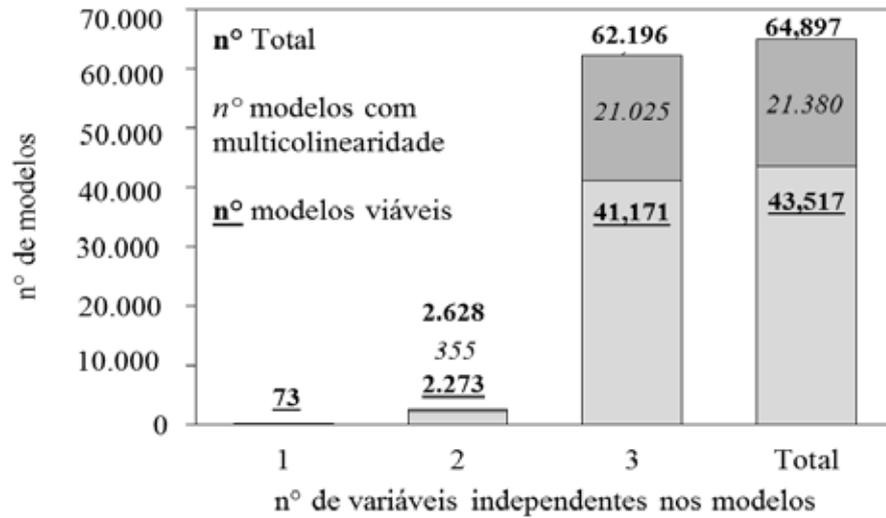


Figura 3. Número de equações geradas e testadas em relação à multicolinearidade para a elaboração dos modelos agrometeorológicos de previsão dos atributos qualitativos de laranja 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' em função das variáveis climáticas mensais do ano de desenvolvimento. Legenda: (**nº**) numero total de modelos; (**nº**) numero de modelos que apresentaram multicolinearidade forte entre as variáveis independentes; (**nº**) numero de modelos viáveis para previsão de cada atributo qualitativo de laranjas valência.

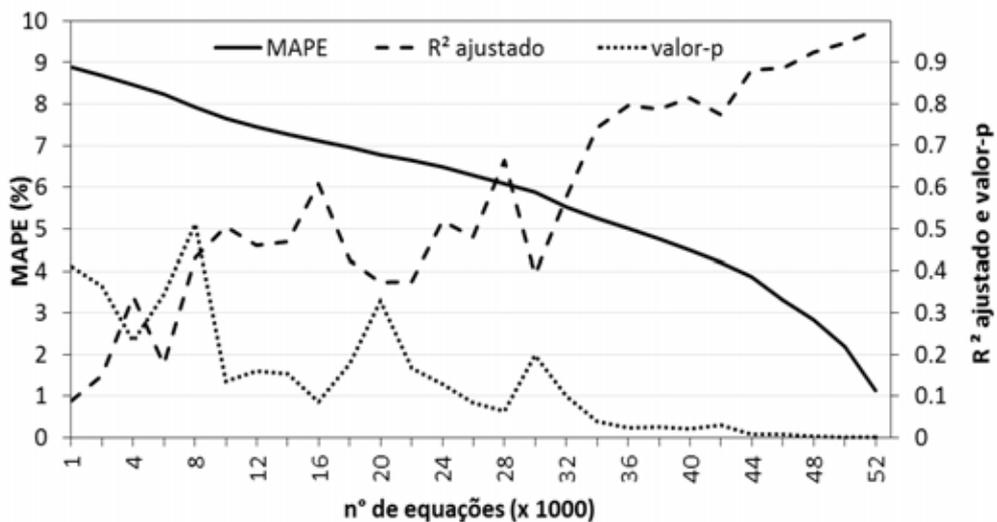


Figura 4. Exemplo de classificação dos modelos agrometeorológicos para região de Bebedouro segundo os critérios de acurácia (menor MAPE), precisão (maior R^2 ajustado) e confiabilidade (valor-p).

Análises de sensibilidade dos coeficientes angulares das variáveis climáticas do ano de desenvolvimento (Figuras 5 e 6) foram realizadas a fim de encontrar quais destas mais influenciam os atributos qualitativos de RATIO e FRBOX de VACR nos locais. Sendo o mês de abril o ponto de partida para o planejamento das indústrias de processamento de suco de laranja nos locais, este foi usado nas análises de sensibilidade.

Foram separados os dez modelos mais acurados de previsão para $RATIO_{ABR}$ e $FRBOX_{ABR}$ para cada região, sem considerar a antecipação, e posteriormente classificadas as variáveis mais influentes pela análise de sensibilidade dos coeficientes angulares. Em relação ao $RATIO_{ABR}$, estes modelos de maior acurácia apresentaram MAPE de 2,58% a 4,17% para região de BAU, 1,86% a 3,52% para BEB, 2,02% a 3,97% para LIM e 4,86% a 7,63% para MAT.

A acurácia dos modelos de $FRBOX_{ABR}$ variou de 1,75% a 2,38% para BAU, 5,15% a 6,83% para BEB, 1,29% a 3,06% para LIM e 4,06% a 11,43% para MAT.

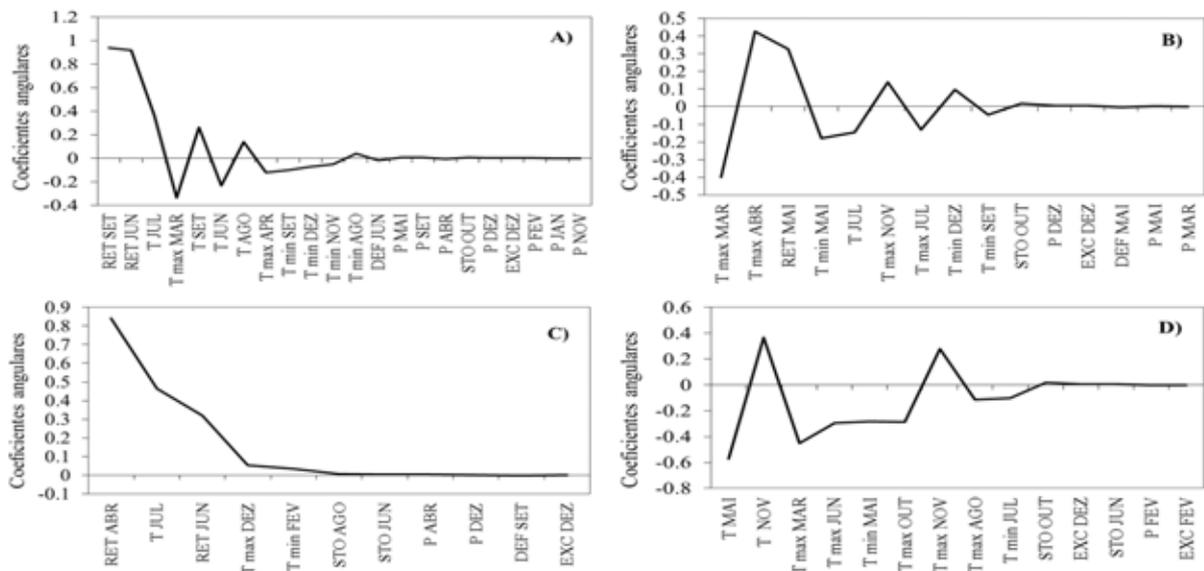


Figura 5. Análise de sensibilidade dos valores médios dos coeficientes angulares dos dez modelos mais acurados de previsão do RATIO de abril de laranjas 'Valência' enxertadas em limoeiro 'Cravo'. A) Bauru; B) Bebedouro; C) Limeira e D) Matão.

De forma geral, para todos os locais, as variáveis climáticas mais importantes para previsão de $RATIO_{ABR}$ são: T_{MAI} , T_{JUL} , T_{NOV} , $TMAX_{MAR}$, $TMAX_{ABR}$, $TMAX_{JUN}$, $TMAX_{DEZ}$, $TMIN_{MAI}$, RET_{ABR} , RET_{MAI} , RET_{JUN} , RET_{SET} .

Em LIM, todos os coeficientes foram positivos, mostrando que para esta região as variáveis climáticas possuem relação diretamente proporcional com o $RATIO_{APR}$ de VACR. Para BEB e MAT, locais que apresentam condições climáticas similares, principalmente em relação às condições térmicas (RIBEIRO et al., 2006), $TMAX_{MAR}$ e T_{MAI} foram as variáveis de maior peso dentre os melhores modelos de previsão de $RATIO_{ABR}$, sendo em sua maioria com coeficientes negativos, indicando relação inversa. Bauru apresentou a RET como variável mais influente de forma direta, porém a $TMAX_{MAR}$ também foi importante nos modelos, com relação inversamente proporcional a qualidade.

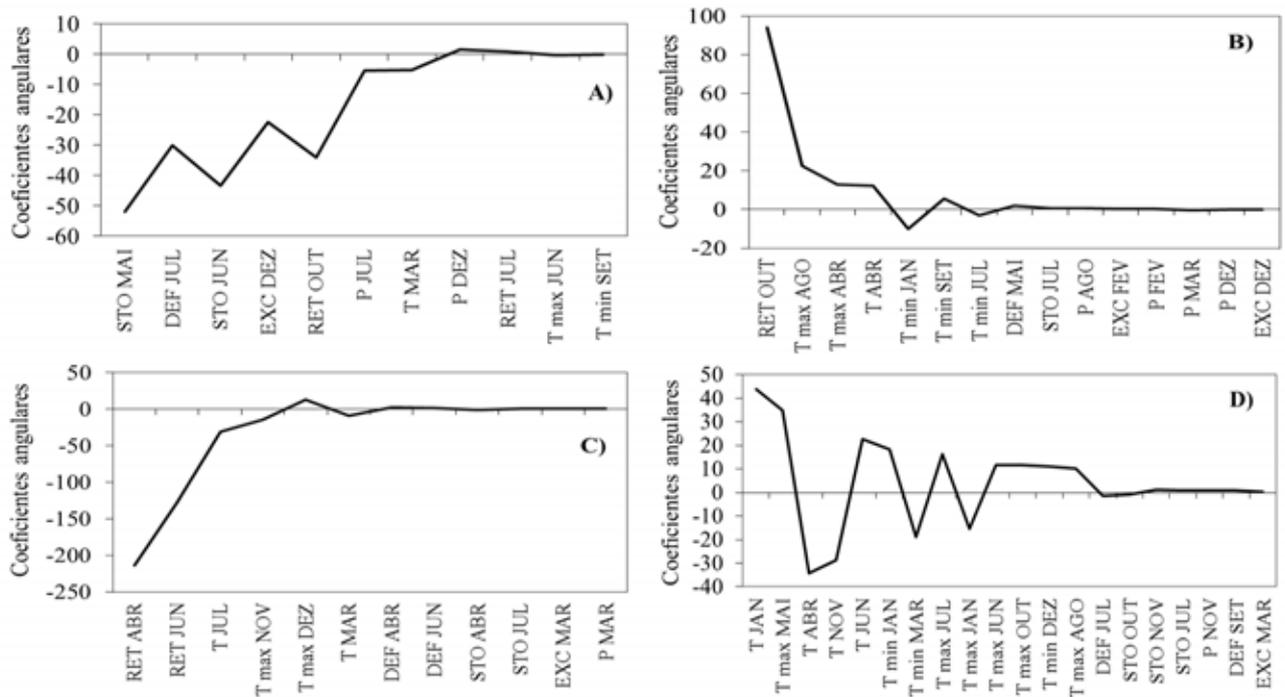


Figura 6. Análise de sensibilidade dos valores médios dos coeficientes angulares dos dez modelos mais acurados de previsão de FRBOX de abril de laranjas ‘Valência’ enxertadas em limoeiro ‘Cravo’. A) Bauru; B) Bebedouro; C) Limeira e D) Matão.

De acordo com os coeficientes angulares dos modelos de previsão de $FRBOX_{ABR}$ de todos os locais, as variáveis climáticas mais importantes são: T_{JAN} , T_{ABR} , T_{JUL} , T_{NOV} , $TMAX_{ABR}$, $TMAX_{MAI}$, $TMAX_{AGO}$, $TMAX_{NOV}$, RET_{ABR} , RET_{JUN} , RET_{OUT} , STO_{MAI} , STO_{JUN} , DEF_{JUL} e EXC_{DEZ} . Estas podem apresentar relação direta ou inversa com a produtividade de VACR.

Em BAU, a disponibilidade hídrica (STO, DEF, EXC, P e RET) foi o fator que apresentou maior peso nos modelos, os coeficientes apresentaram relação inversamente proporcional com frutos por caixa. A RET aparece como variável de forte influência nos modelos de BEB e LIM, sendo diretamente e inversamente proporcional, respectivamente. Em MAT, as variáveis mais influentes dentre os dez melhores modelos de $FRBOX_{ABR}$ analisados foram as temperaturas, principalmente T_{JAN} e $TMAX_{MAI}$, com coeficientes positivos e relação diretamente proporcional com os frutos por caixa de VACR na região.

Os modelos agrometeorológicos têm demonstrado que com o uso das variáveis climáticas para previsão da produção dos cultivos, há redução nos riscos, tornando as atividades agrícolas mais rentáveis (HAMMER et al., 2000). Estas previsões, quando acuradas, trazem informações importantes para a tomada de decisões de uso do solo e/ou da água nas propriedades (CABRERA et al., 2006). Os modelos de previsão dos atributos de qualidade (RATIO, BRIX, KGSS, ACIDEZ e %SUCO, $FRBOX$ e PFRUTO) de VACR desenvolvidos neste trabalho apresentaram, em sua maioria, elevada acurácia nas etapas de calibração e testes.

Todos os modelos analisados na etapa de calibração foram significativos e acurados, pois os maiores valores-p e MAPE encontrados foram de 0,050 e 10,46%, respectivamente. Os modelos que apresentaram menores valores-p e MAPE foram $PFRUTO_{NOV}$ e $BRIX_{APR}$ ambos para região de BAU. A menor antecipação foi encontrada nos modelos $KGSS_{APR}$ e $SUCO_{APR}$ de BEB com três meses de antecipação. O modelo $PFRUTO_{OCT}$ de BEB foi o que conseguiu a previsão mais antecipada com aproximadamente um ano de antecipação. É claro que antecipações menores indicam uma relação estatística, e também fisiológica, entre

as variáveis do cultivo e do clima. E antecipações maiores como a $PFRUTO_{OCT}$ em BEB indicam mais uma relação estatística ou de engenharia.

Os testes para os modelos de previsão de $RATIO$ para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 0,69% na previsão de agosto em BAU e o máximo de 7,67% na previsão de maio em LIM. A antecipação mínima para $RATIO$ foi de cinco meses para locais de BEB, LIM e MAT. O índice de maturidade ($RATIO$) trata-se de uma relação entre o BRIX e a ACIDEZ que são os dois principais componentes para as indústrias do setor citrícola, pois possuem impacto direto no valor e na qualidade do suco (RUSLAN et al., 2012). Dentre os modelos agrometeorológicos de previsão de $RATIO$ (Tabela 3) para BAU, BEB, LIM e MAT, a variável mais influente foi a T, pois esta variável ocorreu em todos os locais e meses, e seus respectivos coeficientes angulares foram maiores que os demais. Para BAU e BEB as T do primeiro semestre do ano de desenvolvimento apareceram com mais frequência nos modelos, e para LIM e MAT, no segundo semestre.

Para $RATIO_{ABR}$ a região com previsão mais acurada foi BAU, com MAPE nos testes de 2,58%, precisão (R^2 adj) de 0,98 e valor-p de 0,036, ou seja, considerando um $RATIO$ médio da região igual a 3,32, o MAPE de 2,58% representa um erro na previsão do modelo de somente 0,09 pontos. A T durante o fim da formação das gemas e o início do repouso vegetativo (junho) foi a variável mais influente nesse modelo. As TMAX de fevereiro, T no repouso vegetativo (julho) e T na formação das gemas (maio) foram as variáveis mais influentes em BEB, LIM e MAT, respectivamente. A T é a variável de maior efeito no $RATIO$ de VACR na região de Bebedouro (VOLPE et al., 2002). Mattheis et al. (1999) encontraram que em geral mudanças na temperatura durante o desenvolvimento impacta o sabor e a composição dos frutos.

Os testes para os modelos de previsão de KGSS para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 0,50% na previsão de agosto em LIM e máximo de 12,96% na previsão de novembro em BEB. A antecipação

mínima para KGSS foi de três meses para região de BEB. O KGSS também usado como índice tecnológico, expressa qualidade, quanto maiores os valores de KGSS melhor a qualidade dos frutos (GRIZOTTO et al., 2012).

Em relação ao KGSS (Tabela 4) as variáveis de maior frequência e coeficientes angulares, dentre todos os meses, foi a TMAX em BAU, BEB e MAT no segundo semestre, referente às fases de floração e crescimento inicial do fruto. A T foi a mais importante em LIM no primeiro semestre do ano de desenvolvimento, durante as fases iniciais do ciclo da planta (formação das gemas e repouso vegetativo).

Tabela 3. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de RATIO para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

RATIO (R)	P-value	Calibration		Test	
		MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL					
BAU R = -0.235.T _{JUN} +0.043.T _{min} _{AUG} -0.10.T _{min} _{SEP} +7.99	0.036	2.64	0.85	2.58	0.98
BEB R = -0.612.T _{max} _{FEB} +0.428.T _{max} _{APR} +0.023.STO _{OCT} +10.081	0.006	2.98	0.90	3.50	0.82
LIM R = 0.509.T _{JUL} -0.002.DEF _{SEP} +0.006.STO _{AUG} -5.849	0.004	2.67	0.87	3.90	0.63
MAT R = -0.581.T _{MAY} -0.102.T _{min} _{JUL} -0.286.T _{max} _{OCT} +26.306	0.045	8.38	0.64	6.36	0.56
MAY					
BAU R = 0.58.T _{FEB} -0.255.T _{min} _{SEP} -0.072.DEF _{JUL} -7.342	0.030	4.87	0.86	3.57	0.93
BEB R = -0.575.T _{APR} +0.046.P _{JUL} -0.02.STO _{MAY} +19.252	0.001	1.85	0.97	5.50	0.83
LIM R = -0.207.T _{min} _{JUN} -0.269.T _{max} _{SEP} +15.066	0.010	4.63	0.70	13.92	0.95
MAT R = -0.453.T _{min} _{APR} -0.45.T _{max} _{AUG} +0.013.STO _{NOV} +25.119	0.002	3.18	0.91	5.55	0.90
JUNE					
BAU R = -0.0081.P _{APR} +0.011.P _{MAY} -0.02.DEF _{JUN} +5.802	0.030	3.06	0.85	2.40	0.96
BEB R = -0.381.T _{OCT} -0.256.T _{min} _{JUL} +0.01.P _{JUL} +17.759	0.007	2.90	0.89	2.12	0.97
LIM R = -0.181.T _{min} _{JUN} +0.384.T _{max} _{APR} +0.008.EXC _{DEZ} -5.813	0.022	3.40	0.73	6.01	0.54
MAT R = 0.091.T _{min} _{SEP} -0.260.T _{max} _{AUG} +0.006.EXC _{DEZ} +13.224	0.022	3.59	0.73	6.31	0.91
JULY					
BAU R = 0.688.T _{MAY} -0.413.T _{min} _{JAN} -0.011.P _{MAR} +2.825	0.044	2.55	0.82	3.74	0.73
BEB R = -0.241.T _{JUN} -0.173.T _{min} _{JUL} +0.154.T _{min} _{SEP} +12.425	0.003	2.19	0.93	1.52	0.84
LIM R = -0.477.T _{AUG} +0.014.P _{SEP} +0.01.STO _{OCT} +15.149	0.024	3.02	0.72	3.32	0.70
MAT R = -0.841.T _{AUG} -0.151.T _{min} _{JUL} +0.01.EXC _{DEC} +25.577	0.006	2.75	0.85	5.05	0.86
AUGUST					
BAU R = -0.363.T _{max} _{JUL} -0.27.T _{max} _{DEC} -0.008.DEF _{OCT} +28.271	0.001	0.46	0.99	0.69	0.99
BEB R = -0.699.T _{APR} -0.271.T _{min} _{JUL} +0.321.T _{max} _{MAR} +17.011	0.014	1.72	0.85	3.20	0.61
LIM R = -0.356.T _{max} _{AUG} +0.052.DEF _{AUG} +0.04.STO _{SEP} +17.375	0.005	2.00	0.85	3.97	0.85
MAT R = -0.737.T _{AUG} -0.009.P _{JAN} +0.023.P _{NOV} +24.091	0.002	3.26	0.90	5.82	0.89
SEPTEMBER					
BAU R = 0.827.T _{max} _{MAR} -0.021.DEF _{JUN} +0.012.EXC _{FEB} -18.834	0.049	2.57	0.81	3.13	0.97
BEB R = 1.057.T _{JAN} +1.414.T _{max} _{MAY} +0.056.STO _{JUL} -60.174	0.008	2.60	0.88	2.13	0.99
LIM R = -0.413.T _{max} _{AUG} +0.049.STO _{SEP} -4.737.RET _{AUG} +24.599	0.002	1.86	0.90	4.83	0.72
MAT R = -1.22.T _{AUG} +1.096.T _{max} _{APR} +0.011.EXC _{DEC} +0.435	0.039	4.70	0.66	5.02	0.97
OCTOBER					
BAU R = -0.85.T _{NOV} -0.164.T _{max} _{APR} -0.633.T _{max} _{JUN} +55.118	0.008	1.47	0.94	2.11	0.87
BEB R = -0.293.T _{min} _{JUN} +.709.T _{max} _{MAR} +1.493.T _{max} _{MAY} -53.112	0.016	2.28	0.84	3.44	0.94
LIM R = 1.094.T _{FEB} -0.162.T _{min} _{FEB} -0.621.T _{max} _{OCT} +9.746	0.002	1.24	0.90	4.04	0.65
MAT R = -0.939.T _{JUN} -2.224.T _{AUG} +0.135.DEF _{APR} +77.502	0.007	5.36	0.83	4.44	0.90
NOVEMBER					
BAU R = -0.621.T _{max} _{MAY} -0.777.T _{max} _{JUL} +54.301	0.004	1.57	0.91	2.76	0.82
BEB R = -0.183.T _{min} _{JUN} +2.238.T _{max} _{MAY} -0.77.T _{max} _{OCT} -22.392	0.007	1.88	0.89	5.06	0.86
LIM R = 1.326.T _{JUL} +0.743.T _{max} _{FEB} -0.006.EXC _{JAN} -34.118	0.005	2.42	0.86	4.15	0.49
MAT R = -2.829.T _{AUG} +0.644.T _{max} _{FEB} +0.203.DEF _{APR} +52.107	0.016	5.44	0.77	4.00	0.97
DECEMBER					
BAU R = 1.531.T _{JUN} -1.411.T _{max} _{JUN} +0.679.T _{max} _{DEC} +5.002	0.038	2.91	0.84	4.61	0.68
BEB R = 1.888.T _{min} _{FEB} +1.006.T _{max} _{AUG} -1.276.T _{max} _{SEP} -2.408	0.013	3.87	0.85	4.73	0.96
LIM R = -1.49.T _{AUG} -0.015.EXC _{JAN} +0.038.STO _{OCT} +46.046	0.002	2.59	0.89	1.51	0.98
MAT R = 4.805.T _{MAR} -3.381.T _{MAY} +0.033.P _{AUG} -34.467	0.033	8.03	0.68	1.67	0.98

Tabela 4. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de kg sólidos solúveis por hectare (KGSS) para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

	KGSS (SS)	P-value	Calibration		Test	
			MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL						
BAU	SS = -0.077.Tmax _{MAR} -0.002.P _{APR} -0.001.P _{JUL} +4.604	0.039	2.30	0.84	1.80	0.83
BEB	SS = 0.083.Tmax _{NOV} +0.002.P _{DEC} +0.002.DEF _{JUL} -1.67	0.006	2.38	0.90	2.66	0.82
LIM	SS = -0.147.Tmax _{MAY} +0.003.P _{AUG} -0.007.STO _{APR} +6.62	0.012	2.68	0.79	3.45	0.90
MAT	SS = -0.163.T _{APR} -0.107.Tmax _{JUN} -1.23.RET _{APR} +9.974	0.0004	1.37	0.95	2.31	0.93
MAY						
BAU	SS = 0.098.T _{AUG} -0.039.Tmin _{JAN} -0.004.DEF _{JUN} +0.883	0.027	1.48	0.87	0.59	0.99
BEB	SS = -0.031.Tmin _{OCT} +0.0002.P _{JAN} +0.003.STO _{NOV} +2.31	0.005	1.11	0.91	2.67	0.85
LIM	SS = -0.004.P _{AUG} +0.004.P _{SEP} +0.523.RET _{MAY} +1.485	0.031	2.13	0.69	2.29	0.98
MAT	SS = -0.146.T _{AUG} +0.01.DEF _{APR} -0.005.DEF _{OCT} +5.171	0.029	3.74	0.70	2.44	0.71
JUNE						
BAU	SS = 0.149.T _{JUN} -0.002.P _{APR} +1.112.RET _{OCT} -1.13	0.013	1.38	0.92	1.16	0.78
BEB	SS = 0.092.Tmax _{AUG} +0.001.EXC _{FEB} +0.006.STO _{AUG} -1.038	0.014	1.34	0.84	4.59	0.71
LIM	SS = -0.017.Tmin _{JUN} +0.004.P _{MAY} +0.003.P _{SEP} +2.007	0.025	2.06	0.72	0.85	0.98
MAT	SS = 0.045.Tmin _{MAY} -0.05.Tmax _{OCT} +0.008.DEF _{APR} +3.623	0.041	3.18	0.65	2.81	0.75
JULY						
BAU	SS = 0.085.T _{MAY} -0.069.Tmax _{FEB} +0.171.Tmax _{AUG} -2.233	0.009	1.15	0.94	0.59	0.71
BEB	SS = 0.209.Tmax _{MAY} +0.003.EXC _{DEC} +0.006.STO _{MAY} -4.424	0.007	1.03	0.90	3.08	0.94
LIM	SS = -0.075.Tmax _{SEP} -0.001.EXC _{FEB} +0.004.STO _{SEP} +5.003	0.0003	0.91	0.95	1.10	0.99
MAT	SS = 0.062.T _{SEP} +0.036.Tmin _{MAY} -0.099.Tmax _{DEC} +4.163	0.047	2.01	0.63	3.11	0.78
AUGUST						
BAU	SS = 0.145.Tmax _{AUG} +0.001.P _{JUL} +0.002.P _{OCT} -2.332	0.016	1.24	0.91	1.10	0.89
BEB	SS = -0.093.Tmin _{APR} -0.085.Tmax _{JUL} -0.005.P _{APR} +7.203	0.002	0.80	0.94	5.73	0.68
LIM	SS = 0.003.P _{MAY} +0.005.P _{SEP} -0.238.RET _{AUG} +2.468	0.003	1.32	0.88	0.50	0.99
MAT	SS = 0.291.Tmax _{MAY} -0.005.DEF _{OCT} +0.001.EXC _{FEB} -6.034	0.008	1.51	0.83	1.67	0.87
SEPTEMBER						
BAU	SS = -0.129.Tmax _{APR} -0.067.Tmax _{DEC} +0.008.DEF _{JUL} +9.095	0.008	1.14	0.94	1.83	0.76
BEB	SS = 0.115.T _{MAY} -0.08.Tmin _{MAR} -0.158.Tmax _{DEC} +7.40	0.032	1.59	0.77	3.71	0.78
LIM	SS = -0.087.Tmin _{FEB} -0.04.Tmin _{OCT} +0.003.P _{SEP} +4.479	0.007	1.61	0.83	2.38	0.98
MAT	SS = -0.192.Tmax _{JUL} +0.072.Tmax _{AUG} -0.006.P _{APR} +6.851	0.046	3.24	0.64	2.40	0.81
OCTOBER						
BAU	SS = 0.063.T _{OCT} -0.058.Tmin _{AUG} -0.143.Tmax _{APR} +6.253	0.000	0.24	0.99	3.20	0.91
BEB	SS = -0.109.Tmin _{AUG} -0.004.EXC _{MAR} -0.011.STO _{JUN} +4.755	0.010	1.74	0.87	4.22	0.87
LIM	SS = -0.122.T _{FEB} -0.002.P _{OCT} +0.002.EXC _{DEC} +5.873	0.004	1.31	0.87	3.10	0.95
MAT	SS = 0.483.T _{APR} -0.215.T _{OCT} +0.134.Tmax _{AUG} -7.685	0.010	3.06	0.81	3.03	0.91
NOVEMBER						
BAU	SS = 0.002.P _{DEC} -0.011.STO _{SEP} +0.938.RET _{OCT} +1.828	0.036	1.88	0.84	2.25	0.87
BEB	SS = 0.069.Tmin _{NOV} +0.119.Tmax _{JAN} -0.007.DEF _{MAY} -2.004	0.004	0.94	0.92	12.96	0.76
LIM	SS = 0.105.T _{DEC} +0.004.EXC _{DEC} +0.006.STO _{MAY} -0.347	0.007	1.76	0.83	3.58	0.91
MAT	SS = -0.237.Tmin _{AUG} +0.016.P _{MAY} +0.041.DEF _{JUN} +3.358	0.007	3.09	0.83	7.18	0.70
DECEMBER						
BAU	SS = 0.136.Tmin _{MAR} +0.122.Tmax _{MAY} -0.008.EXC _{MAR} -2.806	0.001	0.41	0.99	5.20	0.85
BEB	SS = -0.331.T _{FEB} -0.267.Tmax _{DEC} +0.003.P _{JAN} +19.449	0.029	2.32	0.78	11.36	0.78
LIM	SS = -0.10.T _{MAR} +0.003.EXC _{DEC} +0.01.STO _{AUG} +4.575	0.004	1.96	0.87	1.73	0.99
MAT	SS = -0.239.T _{NOV} +0.096.Tmax _{MAR} -0.009.P _{JUN} +5.512	0.035	3.46	0.68	12.54	0.75

Para o $KGSS_{APR}$, BAU apresentou o melhor modelo entre os locais, com $MAPE = 1,80\%$, $R^2_{adj} = 0,80$ e $\text{valor-p} = 0,039$ nos testes. Considerando um valor médio de $1,73 \text{ kg de SS caixa}^{-1}$ na região, o $MAPE$ de $1,80\%$ representa um erro na previsão do modelo de aproximadamente $0,03 \text{ kg de SS caixa}^{-1}$. A variável de maior influência neste modelo foi a $TMAX$ durante a formação das gemas (abril). Os modelos para BEB, LIM e MAT foram satisfatórios, com destaque para a influência da $TMAX$ no crescimento dos frutos (novembro) e na formação das gemas (abril) em BEB e LIM, respectivamente. Em MAT, a evapotranspiração relativa (RET) no começo da formação das gemas (abril) foi a variável mais influente no modelo de $KGSS_{APR}$ que apresenta acurácia de $2,31\%$, precisão de $0,93$ e valor-p de $0,0004$ nos testes.

Os testes para os modelos de previsão de $ACIDEZ$ para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o $MAPE$ mínimo foi de $2,14\%$ na previsão de abril em LIM e máximo de $17,79\%$ na previsão de novembro em BEB. À medida que as previsões são mais próximas do final do ano de produção (fim do ciclo) houve redução na acurácia dos modelos, por usar apenas variáveis independentes do ano de desenvolvimento, maximizando as previsões. A antecipação mínima para $ACIDEZ$ foi de quatro meses para as locais de MAT e BEB. A acidez junto com o rendimento de suco e o $KGSS$ são os fatores que determinam a qualidade dos frutos de laranja (URIBE-BUSTAMENTE et al., 2013).

As T e $TMAX$ no primeiro semestre foram as variáveis mais frequentes nos modelos de $ACIDEZ$ (Tabela 5) em BEB (T), LIM e MAT, respectivamente. Em BAU a RET foi a variável mais frequente nos modelos, porém referente ao segundo semestre. Para previsão da $ACIDEZ_{APR}$ em LIM e MAT as T do repouso vegetativo (julho) e da formação das gemas (maio) foram as variáveis mais influentes, respectivamente. Em BEB e BAU a $TMAX$ e RET na formação das gemas (maio e junho) foram as variáveis mais predominantes na acidez de $VACR$.

O modelo mais acurado para $ACIDEZ_{APR}$ foi o de LIM com $MAPE = 2,14\%$, $R^2_{adj} = 0,93$ e $\text{valor-p} = 0,028$. Para o valor de acidez médio da região de $2,50\%$, a acurácia, em porcentagem, representa um erro na previsão do modelo erra em $0,053\%$.

Tabela 5. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de acidez para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

	ACIDEZ (A)	p-value	Calibration		Test	
			MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL						
BAU	A = 0.004.P _{APR} +0.001.EXC _{JAN} -0.515.RET _{JUN} +2.436	0.047	2.53	0.81	2.41	0.61
BEB	A = 0.238.Tmax _{MAR} +0.001.EXC _{MAR} -0.007.STO _{OCT} -5.594	0.035	3.76	0.75	3.07	0.62
LIM	A = -0.331.T _{JUL} -0.038.Tmin _{MAY} -0.259.RET _{JUL} +8.946	0.028	3.23	0.71	2.14	0.93
MAT	A = 0.373.T _{MAY} -0.368.T _{NOV} +0.181.Tmax _{OCT} -2.540	0.040	8.49	0.66	10.35	0.92
MAY						
BAU	A = 0.046.Tmin _{NOV} -0.003.P _{SEP} +0.022.DEF _{JUL} +1.591	0.009	1.71	0.94	4.52	0.95
BEB	A = 0.104.T _{APR} -0.084.Tmin _{DEC} +0.01.DEF _{JUL} +0.685	0.038	2.68	0.74	5.11	0.94
LIM	A = 0.075.Tmin _{JUN} +0.117.Tmax _{SEP} +0.005.P _{AUG} -2.447	0.003	2.57	0.89	12.53	0.47
MAT	A = 0.263.T _{JUN} +0.003.P _{FEB} +0.005.STO _{APR} -3.775	0.007	3.67	0.84	4.44	0.88
JUNE						
BAU	A = -0.173.T _{SEP} +0.003.DEF _{OCT} -0.002.EXC _{DEC} +5.511	0.037	2.59	0.84	5.48	0.88
BEB	A = 0.073.Tmin _{APR} +0.034.Tmin _{JUL} -0.005.STO _{JUL} +0.573	0.031	3.18	0.77	3.61	0.94
LIM	A = -0.087.T _{FEB} -0.122.T _{SEP} +0.094.Tmax _{DEC} +3.316	0.035	3.95	0.68	6.02	0.41
MAT	A = 0.006.STO _{APR} -0.007.STO _{AUG} -0.349.RET _{OCT} +1.973	0.046	3.14	0.64	4.03	0.89
JULY						
BAU	A = -0.150.Tmax _{MAR} +0.045.Tmax _{JUN} -0.004.STO _{MAY} +5.648	0.009	1.92	0.94	4.13	0.89
BEB	A = 0.148.T _{AUG} +0.045.Tmin _{JUL} -0.06.Tmax _{MAR} -0.138	0.020	2.35	0.82	5.47	0.88
LIM	A = 0.054.T _{JUN} -0.098.Tmax _{FEB} +0.002.P _{APR} +3.683	0.027	3.01	0.71	6.08	0.70
MAT	A = 0.156.Tmin _{APR} -0.130.Tmax _{FEB} +0.164.Tmax _{AUG} -1.65	0.025	4.52	0.72	7.43	0.87
AUGUST						
BAU	A = -0.052.T _{FEB} -0.004.STO _{JUL} +0.491.RET _{NOV} +2.453	0.003	0.82	0.97	2.77	0.77
BEB	A = 0.029.Tmin _{JUL} -0.078.Tmax _{JUN} +0.010.DEF _{JUN} +3.246	0.026	2.80	0.79	5.66	0.87
LIM	A = -0.097.T _{JUL} -0.124.Tmax _{FEB} -0.001.P _{JUL} +7.361	0.045	3.63	0.64	5.96	0.49
MAT	A = 0.096.T _{JUN} +0.002.EXC _{FEB} +0.006.STO _{APR} -0.972	0.025	4.72	0.72	9.90	0.79
SEPTEMBER						
BAU	A = -0.029.T _{FEB} -0.088.T _{SEP} +0.004.DEF _{APR} +3.70	0.003	1.01	0.97	2.52	0.89
BEB	A = -0.062.Tmax _{SEP} -0.007.P _{JUL} +0.006.DEF _{SEP} +3.27	0.014	2.37	0.85	6.20	0.93
LIM	A = -0.197.T _{FEB} +0.031.Tmin _{FEB} +0.061.Tmax _{OCT} +3.343	0.049	4.75	0.63	4.13	0.61
MAT	A = -0.179.T _{FEB} +0.078.Tmin _{APR} +0.089.Tmax _{AUG} +1.653	0.004	2.89	0.87	10.66	0.92
OCTOBER						
BAU	A = -0.089.Tmax _{MAR} -1.112.RET _{APR} -0.525.RET _{NOV} +5.493	0.006	1.76	0.96	2.52	0.77
BEB	A = -0.058.T _{MAR} -0.147.Tmax _{MAY} -0.006.STO _{AUG} +7.086	0.046	4.94	0.72	12.87	0.78
LIM	A = 0.130.T _{MAY} +0.034.T _{AUG} -0.004.STO _{SEP} -1.968	0.009	3.30	0.81	5.50	0.49
MAT	A = -0.208.T _{JAN} +0.255.T _{AUG} +0.076.Tmax _{AUG} -1.935	0.035	5.96	0.67	5.88	0.99
NOVEMBER						
BAU	A = 0.103.Tmax _{JUL} -0.054.Tmax _{DEC} +0.001.P _{JUN} -0.347	0.011	2.14	0.93	4.68	0.92
BEB	A = -0.053.Tmin _{FEB} -0.102.Tmax _{MAY} -0.005.STO _{AUG} +4.942	0.046	3.92	0.72	17.79	0.46
LIM	A = -0.077.T _{FEB} +0.064.T _{DEC} +0.022.Tmin _{JUN} +1.066	0.005	2.52	0.86	3.51	0.99
MAT	A = 0.050.Tmin _{APR} +0.074.Tmax _{AUG} -0.001.EXC _{DEC} -2.254	0.019	4.46	0.75	12.66	0.72
DECEMBER						
BAU	A = -0.071.Tmin _{SEP} +0.002.P _{JUL} +0.005.DEF _{NOV} +1.178	0.050	4.24	0.81	4.82	0.75
BEB	A = -0.003.P _{SEP} -0.001.EXC _{JAN} -0.002.EXC _{MAR} +0.968	0.006	3.08	0.90	9.98	0.99
LIM	A = -0.041.T _{FEB} +0.027.Tmin _{JUN} -0.001.P _{JUN} +1.577	0.019	4.91	0.75	6.00	0.59
MAT	A = -0.095.Tmin _{FEB} +0.004.STO _{APR} -0.006.STO _{AUG} +2.198	0.036	8.32	0.67	15.79	0.66

Os testes para os modelos de previsão de BRIX para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 0,64% na previsão de junho em LIM e máximo de 12,10% na previsão de novembro em BEB. A antecipação mínima para BRIX foi de quatro meses para os locais de BEB e MAT. Os graus brix referem-se à quantidade de açúcar presente no suco, sendo uma medida muito usada para realizar a blendagem de sucos de diferentes variedades de laranja a fim de se conseguir o brix desejado, de acordo com a designação do produto.

Os modelos agrometeorológicos de previsão de BRIX (Tabela 6) foram satisfatórios, sendo T, TMAX e TMIN as variáveis mais frequentes dentre os modelos de todos os meses, em BEB, LIM e MAT, respectivamente. As temperaturas do primeiro semestre foram mais frequentes nos modelos. Para BAU, a TMAX foi a variável mais presente nos modelos, porém referente ao segundo semestre.

O modelo de previsão de $BRIX_{APR}$ mais acurado foi o da região de MAT com MAPE = 1,38% e R^2 adj = 0,76, nos testes, com valor-p = 0,007. Este MAPE representa um erro na previsão do modelo de 0,16°, considerando o valor de brix médio na região de 11,29°. A TMIN durante a florada (agosto) foi a variável com maior influência neste modelo, evidenciando, mais uma vez, que esta fase fenológica é uma das mais decisivas na qualidade dos frutos de VACR.

Os testes para os modelos de previsão de %SUCO para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 0,41% na previsão de outubro em MAT e máximo de 10,20% na previsão de maio em BAU. A antecipação mínima para %SUCO foi de três meses para região de BEB.

A %SUCO (Tabela 7) está entre a qualidade e a produtividade, pois quanto mais suco, mais produtivo será o fruto. Os modelos desenvolvidos para %SUCO tiveram maior influência da temperatura em BEB, LIM e MAT, sendo a TMAX para os dois primeiros e T para MAT. Em BAU, a variável mais influente foi a RET. O primeiro semestre do ano de desenvolvimento apresentou a maior parte das variáveis nos modelos de previsão de %JSUCO nos locais.

Tabela 6. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de °BRIX para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

BRIX (B)	p-value	Calibration		Test	
		MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL					
BAU B = 0.091.T _{SEP} -0.041.T _{min} _{OCT} -0.2.T _{max} _{MAR} +13.649	0.003	0.21	0.97	2.74	0.90
BEB B = 0.33.T _{JAN} -0.378T _{MAR} +0.003 _{FEB} +9.367	0.033	1.17	0.76	1.45	0.85
LIM B = -0.001.P _{JAN} -0.005.STO _{APR} +9.189	0.044	1.49	0.53	4.41	0.99
MAT B = -0.155.T _{JUL} -0.008.STO _{JUL} +0.007.STO _{NOV} +12.078	0.007	0.84	0.83	1.38	0.76
MAY					
BAU B = 0.027.T _{min} _{JUN} +0.002.P _{FEB} -0.003.P _{JUL} +8.716	0.005	0.36	0.96	1.04	0.88
BEB B = 0.335.T _{JAN} -0.084.T _{min} _{NOV} +0.003.P _{DEC} +1.699	0.005	0.87	0.91	0.86	0.97
LIM B = 0.005.P _{SEP} +0.017.DEF _{APR} +0.011.STO _{JUN} +8.101	0.006	0.92	0.84	1.59	0.82
MAT B = 0.036.DEF _{APR} -0.021.DEF _{OCT} -0.014.STO _{OCT} +9.793	0.001	0.71	0.94	2.62	0.77
JUNE					
BAU B = 0.745.T _{JUN} -0.584.T _{max} _{APR} +0.01.EXC _{MAR} +15.111	0.007	0.71	0.95	1.95	0.87
BEB B = 0.182.T _{max} _{JAN} +0.253.T _{max} _{MAY} +0.003.P _{DEC} -4.672	0.007	0.82	0.90	1.02	0.98
LIM B = -0.005.P _{FEB} +0.005EXC _{DEC} +1.084.RET _{AUG} +9.595	0.007	1.09	0.83	0.64	0.98
MAT B = -0.186.T _{OCT} +0.237.T _{min} _{MAY} +0.04.DEF _{APR} +12.304	0.004	1.27	0.87	2.14	0.79
JULY					
BAU B = -0.386.T _{FEB} +0.471.T _{max} _{AUG} -0.245.T _{max} _{SEP} +13.139	0.001	0.59	0.98	1.05	0.91
BEB B = 0.132.T _{min} _{SEP} +0.007.P _{DEC} -0.014.STO _{JUN} +8.523	0.008	1.01	0.89	2.03	0.84
LIM B = -0.246.T _{max} _{SEP} -0.004.EXC _{FEB} +0.012.STO _{SEP} +18.737	0.001	0.98	0.93	1.32	0.99
MAT B = 0.152.T _{min} _{MAY} +0.191.T _{max} _{AUG} -3.578.RET _{APR} +6.262	0.009	1.60	0.81	2.82	0.94
AUGUST					
BAU B = 0.442.T _{max} _{AUG} -0.003.P _{APR} +0.004.P _{OCT} -3.533	0.040	1.51	0.83	0.99	0.81
BEB B = -0.872.T _{FEB} -0.312.T _{min} _{AUG} -0.028.P _{APR} +38.829	0.033	2.32	0.76	1.69	0.99
LIM B = -0.390.T _{FEB} +0.011.P _{SEP} +0.005.DEF _{JUN} +20.041	0.003	1.03	0.89	1.07	0.93
MAT B = -0.307.T _{min} _{FEB} +0.696.T _{max} _{MAY} -0.016.STO _{JUL} -3.519	0.004	1.51	0.86	3.83	0.97
SEPTEMBER					
BAU B = -0.294.T _{max} _{APR} +0.248.T _{max} _{AUG} -0.152.T _{max} _{DEC} +17.800	0.023	1.26	0.88	1.61	0.81
BEB B = -0.382.T _{max} _{JUN} +0.482.T _{max} _{AUG} -4.815.RET _{APR} +11.942	0.002	0.82	0.94	2.49	0.91
LIM B = -0.342.T _{min} _{FEB} +0.009.P _{SEP} -0.004.P _{OCT} +16.995	0.003	1.49	0.89	1.46	0.92
MAT B = -0.75.T _{max} _{JUL} +0.363.T _{max} _{AUG} -0.027.P _{APR} +25.165	0.007	1.78	0.84	2.24	0.80
OCTOBER					
BAU B = -0.294.T _{max} _{APR} +0.464.T _{max} _{AUG} -0.009.STO _{MAY} +6.392	0.011	1.42	0.93	2.14	0.82
BEB B = 0.915.T _{max} _{JAN} -0.014.P _{FEB} -4.31.RET _{APR} -12.076	0.014	1.92	0.85	2.34	0.95
LIM B = -0.516.T _{FEB} +0.465.T _{MAY} -0.194.T _{min} _{APR} +17.813	0.046	2.23	0.64	3.44	0.96
MAT B = -0.699.T _{min} _{AUG} +0.054.P _{MAY} +0.139.DEF _{JUN} +13.022	0.031	3.40	0.69	3.33	0.95
NOVEMBER					
BAU B = 0.574.T _{JAN} -0.58.T _{MAY} -0.583.T _{max} _{DEC} +27.47	0.041	2.18	0.83	2.27	0.86
BEB B = -0.583.T _{MAY} -0.402.T _{max} _{SEP} -0.016.P _{JUN} +39.948	0.037	1.37	0.75	12.10	0.61
LIM B = -0.198.T _{min} _{JAN} +0.201.T _{min} _{MAY} -0.229.T _{max} _{OCT} +21.698	0.009	1.55	0.82	2.44	0.93
MAT B = -0.775.T _{min} _{AUG} +0.058.P _{MAY} +0.15.DEF _{JUN} +13.39	0.007	2.54	0.83	3.49	0.84
DECEMBER					
BAU B = -0.194.T _{min} _{NOV} +0.386.T _{min} _{DEC} -0.374.T _{max} _{DEC} +19.995	0.003	0.90	0.97	2.98	0.93
BEB B = -1.297.T _{FEB} -1.11.T _{max} _{DEC} +0.008.P _{JAN} +80.413	0.003	0.99	0.94	10.42	0.59
LIM B = 0.231.T _{min} _{MAR} -0.303.T _{max} _{OCT} +0.03.STO _{AUG} +17.819	0.007	1.64	0.83	2.81	0.99
MAT B = 1.688.T _{min} _{APR} -0.578.T _{min} _{JUN} +1.351.T _{max} _{AUG} -52.002	0.040	3.13	0.66	4.68	0.91

Tabela 7. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de porcentagem de suco (%SUCO) para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

% SUCO (S)	p-value	Calibration		Test	
		MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL					
BAU S = 0.0005.P _{OCT} -0.371.RET _{APR} -0.071.RET _{JUL} +0.832	0.008	1.69	0.94	3.04	0.82
BEB S = 0.010.Tmin _{JUL} -0.020.Tmax _{FEB} +0.001.EXC _{DEC} +1.065	0.025	2.12	0.79	3.21	0.98
LIM S = 0.012.Tmin _{MAR} +0.013.Tmin _{JUL} +0.002.DEF _{MAY} +0.236	0.006	2.52	0.85	1.60	0.91
MAT S = -0.031.T _{FEB} -0.039.T _{JUN} +0.001.DEF _{APR} +2.025	0.018	3.01	0.75	2.57	0.98
MAY					
BAU S = -0.005.Tmin _{JUN} +0.002.DEF _{MAY} +0.001.STO _{OCT} +0.530	0.056	1.29	0.79	10.20	0.58
BEB S = 0.008.T _{SEP} +0.014.Tmax _{FEB} +0.0002.P _{JAN} -0.180	0.009	1.05	0.88	1.66	0.93
LIM S = -0.014.Tmax _{JUN} -0.007.Tmax _{AUG} +0.0002.P _{SEP} +1.155	0.039	1.29	0.66	1.89	0.89
MAT S = -0.008.Tmin _{JUN} +0.014.Tmax _{FEB} +0.001.P _{MAY} +0.088	0.004	1.45	0.87	2.58	0.98
JUNE					
BAU S = -0.019.Tmax _{JAN} -0.0003.P _{JUL} +0.0001.P _{DEC} +1.233	0.041	0.92	0.83	0.54	0.96
BEB S = 0.012.Tmax _{AUG} -0.001.DEF _{AUG} +0.001.STO _{JUL} +0.169	0.046	1.51	0.72	1.18	0.89
LIM S = -0.004.Tmin _{DEC} +0.0004.P _{SEP} +0.0002.STO _{JUL} +0.599	0.036	1.13	0.67	0.59	0.88
MAT S = -0.010.Tmax _{OCT} +0.0003.P _{MAY} +0.040.RET _{SEP} +0.881	0.010	1.18	0.81	0.73	0.96
JULY					
BAU S = 0.005.T _{MAY} -0.007.Tmin _{JAN} -0.002.Tmin _{AUG} +0.629	0.006	0.21	0.95	0.82	0.95
BEB S = 0.017.T _{JUN} -0.001.DEF _{OCT} +0.001.STO _{SEP} +0.226	0.049	1.40	0.71	1.44	0.84
LIM S = -0.006.Tmin _{MAR} -0.010.Tmax _{DEC} +0.0004.STO _{SEP} +0.997	0.016	0.82	0.76	0.61	0.96
MAT S = -0.014.T _{JUN} +0.0003.STO _{JUN} +0.0003.STO _{NOV} +0.819	0.008	1.04	0.83	0.66	0.92
AUGUST					
BAU S = 0.004.Tmin _{MAY} -0.012.Tmin _{JUL} -0.0002.STO _{NOV} +0.649	0.028	0.45	0.87	0.78	0.81
BEB S = 0.012.Tmax _{JUN} +0.0002.EXC _{DEC} +0.001.STO _{MAY} +0.154	0.026	1.23	0.79	1.39	0.86
LIM S = 0.011.Tmax _{FEB} -0.0001.P _{MAR} +0.0003.EXC _{DEC} +0.242	0.004	0.59	0.87	0.79	0.86
MAT S = 0.018.T _{SEP} -0.0001.P _{FEB} +0.0005.STO _{OCT} +0.189	0.039	2.09	0.66	0.92	0.81
SEPTEMBER					
BAU S = -0.008.T _{OCT} -0.005.Tmin _{SEP} +0.006.Tmin _{DEC} +0.723	0.027	0.56	0.87	0.95	0.83
BEB S = 0.0001.EXC _{JAN} -0.0003.EXC _{DEC} +0.0009.STO _{OCT} +0.575	0.002	0.44	0.95	0.72	0.99
LIM S = -0.022.T _{APR} +0.003.Tmin _{MAY} +0.0001.EXC _{FEB} +1.058	0.010	0.68	0.81	0.81	0.90
MAT S = 0.006.Tmax _{SEP} -0.010.Tmax _{OCT} +0.0002.STO _{JUN} +0.719	0.006	0.89	0.84	0.51	0.83
OCTOBER					
BAU S = -0.012.T _{APR} -0.014.Tmin _{JUL} -0.073.RET _{APR} +1.010	0.017	0.38	0.91	0.67	0.95
BEB S = 0.003.Tmin _{JUN} +0.001.STO _{OCT} -0.0005.STO _{NOV} +0.561	0.012	0.77	0.86	1.04	0.96
LIM S = 0.004.Tmin _{JUL} +0.015.Tmax _{JAN} -0.0003.P _{MAR} +0.133	0.009	0.94	0.82	2.29	0.98
MAT S = 0.003.Tmin _{SEP} -0.007.Tmin _{NOV} +0.0004.STO _{OCT} +0.627	0.005	1.28	0.86	0.41	0.95
NOVEMBER					
BAU S = 0.005.T _{AUG} -0.018.Tmax _{MAR} -0.009.Tmax _{DEC} +1.417	0.041	0.94	0.83	0.84	0.89
BEB S = 0.005.Tmax _{SEP} +0.006.Tmax _{OCT} +0.001.STO _{AUG} +0.166	0.004	0.48	0.92	2.13	0.89
LIM S = -0.004.Tmin _{JAN} -0.0002.EXC _{FEB} +0.093.RET _{OCT} +0.585	0.021	1.33	0.74	0.77	0.99
MAT S = 0.010.T _{SEP} +0.005.Tmax _{JAN} +0.0003.EXC _{MAR} +0.147	0.041	1.27	0.65	2.15	0.76
DECEMBER					
BAU S = 0.0003.DEF _{JUN} -0.0004.STO _{JUL} +0.116.RET _{APR} +0.507	0.046	0.57	0.82	0.51	0.98
BEB S = -0.012.T _{JUL} +0.0003.P _{JAN} +0.0001.P _{DEC} +0.714	0.025	0.73	0.79	2.22	0.92
LIM S = 0.001.STO _{JUN} -0.151.RET _{MAY} +0.658	0.008	1.80	0.73	4.19	0.88
MAT S = 0.016.Tmax _{AUG} +0.001.P _{MAY} -0.0005.P _{JUN} -0.023	0.003	1.05	0.88	9.91	0.72

O melhor modelo de previsão de $\%SUCO_{APR}$ foi o da região de LIM que apresentou nos testes, MAPE e R^2 ajustado de 1,60% e 0,91, respectivamente, com valor-p = 0,006. Para um valor médio de $\%SUCO$ de 0,57 na região, o MAPE (%) representa um erro na previsão do modelo de 0,00912. As TMIN e TMAX referentes à expansão celular do fruto em dezembro são as variáveis de destaque neste modelo.

Os modelos agrometeorológicos de previsão de FRBOX desenvolvidos nesse trabalho tiveram relações mais fortes com a temperatura, porém em todos os meses há ao menos um modelo que usa dos componentes do balanço hídrico (STO, EXC e DEF) na previsão. Os testes para os modelos de previsão de FRBOX para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 0,84% na previsão de setembro em BAU e máximo de 19,52% na previsão de setembro em MAT. A antecipação mínima para FRBOX foi de quatro meses para as locais de BEB e LIM.

Em relação à $FRBOX_{APR}$ (Tabela 8), as variáveis mais influentes foram as TMAX e TMIN para BEB e T para as outras locais, sendo, para LIM e MAT, estas referentes ao primeiro semestre e para BAU o segundo semestre. Para BEB todo o ano de desenvolvimento apresenta variáveis importantes na previsão de FRBOX.

O melhor modelo foi o da região de LIM com MAPE e R^2 ajustado nos testes de 1,29% e 0,97, respectivamente, e valor-p = 0,023. Isto significa que, para uma produtividade média da região de 280,58 frutos caixa⁻¹, o MAPE de 1,29% representa um erro na previsão do modelo de 3,62 frutos caixa⁻¹. As TMAX e T das fases de formação das gemas e repouso vegetativo (junho e julho) foram as variáveis mais influentes na previsão de $FRBOX_{APR}$ na região de LIM, demonstrando que o número de frutos por caixa de VACR é dependente das fases iniciais de desenvolvimento da planta. Paulino et al. (2007) encontraram correlações significativas entre o número de frutos por planta e as TMAX e T entre os meses de abril e junho em pomares com idade entre três e cinco anos e nos meses de maio e julho em pomares com mais de seis anos.

Peso dos frutos (PFRUTO) (Tabela 9) é uma variável diretamente relacionada à FRBOX, pois quanto maior o fruto menos frutos por caixa. Os testes para os modelos de previsão de PFRUTO para todos os locais e todos os meses foram acurados, pois o MAPE mínimo foi de 1,48% na previsão de junho em BAU e máximo de 16,61% na previsão de outubro em MAT. A antecipação mínima para PFRUTO foi de quatro meses para região de LIM.

Em LIM e MAT as T, em BAU a RET e em BEB as TMAX e TMIN foram as variáveis do primeiro semestre, mais importantes nos modelos.

O melhor modelo de previsão de $PFRUTO_{APR}$ foi o da região de BAU, com MAPE e R^2 adj nos testes de 2,52% e 0,95, respectivamente, e valor-p = 0,002. Considerando a média de peso dos frutos na região de 0,16 kg, o MAPE deste modelo representa um erro na previsão de 0,004 kg. A RET nas fases de formação das gemas e repouso vegetativo (abril e julho) foi a variável mais importante no modelo de previsão de PFRUTO na região de BAU.

Os atributos de qualidade dos frutos (Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9) apresentaram maior influência das temperaturas, podendo dizer que este é o fator climático mais importante em relação à qualidade dos frutos de VACR nas locais. O segundo fator mais importante foi a RET. As plantas de citros transpiram o ano todo, sendo influenciadas pelo tipo de porta enxerto, crescimento vegetativo e fase fenológica (VELLAME et al., 2012). Paulino et al. (2007) encontraram efeito positivo da evapotranspiração de VACR na produtividade durante as fases de florescimento, frutificação e crescimento do fruto.

Os modelos mensais desenvolvidos neste trabalho tiveram bom desempenho em suas previsões. Uma análise geral para todas as localidades das performances dos modelos em comparação aos dados independentes de FRBOX, RATIO, BRIX, ACIDEZ, PFRUTO, %SUCO e KGSS com todos os meses de 2010 a 2013 (Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, respectivamente) demonstra uma elevada precisão nas previsões de FRBOX, RATIO, ACIDEZ, KGSS, pois o R^2 ajustado mínimo encontrado dentre estes atributos foi de 0,86 para KGSS. RATIO e ACIDEZ tiveram valores mínimos de R^2 ajustado acima de 0,94 e FRBOX com R^2 ajustado mínimo = 0,80.

Para BRIX o local com melhor desempenho geral foi LIM com R^2 ajustado = 0,96. Em relação a %SUCO, Bebedouro apresentou melhor desempenho e para PFRUTO foi Bauru com 0,89 e 0,79 de precisão, respectivamente.

Tabela 8. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de frutos por caixa (FRBOX) para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

FRBOX (F)	p-value	Calibration		Test	
		MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL					
BAU $F = 4.97.T_{min_{SEP}} + 4.119.T_{max_{JUN}} + 2.166.DEF_{JUL} + 186.485$	0.005	0.70	0.96	2.38	0.90
BEB $F = 5.483.T_{min_{SEP}} + 2.146.DEF_{MAY} + 94.26.RET_{OCT} + 203.71$	0.033	2.64	0.76	5.18	0.89
LIM $F = -30.219.T_{JUL} - 11.67.T_{max_{NOV}} - 0.942.STO_{APR} + 1375.923$	0.023	2.00	0.73	1.29	0.97
MAT $F = 61.826.T_{JAN} - 19.694.T_{min_{MAR}} - 14.624.T_{max_{JAN}} - 347.925$	0.006	2.33	0.85	4.06	0.97
MAY					
BAU $F = -0.204.P_{JUN} + 4.157.DEF_{JUL} + 0.60.DEF_{NOV} + 271.378$	0.015	2.74	0.91	2.94	0.87
BEB $F = -7.512.T_{min_{DEC}} + 12.541.T_{max_{AUG}} + 0.387.EXC_{FEB} - 14.254$	0.025	2.17	0.80	8.52	0.50
LIM $F = -21.293.T_{MAR} - 22.269.T_{APR} + 32.592.T_{JUN} + 729.577$	0.0004	0.99	0.95	8.90	0.48
MAT $F = 32.726.T_{APR} - 15.739.T_{max_{FEB}} + 14.929.T_{max_{AUG}} - 412.735$	0.027	3.05	0.71	1.68	0.97
JUNE					
BAU $F = -33.826.T_{SEP} + 6.289.T_{max_{AUG}} + 1.125.DEF_{JUN} + 789.071$	0.033	3.46	0.86	1.96	0.91
BEB $F = -21.703.T_{min_{FEB}} - 15.161.T_{max_{APR}} - 1.507.STO_{JUL} + 1201.989$	0.027	1.55	0.78	3.33	0.75
LIM $F = 0.873.DEF_{JUL} + 0.140.EXC_{JAN} + 28.71.RET_{OCT} + 224.261$	0.049	2.42	0.63	6.35	0.80
MAT $F = 18.157.T_{APR} - 21.632.T_{DEC} + 1.032.DEF_{JUL} + 377.587$	0.020	2.68	0.74	6.08	0.70
JULY					
BAU $F = -36.681.T_{max_{MAR}} - 405.983.RET_{APR} - 258.039.RET_{NOV} + 2117.624$	0.006	2.18	0.96	4.44	0.87
BEB $F = 4.160.T_{min_{JUN}} - 8.709.T_{max_{MAR}} - 23.884.T_{max_{DEC}} + 1343.182$	0.013	2.04	0.85	3.22	0.84
LIM $F = 12.152.T_{max_{JAN}} - 14.744.T_{max_{FEB}} - 20.168.T_{max_{JUL}} + 968.44$	0.046	1.85	0.64	2.78	0.75
MAT $F = -34.704.T_{max_{JUL}} - 0.973.P_{JUL} - 1.587.STO_{JUN} + 1443.003$	0.045	4.62	0.64	7.66	0.89
AUGUST					
BAU $F = 1.847.DEF_{APR} + 2.084.DEF_{JUL} + 232.573$	0.041	5.30	0.70	2.40	0.88
BEB $F = -8.856.T_{min_{FEB}} - 0.817.P_{JUN} + 0.366.EXC_{DEC} + 422.314$	0.033	2.84	0.76	3.76	0.83
LIM $F = 18.795.T_{JUN} + 21.193.T_{JUL} + 0.509.STO_{MAY} - 494.225$	0.048	2.42	0.63	6.73	0.46
MAT $F = 12.964.T_{min_{MAY}} - 0.720.P_{JUN} - 0.284.P_{JUL} + 185.629$	0.010	2.88	0.81	7.78	0.69
SEPTEMBER					
BAU $F = -17.937.T_{APR} - 14.087.T_{SEP} + 0.898.DEF_{APR} + 947.348$	0.003	1.18	0.97	0.84	0.97
BEB $F = 3.389.T_{max_{AUG}} - 0.561.P_{JUN} + 0.428.STO_{OCT} + 163.844$	0.026	1.13	0.79	8.68	0.92
LIM $F = 54.117.T_{APR} - 19.010.T_{min_{OCT}} + 18.637.T_{max_{JAN}} - 1348.077$	0.014	2.41	0.78	3.88	0.97
MAT $F = -14.345.T_{min_{FEB}} + 2.760.T_{min_{JUL}} + 494.262$	0.042	3.99	0.54	19.52	0.54
OCTOBER					
BAU $F = -10.745.T_{MAY} + 1.402.DEF_{JUL} - 215.866.RET_{APR} + 612.989$	0.005	1.88	0.96	1.97	0.98
BEB $F = -48.124.T_{max_{MAY}} + 14.471.T_{max_{AUG}} - 0.966.STO_{JUN} + 1284.979$	0.019	3.70	0.82	6.24	0.70
LIM $F = 10.264.T_{min_{MAY}} - 10.343.T_{min_{OCT}} + 10.322.T_{max_{MAY}} - 3.819$	0.009	2.34	0.82	6.58	0.99
MAT $F = 56.203.T_{APR} + 0.392.P_{FEB} + 1.013.STO_{APR} - 1212.05$	0.025	7.48	0.72	10.59	0.65
NOVEMBER					
BAU $F = -22.52.T_{SEP} - 6.972.T_{min_{APR}} + 2.731.DEF_{APR} + 769.865$	0.012	2.83	0.93	3.13	0.88
BEB $F = -12.683.T_{min_{FEB}} + 5.513.T_{min_{JUL}} - 1.17.STO_{JUN} + 482.179$	0.046	2.95	0.72	8.67	0.51
LIM $F = 6.388.T_{min_{JUN}} + 9.775.T_{max_{JAN}} - 12.213.T_{max_{AUG}} + 273.692$	0.027	3.28	0.71	4.51	0.81
MAT $F = 43.551.T_{MAY} - 16.646.T_{min_{NOV}} + 15.694.T_{max_{AUG}} - 949.132$	0.024	6.46	0.72	6.37	0.85
DECEMBER					
BAU $F = -31.676.T_{SEP} - 0.744.P_{MAR} + 0.275.EXC_{DEC} + 985.551$	0.004	2.00	0.96	5.88	0.71
BEB $F = -14.757.T_{max_{JUL}} + 0.442.P_{OCT} - 151.708.RET_{JUN} + 748.429$	0.046	2.94	0.72	8.96	0.69
LIM $F = 0.96.P_{JUN} + 0.765.P_{AUG} - 0.841.STO_{OCT} + 216.073$	0.047	4.85	0.63	6.73	0.85
MAT $F = 26.724.T_{JUN} + 62.866.T_{JUL} - 25.581.T_{max_{JUL}} - 759.015$	0.037	10.46	0.67	12.14	0.78

Tabela 9. Modelos agrometeorológicos mensais de previsão de peso dos frutos (WFRUIT) para o Estado de São Paulo. BAU: Bauru; BEB: Bebedouro; LIM: Limeira; MAT: Matão. Legenda: As variáveis independentes são Tmin, T e Tmax: temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C), EXC e DEF: excedente e deficiência hídrica, STO: armazenamento hídrico do solo, P: precipitação (mm) e RET: evapotranspiração relativa, relacionadas ao ano de desenvolvimento (ano 1) e a variável dependente relacionada ao ano de produção (ano 2). A calibração e os testes foram feitos com dados mensais de 2001 a 2009 e de 2010 a 2013, respectivamente.

PFRUTO (PF)	p-value	Calibration		Test	
		MAPE (%)	R ² Adj	MAPE (%)	R ² Adj
APRIL					
BAU PF = -0.002.Tmin _{SEP} -0.001.Tmax _{JUN} +0.035.RET _{JUL} +0.132	0.002	0.46	0.98	2.52	0.95
BEB PF = -0.007.Tmax _{AUG} +0.0001.DEF _{SEP} +0.0001.EXC _{MAR} +0.338	0.044	2.79	0.72	5.53	0.50
LIM PF = 0.008.T _{JUL} +0.004.Tmax _{NOV} +0.0003.STO _{APR} -0.186	0.031	1.68	0.69	2.76	0.81
MAT PF = -0.004.T _{JUN} -0.005.Tmin _{JAN} +0.0001.P _{APR} +0.283	0.023	2.86	0.73	2.82	0.93
MAY					
BAU PF = 0.004.Tmin _{AUG} +0.005.Tmax _{FEB} +0.0003.STO _{JUL} -0.082	0.035	3.21	0.85	1.92	0.96
BEB PF = 0.011.T _{JAN} -0.010.Tmax _{AUG} -0.0002.EXC _{FEB} +0.212	0.024	2.58	0.80	7.17	0.49
LIM PF = 0.011.T _{MAR} -0.009.T _{JUN} -0.00004.P _{NOV} +0.036	0.014	2.49	0.78	3.00	0.49
MAT PF = 0.011.T _{NOV} +0.010.Tmin _{FEB} -0.001.DEF _{JUL} -0.274	0.023	3.36	0.73	3.93	0.84
JUNE					
BAU PF = 0.020.T _{SEP} -0.001.Tmin _{JUN} +0.027.RET _{JUN} -0.288	0.005	1.82	0.96	1.48	0.97
BEB PF = 0.008.Tmin _{FEB} -0.0001.P _{JAN} +0.001.STO _{JUL} +0.022	0.018	1.41	0.83	3.13	0.83
LIM PF = -0.008.T _{JUN} +0.006.T _{OCT} -0.0001.P _{MAR} +0.175	0.049	2.85	0.63	3.61	0.87
MAT PF = 0.012.Tmax _{JUL} +0.0004.P _{JUL} +0.001.STO _{JUN} -0.254	0.039	3.50	0.66	6.08	0.62
JULY					
BAU PF = 0.020.Tmax _{MAR} +0.194.RET _{APR} +0.151.RET _{NOV} -0.838	0.007	2.46	0.95	3.28	0.84
BEB PF = 0.004.Tmin _{FEB} +0.0003.P _{JUN} -0.0001.EXC _{DEC} +0.093	0.026	1.98	0.79	6.34	0.95
LIM PF = -0.007.Tmax _{JAN} +0.007.Tmax _{FEB} +0.012.Tmax _{JUL} -0.222	0.022	1.49	0.73	3.11	0.90
MAT PF = 0.016.Tmax _{JUL} +0.0005.P _{JUL} +0.001.STO _{JUN} -0.396	0.034	4.04	0.68	2.65	0.92
AUGUST					
BAU PF = -0.009.Tmax _{JUL} -0.010.Tmax _{AUG} -0.0001.P _{OCT} +0.747	0.010	2.07	0.94	2.02	0.87
BEB PF = -0.012.Tmax _{APR} +0.001.P _{JUN} -0.001.STO _{OCT} +0.545	0.025	2.52	0.79	5.28	0.97
LIM PF = -0.024.T _{APR} +0.009.Tmin _{OCT} -0.011.Tmax _{JAN} +0.931	0.029	2.49	0.70	4.76	0.83
MAT PF = -0.007.Tmin _{MAY} +0.0004.P _{JUN} +0.0001.P _{NOV} +0.188	0.046	4.03	0.64	3.53	0.80
SEPTEMBER					
BAU PF = 0.015.T _{APR} +0.007.T _{SEP} -0.0001.P _{DEC} -0.285	0.002	1.03	0.98	2.25	0.88
BEB PF = -0.003.Tmax _{AUG} +0.0004.P _{JUN} -0.0002.STO _{OCT} +0.237	0.028	1.23	0.78	6.45	0.88
LIM PF = -0.033.T _{APR} +0.012.Tmin _{OCT} -0.012.Tmax _{JAN} +1.185	0.004	1.90	0.87	5.31	0.96
MAT PF = -0.021.T _{APR} +0.005.T _{OCT} -0.004.Tmax _{AUG} +0.646	0.068	4.23	0.57	9.29	0.76
OCTOBER					
BAU PF = 0.007.T _{OCT} +0.157.RET _{APR} +0.066.RET _{JUL} -0.186	0.004	1.48	0.96	2.65	0.89
BEB PF = 0.019.T _{MAY} -0.009.Tmax _{AUG} +0.005.Tmax _{SET} -0.107	0.033	3.40	0.76	7.07	0.65
LIM PF = 0.007.T _{OCT} -0.006.Tmin _{MAY} -0.001.DEF _{JUN} +0.061	0.042	2.93	0.65	3.75	0.93
MAT PF = -0.048.T _{APR} -0.013.T _{DEC} +0.009.Tmin _{OCT} +1.496	0.022	6.51	0.73	16.61	0.44
NOVEMBER					
BAU PF = -0.011.Tmax _{JUL} -0.008.Tmax _{AUG} -0.0002.P _{DEC} +0.793	0.0001	0.68	0.99	2.10	0.91
BEB PF = 0.0002.EXC _{MAR} +0.0007.STO _{AUG} +0.144	0.048	3.36	0.58	9.99	0.42
LIM PF = -0.018.T _{APR} +0.012.Tmin _{OCT} +0.001.DEF _{SEP} +0.405	0.040	3.37	0.66	6.22	0.79
MAT PF = -0.034.T _{MAY} +0.012.Tmin _{NOV} -0.012.Tmax _{AUG} +1.108	0.032	7.38	0.69	5.95	0.88
DECEMBER					
BAU PF = 0.0002.P _{MAR} -0.0002.P _{DEC} +0.087.RET _{JUL} +0.140	0.050	5.09	0.81	4.05	0.71
BEB PF = 0.001.P _{JUN} +0.0003.EXC _{MAR} -0.0001.EXC _{DEC} +0.153	0.046	3.18	0.72	4.92	0.83
LIM PF = 0.024.T _{JAN} -0.013.Tmin _{FEB} -0.017.Tmax _{JUL} +0.322	0.038	4.06	0.66	7.57	0.81
MAT PF = -0.043.T _{JUL} -0.007.Tmin _{JUN} +0.042.Tmax _{NOV} -0.349	0.024	8.57	0.72	6.64	0.89

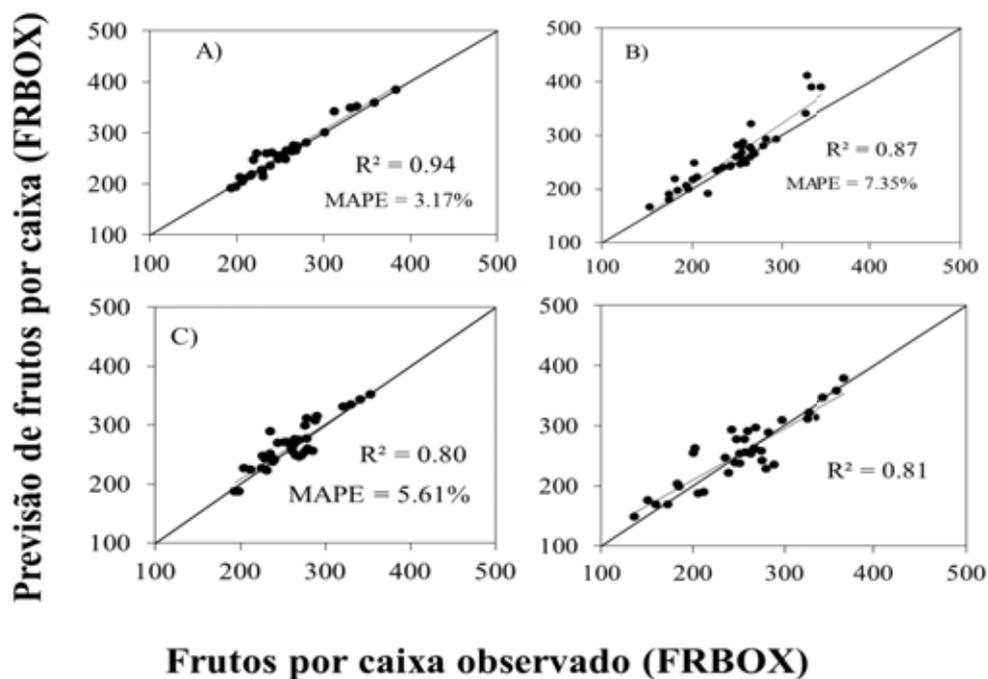


Figura 7. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de frutos por caixa (FRBOX) para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

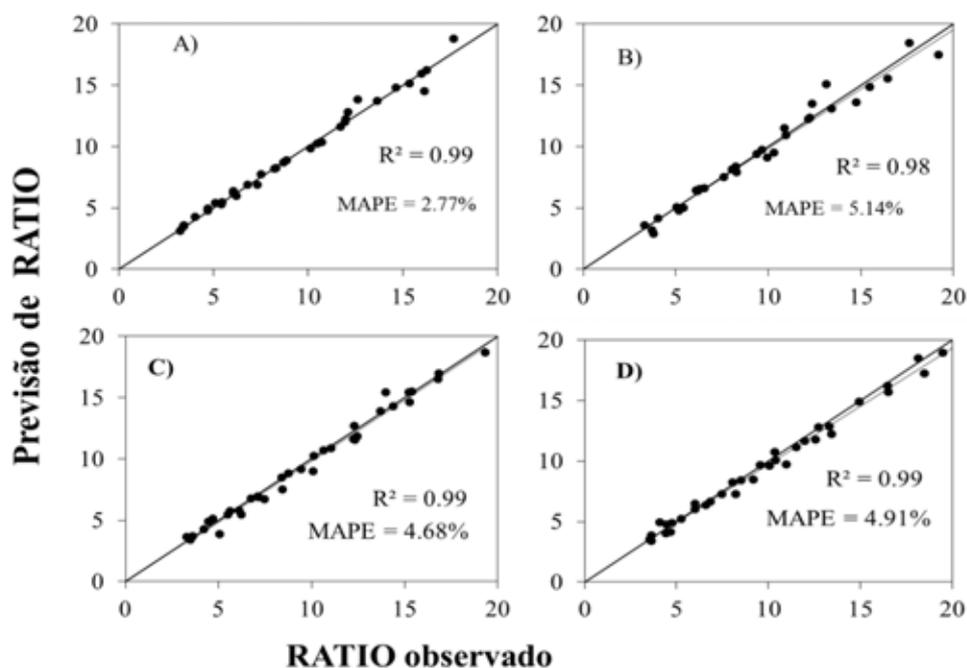


Figura 8. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de RATIO para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

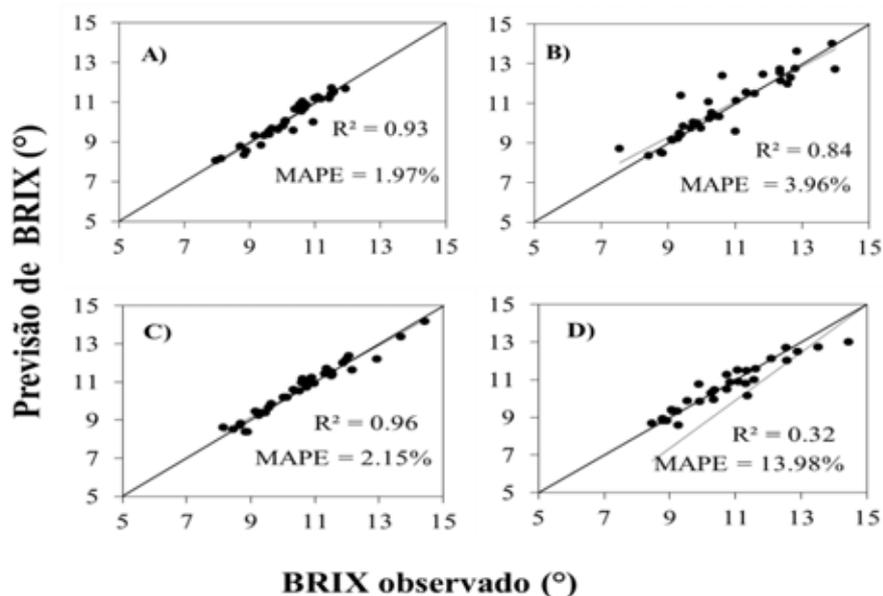


Figura 9. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de BRUX para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

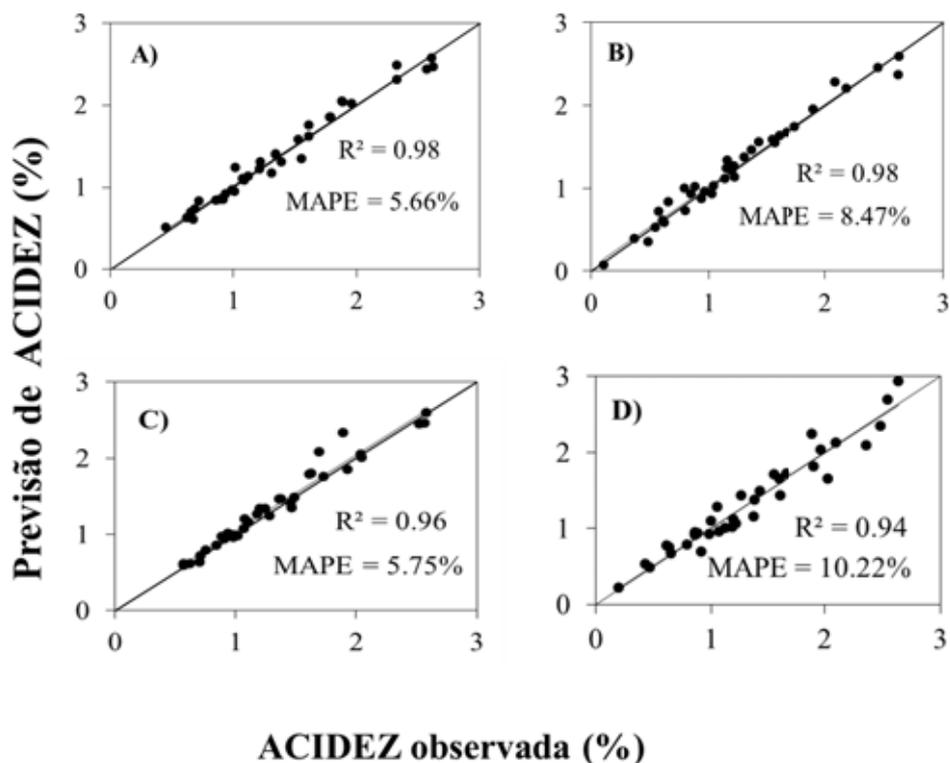


Figura 10. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de ACIDEZ para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

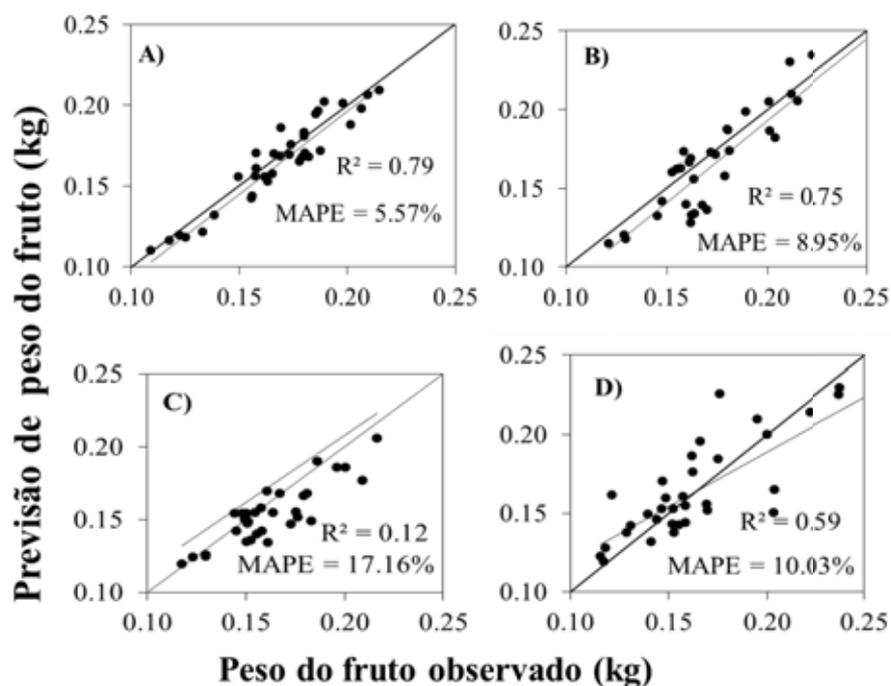


Figura 11. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de PFRUTO para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

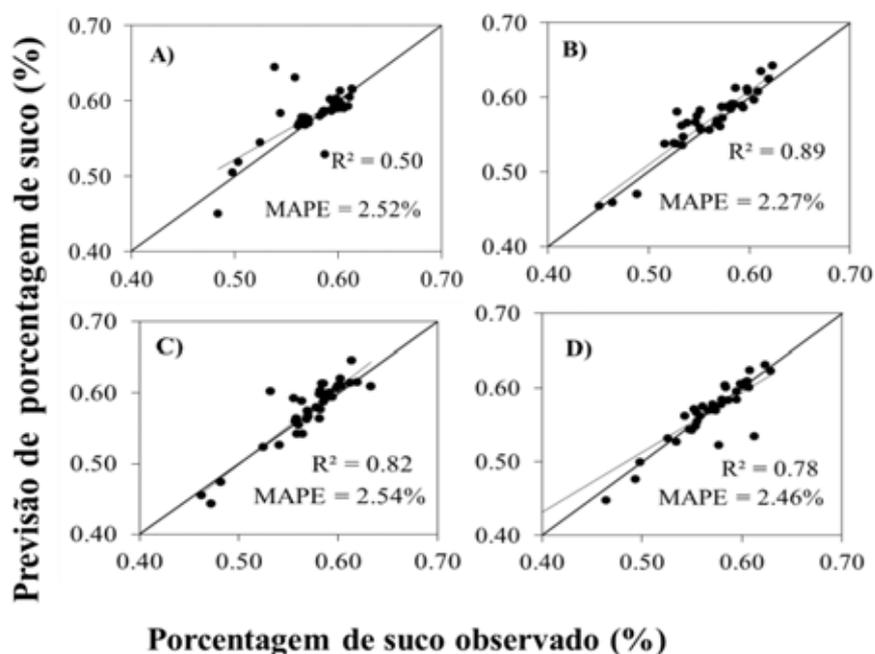


Figura 12. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de %SUCO para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

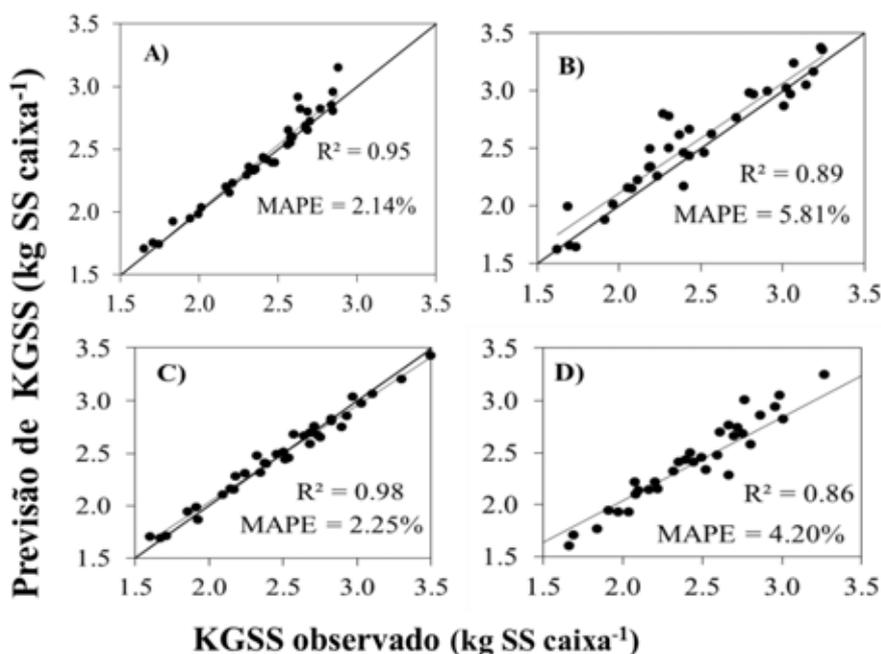


Figura 13. Análise geral da precisão das previsões mensais dos modelos de KGSS para o Estado de São Paulo com dados independentes dos anos 2010 a 2013. A) Bauru, B) Bebedouro, C) Limeira e D) Matão.

A fim de sintetizar as informações do efeito das variáveis meteorológicas nos atributos qualitativos de VACR foi feita uma análise para identificar quais são as variáveis de maior influência, de acordo com frequência e peso dos coeficientes angulares nos modelos dentre os quatro locais estudados (Figura 14). A TMAX de agosto, mês referente à fase de floração, aparece como variável mais importante e de relação direta (+) com FRBOX e BRIX. Para PFRUTO, a TMAX de agosto teve relação inversa (-). A T do mesmo mês para o RATIO e do mês de fevereiro para ACIDEZ foram as variáveis mais influentes, com relação inversa. Em relação à %SUCO e KGSS há um equilíbrio da influência das variáveis meteorológicas ao longo do ano de desenvolvimento, podendo apresentar relação direta e/ou inversa com estas variáveis de qualidade de VACR.

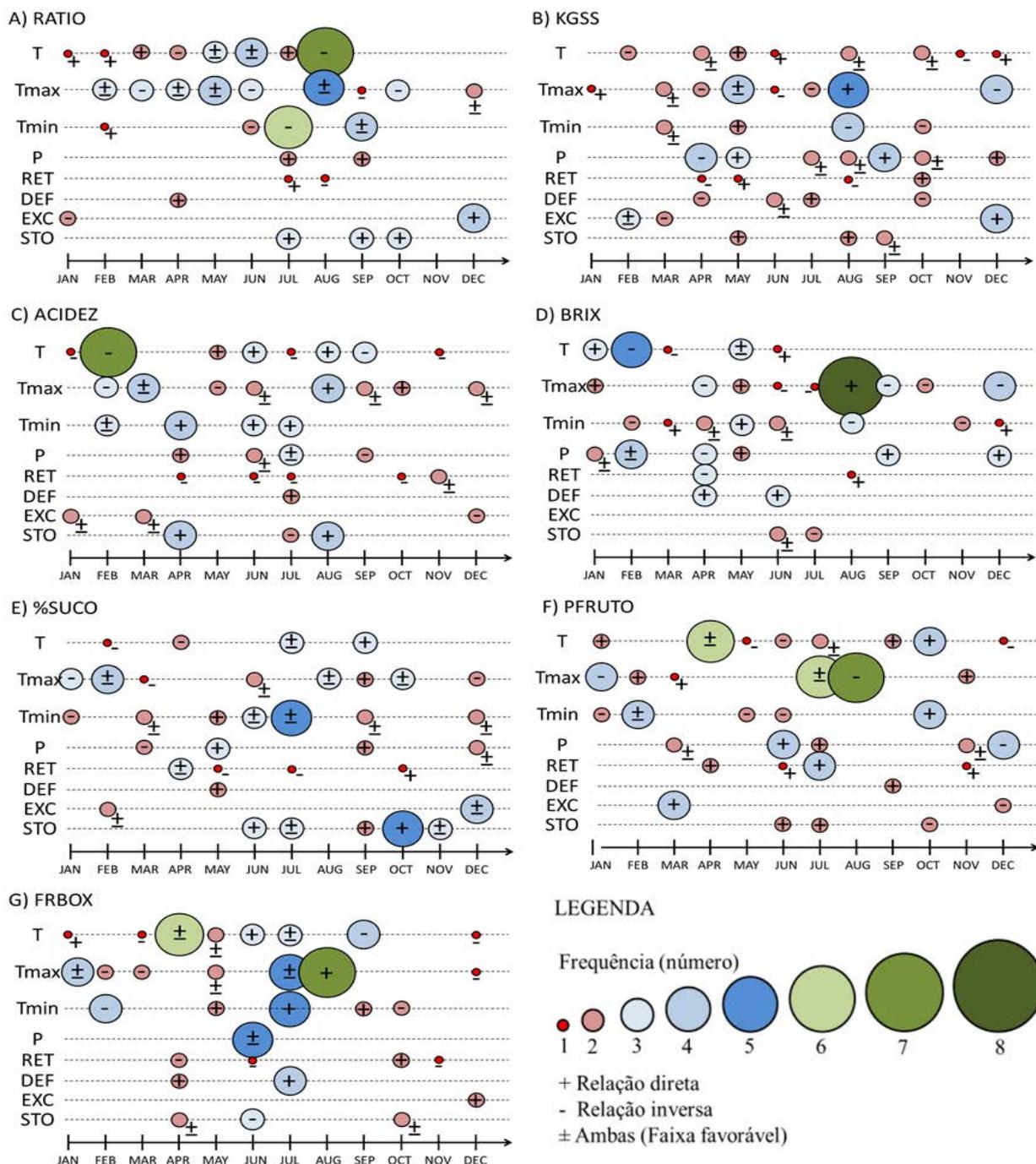


Figura 14. Resumo da influência dos elementos meteorológicos mais importantes nos atributos qualitativos de laranja 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' nas locais produtivas analisadas no Estado de São Paulo. A) RATIO, B) kg de sólidos solúveis por caixa, C) Acidez, D) Brix, E) Porcentagem de suco, F) Peso do fruto e G) Frutos por caixa. Simbologia: Os símbolos +, - e ±, indicam correlação direta, inversa e ambas, respectivamente. As diferentes áreas dos círculos indicam o número de vezes que a variável climática entrou nos modelos em cada mês para todos os locais analisados.

A DEF é o componente do balanço hídrico mais influente na qualidade e produtividade de VACR. A DEF na formação das gemas (abril) e repouso vegetativo (julho) foi mais importante nos modelos de previsão de $BRIX_{MAY}$ e $FRBOX_{APR}$ em MAT e BAU, respectivamente. Na região de BEB, a DEF não apresentou forte influência, sendo a variável de menor peso nos modelos que a utilizam. Na previsão de $FRBOX_{JUN}$ em LIM, a RET durante o crescimento do fruto (outubro) foi a variável mais influente seguida pela DEF do repouso vegetativo (julho), de acordo com os coeficientes angulares. Paulino et al. (2007), de forma semelhante, constataram que, para região de LIM, o número de frutos por planta apresentou correlação significativa com a DEF de julho a setembro do ano de desenvolvimento.

De forma geral, os quatro locais apresentaram modelos significativos. Em Bauru os melhores modelos de previsão foram de RATIO, KGSS e PFRUTO e para Limeira os melhores foram para ACIDEZ, %SUCO e FRBOX. Matão mostrou-se melhor para a previsão de BRIX. Para Bebedouro, em geral, os modelos apresentaram desempenho adequado.

Conclusão

O processo de teste de todas as combinações possíveis para a seleção de variáveis e construção dos modelos em regressões lineares múltiplas utilizadas para previsão dos atributos de qualidade de laranja 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' para os locais do estado de São Paulo foram eficientes.

Foi possível o desenvolvimento de modelos acurados para todos os meses em função das variáveis climáticas sendo que, a antecipação mínima encontrada para previsão dos atributos qualitativos mais usados pelos produtores e indústria, foi de cinco meses para RATIO, quatro meses para FRBOX e BRIX e três meses para KGSS, em relação a todos os locais analisados.

As variáveis mais importantes nos modelos foram às temperaturas mínimas, médias e máximas e a evapotranspiração relativa. A DEF é o componente do balanço hídrico mais influente nos atributos de qualidade de VACR.

Referências

BOX G. E.P.; JENKINS G. M.; REINSEL G. C. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. (4th Edition). 2008. 784p. ISBN: 978-0-470-27284-8

CABRERA V. E.; FRAISSE C. W.; LETSON D.. Impact of climate information on reducing farm risk by optimizing crop insurance strategy. **Transactions of the ASABE**. v. 49, n. 4, p. 1223–1233, 2006

CAMARGO, A.P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 28p.1971. (Boletim Técnico, 116).

CAMARGO M. B. P.; ORTOLANI A. A.; PEDRO JUNIOR M. J. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para a cultivar de laranja 'Valência'. **Bragantia**. Campinas. v. 58, p. 171-178, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051999000100016>

CASTRO P. R. C.; MARINHO C. S.; PAIVA R. Fisiologia da produção dos citros. **Informação Agropecuária**. v. 22, p. 26-38, 2001.

COELHO Y. S. Frutas cítricas importadas no mercado de Salvador. **Bahia Agrícola**. v. 5, n. 2, p. 29-33, 2002.

GRIZZOTO R. K.; SILVA J. A. A.; MIGUEL F. B. Qualidade de frutos de laranjeira Valência cultivada sob sistema tecnificado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n. 7, p. 784-789, 2012.

GUJARATI D. N.; PORTER D. C. Econometria Básica. In: **Basics Econometrics** (5ª Ed.). 872p, 2011.

HAMMER G. L.; CARBERRY P.; STONE R. Comparing the value of seasonal climate forecasting systems in managing cropping systems. In Applications of Seasonal Climate Forecasting in Agricultural and Natural Ecosystems – The Australian Experience, Hammer GI, Nicholls N Mitchell C (eds). Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Netherlands; 472p, 2000.

HANSEN J. W.; POTIGIETER A.; TIPPETT M. K. Using a general circulation model to forecast regional wheat yields in northeast Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 127, p. 77-92, 2004.

KOGAN F.; KUSSUL N.; ADAMENKO T. Winter yield forecast in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 23, p.192-203, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.01.002>

MATSUMURA K.; GAITAN C. F.; SUGIMOTO K. Maize yield forecasting by linear regression and artificial neural network in Jilin, China. **Journal of Agricultural Science**. v. 1, p. 1-12., 2014. doi: 10.1017/S0021859614000392

MATTHEIS J. P.; FELLMAN J. K. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. v.15, p. 227–232, 1999.

NEVES M. F. A laranja do campo ao copo. **São Paulo Atlas**, 2012.

NYAMDORJ N. B.; ZERIHUM A.; GIBBERD M. Berry composition and climate: responses and empirical models. **International Journal. of Biometeorology**. v. 58, p. 1207-1223, 2014. Doi: 10.1007/s00484-013-0715-2

PAULINO E. S.; MOURÃO FILHO F. A. A.; MAIA A. H. N. Agrometeorological models for 'valência' and 'hamlin' sweet oranges to estimate the number of fruits per plant. **Scientia Agricola**. v. 64, n. 1 p. 1-11, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000100001>

PEDRO JUNIOR M.; HERNANDES J. L.; BLAIN G. C. Curva de maturação e estimativa do teor de sólidos solúveis e acidez total em função de graus-dia: Uva IAC 138-22 'Máximo'. **Bragantia**. Campinas. v. 73, n. 1, p. 81-85, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2014.011>

PÉREZ-PÉREZ J. G.; ROBLES J. M.; BOTÍA P. Influence of déficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. **Agricultural Water Management**. v. 96, n. 6, p. 969-974, 2009. doi:10.1016/j.agwat.2009.01.008

PIO R. M.; FIGUEREDO J. O.; ESTUCHI E. S. Variedades Copas. In Mattos Jr D, Negri JD, Pio RM, Pompeu Jr J (Eds). In: Citros. Instituto Agronômico. 929p, 2005.

RIBEIRO V. R.; MACHADO C. E.; BRUNINI O. Ocorrência de condições ambientais para indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 28, n. 2, p. 247-253, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200021>

RUSLAN R.; EHSANI R.; LEE W. S. Quantification of total soluble solids and titratable acidity for citrus maturity using portable Vis-NIR spectroradiometer. **Applied Engineer in Agriculture**. v.28, n. 5, p. 735-74, 2012. doi: 10.13031/2013.42420

SALVO S.; MUÑOZ C.; ÁVULA J. An estimate of potential blueberry yield using regression models that relate the number of fruits to the number of flower buds and to climatic variables. **Scientia Horticultura**. v. 133, n. 6, p. 56-63, 2012. doi:10.1016/j.scienta.2011.10.020

SANTOS R. M.; NAAS I. A.; NETO M. M. An overview on the Brazilian Orange juice production chain. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 35, n. 1, p. 218-255, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000100025>

SENTELHAS P. C. Agrometeorologia dos citros. In: Mattos Junior D, De Negri JD, Pio RM, Pompeu Junior J (Org.). Citros. Campinas: IAC/FUNDAG. p. 319-344, 2005.

THORNTHWAITE C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**. v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance. **Publications in Climatology**. v. 1, 104p, 1955.

URIBE-BUSTAMANTE A.; CURTI-DIAZ S. A.; HERNÁNDEZ-GUERRA C. Calidad de naranja 'Valência' injertada em 20 portainjertos. **Revista Chapingo Serie Horticultura**. v.19, n. 1, p. 61-69, 2013. doi:10.5154/r.rchsh.2011.08.043

VELLAME L. M.; COELHO R. D.; TOLENTINO J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira 'Valência' sob poda-enxerto limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 34, n. 1, p. 24-32, 2012.

VOLPE C. A.; SCHOFFEL E. R.; BARBOSA J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis

e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, n. 2, p. 436-441, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-2945200200020003>

XU L.; ZHANG W. J. Comparison of different methods for variable selection. **Analytica Chimica Acta**. v.446, p. 477-483, 2001.

WALPOLE R. E.; MYERS R. H.; MYERS S. L.. Probability & Statistics for Engineers & Scientists. (9th Edition). 791p, 2012. ISBN: 978-0-321-62911-1