

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 19/08/2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DA
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE BEBIDA NATURAL DO
CAFEEIRO**

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido

Engenheiro Agrônomo

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DA
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE BEBIDA NATURAL DO
CAFEEIRO**

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido

Orientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Produção Vegetal)

2016

Aparecido, Lucas Eduardo de Oliveira
A639m Modelos agrometeorológicos para previsão da produtividade e
qualidade de bebida natural do cafeeiro / Lucas Eduardo de Oliveira
Aparecido. – – Jaboticabal, 2016
x, 90 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Glauco de Souza Rolim
Banca examinadora: Paulo Sergio de Souza, Jansle Vieira Rocha
Bibliografia

1. Modelagem. 2. *Coffea arabica*. 3. Agrometeorologia. 4. Clima
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 551.58:633.73

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE BEBIDA NATURAL DO CAFEEIRO.

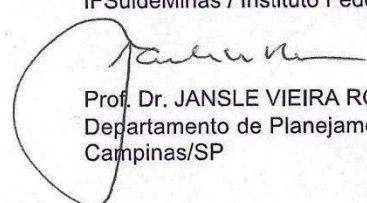
AUTOR: LUCAS EDUARDO DE OLIVEIRA APARECIDO

ORIENTADOR: 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 / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. PAULO SERGIO DE SOUZA
IFSuldeMinas / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Muzambinho/MG


Prof. Dr. JANSLE VIEIRA ROCHA
Departamento de Planejamento da Produção Agropecuária / Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP - Campinas/SP

Jaboticabal, 19 de fevereiro de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS EDUARDO DE OLIVEIRA APARECIDO – Nascido em 08 de junho de 1992, no município de Nova Resende, Estado de Minas Gerais, Brasil. Ingressou no curso Técnico em Agropecuária no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Muzambinho, em fevereiro de 2007. No mesmo Campus, em fevereiro de 2010, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica. Durante a graduação participou do Grupo de Pesquisa em Fruticultura, no período de 2010 a 2013. Foi bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), na modalidade de iniciação científica no período de 2011 a 2012. No ano de 2012, estagiou na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) – Campo Experimental de Caldas e na Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, no Campus de Jaboticabal, no ano de 2013. Em fevereiro de 2014, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Iniciou o curso de pós-graduação *Stricto sensu* na modalidade Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) em março de 2014, na Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, no Campus de Jaboticabal, no Departamento de Ciências Exatas sob a orientação do Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, atuando em pesquisas na área de Agrometeorologia e Modelagem.

“Se soubéssemos o que era aquilo que estávamos fazendo, não seria chamado de
pesquisa”

Einstein, A.

DEDICO

A Deus, o grande doutor da vida.

A minha esposa, Adriana Ferreira de Moraes Oliveira, companheira para todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, pela oportunidade concedida para a realização do Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).

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.

Ao professor Dr. Glauco de Souza Rolim, pela orientação, confiança, incentivo e parceria ao longo dos anos de pós-graduação. Sua orientação durante esta caminhada foi determinante para minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de recurso financeiro e bolsa para a realização desta pesquisa, Processo nº 2014/05025-4.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé (COOXUPÉ), em especial ao Engenheiro Agrônomo, Éder Ribeiro dos Santos, por toda confiança depositada na realização deste trabalho, além da parceria construída, visando unir os conhecimentos acadêmicos ao empresarial.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Campus Muzambinho, em especial ao Laboratório de Fruticultura e Agrometeorologia.

A minha esposa Adriana Ferreira de Moraes Oliveira, acima de tudo uma grande companheira.

Aos grandes amigos, prof. Dr. Paulo Sergio de Souza e Gentil Luiz Miguel Filho, por todo apoio e ensinamento durante a realização do curso técnico em agropecuária, graduação e pós-graduação.

Aos meus pais, José Antônio Aparecido e Maria Regina de Oliveira Aparecido, e irmão, Renan Gabriel de Oliveira Aparecido pelo apoio, confiança investidos em minha formação.

Aos pais de minha esposa, Lourenço Afonso de Moraes e Terez a Galdina de Moraes, que sempre me ajudaram e apoiaram na minha formação pessoal e profissional.

Ao Alexson Filgueiras Dutra, grande amigo, por todo apoio e companheirismo durante os anos de pós-graduação.

Ao Departamento de Ciências Exatas, principalmente a Zezé, Shirley e Adriana, aos professores e colegas que de alguma forma ajudaram a enxergar de forma diferente algum problema no decorrer do curso.

Enfim, agradeço a todos, professores, amigos e conhecidos que em algum momento da vida contribuí para minha formação, tanto no curso técnico, como na graduação e na elaboração deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

Resumo	ii
Abstract.	iii
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	
Introdução.	1
Revisão de Literatura	2
CAPÍTULO 2 - Forecasting annual yield of <i>Coffea arabica</i> L. using monthly water deficiency	
Introduction.....	18
Material and Methods	20
Results and Discussion	24
Conclusion.....	34
References.....	34
CAPÍTULO 3 – Agrometeorological models for forecasting <i>Coffea arabica</i> yield	
Introduction.....	40
Material and Methods	42
Results and Discussion	46
Conclusion.....	57
References.....	57
CAPÍTULO 4 – Climate and natural quality of coffee drink	
Introduction	63
Material and Methods	65
Results and Discussion	72
Conclusions	84
References.....	85

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE BEBIDA NATURAL DO CAFEEIRO

RESUMO – A previsão da produtividade dos cultivos, através de modelos agrometeorológicos, são técnicas estratégicas robustas para a realização do planejamento, uma vez que o conhecimento prévio das safras agrícolas facilitam as tomadas de decisões. A previsão em modelagem, diferentemente de estimação, é determinar a partir de dados atuais uma condição futura, como por exemplo a produtividade e a qualidade de produtos agrícolas. Objetivou-se desenvolver e ajustar modelos agrometeorológicos para a previsão da produtividade e qualidade de bebida do cafeeiro para o Estado de Minas Gerais. Foram utilizados na previsão os elementos meteorológicos mensais das localidades do Sul de Minas: Guaxupé, Monte Santo de Minas e São Sebastião do Paraíso e do Cerrado Mineiro: Coromandel, Serra do Salitre e Tiros. Os modelos foram construídos com regressão linear múltipla, visando maximizar a antecipação da previsão. A variável dependente foi à produtividade de cada localidade, enquanto que, as variáveis independentes foram os elementos meteorológicos mensais do período de 1997 a 2014. Os elementos utilizados foram à temperatura do ar (°C), a precipitação pluviométrica (mm), a evapotranspiração potencial (mm), o armazenamento de água no solo (mm), a deficiência hídrica (mm) e o excedente hídrico (mm). Os modelos agrometeorológicos foram classificados buscando a minimização do erro percentual absoluto médio (MAPE) e o aumento do coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado). Os modelos agrometeorológicos desenvolvidos em função dos elementos meteorológicos foram acurados para todas as regiões, pois o maior MAPE foi de 3.13% e 2.82% em São Sebastião do Paraíso e Tiros, respectivamente. As menores previsões foram de seis e cinco meses para as localidades de Guaxupé e Coromandel, respectivamente. As faixas de valores mensais para cada elemento meteorológico indicam que para ocorrência de alta qualidade de bebida é necessário temperaturas do ar mais elevadas no Cerrado, menores precipitações, menores armazenamentos e maiores deficiências hídricas quando comparados com ao Sul de Minas Gerais.

Palavras-Chave: modelagem, *Coffea arabica* L., agrometeorologia, clima.

AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR FORECASTING YIELD AND NATURAL COFFEE DRINK QUALITY

ABSTRACT – The agrometeorological models for crop yield forecasting are robust for strategic planning techniques, since, prior knowledge of agriculture crops facilitate decision making. The forecasting, different from estimation, is from actual data determine a future condition, such as yields, phenology duration and quality of agricultural products. This work aimed to develop and adjust agrometeorological models to forecast yield and coffee natural drink quality for State of Minas Gerais. We forecasted yields as functions of monthly meteorological variables for three locations in the southern region of the state of Minas Gerais, i.e. Guaxupé, Monte Santo de Minas, and São Sebastião do Paraíso, and for three locations in the Cerrado Mineiro region of Minas Gerais, i.e. Coromandel, Serra do Salitre and Tiros. We used multiple linear regressions selecting independent variables (IV) trying to maximize the anticipation of the yield forecasting for each locality. The IV were the monthly weather elements from 1997 to 2014. The elements used were the air temperature (°C) rainfall (mm), the potential evapotranspiration (mm), the water storage in the soil (mm), the water deficit (mm) and the water surplus (mm). The selection of IV was made testing all possible combinations (APC), avoiding multicollinearity. The models were built with multiple linear regression to maximize the anticipation of forecast. The better models were classified seeking to minimize the mean absolute percentage error (MAPE), determination coefficient (adjusted R^2) near 1 and selecting model only with significance at 0.01. The agrometeorological models were accurate for all regions and the lower anticipation period were six and five months for the locations of Guaxupé and Coromandel, respectively. Ranges of monthly values for each meteorological element were established indicating that to reach a high quality of drink at Cerrado it is necessary higher temperatures, lower precipitations, lower storages and higher water deficits when compared to the South of Minas Gerais.

Key Words: modelling, *Coffea arabica* L., agrometeorology, climate.

CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais

Introdução

O café é cultivado em vários países e o Brasil tem a maior produção de café do mundo. O café é uma atividade agrícola brasileira de importância indiscutível, sendo um dos principais produtos agrícolas de exportação, agregando considerável volume de recursos à balança comercial. O cafeeiro arábica é fortemente afetado nos seus diversos estádios fenológicos pelas condições meteorológicas, uma vez que o clima influencia a bienalidade produtiva e a qualidade da bebida.

A variabilidade climática proporciona uma grande variação nas atividades agrícolas, sendo um dos principais fatores responsáveis pelas oscilações da quantidade produzida de café. Dentre os elementos meteorológicos de importância no cultivo cafeeiro, destacam-se a temperatura do ar, a radiação solar e a precipitação pluviométrica.

A melhor forma de sintetizar quantitativamente os efeitos das condições climáticas no desenvolvimento, produtividade e qualidade da bebida do café é por meio de modelos de cultivos. Com a utilização dos modelos agrometeorológicos consegue-se conhecer previamente as safras agrícolas, através das previsões pelos modelos, sendo considerada uma questão estratégica nos processos de planejamento.

Todavia, são escassos os modelos agrometeorológicos que realizam o processo de previsão, uma vez que, grande parte dos modelos realizam apenas as estimativas de produtividade. De maneira conceitual, a previsão nada mais é do que quantificar um evento futuro utilizando-se de dados disponíveis atuais. Enquanto que, o processo de estimação é a quantificação de um fenômeno atual a partir de dados atuais.

A qualidade natural do cafeeiro é fortemente influenciada pelas condições climáticas. Quando o clima não é favorável no período de enchimento de grãos, o acúmulo de fotoassimilados não é bem sucedido, reduzindo neste ano a qualidade da bebida do cafeeiro. A temperatura do ar e as condições hídricas são fatores limitantes a qualidade da bebida.

Na literatura não foram encontrados trabalhos para previsão da produtividade e qualidade de bebida. Assim, objetivou-se desenvolver e validar modelos agrometeorológicos estatísticos para previsão mais antecipada possível de produtividade anual e qualidade de bebida do cafeeiro para regiões do Estado de Minas Gerais, além de aumentar o conhecimento das relações dos elementos meteorológicos mensais normais com a qualidade de bebida natural do cafeeiro arábica e identificar faixas de valores dos elementos meteorológicos que otimizem a qualidade.

Revisão de Literatura

O café é o principal cultivo de vários países (RODRIGUES et al., 2013). Na atividade agrícola brasileira sua importância socioeconômica é indiscutível (RESENDE et al., 2009; FERREIRA Jr et al., 2016), pois, é um dos principais produtos agrícolas de exportação, uma vez que agrega considerável volume de recursos a balança comercial. O café apresenta várias propriedades funcionas de qualidade, como a cafeína, aminoácidos, minerais e compostos fenólicos, sendo a bebida mais consumida no mundo (BUTT; SULTAN, 2011; KITZBERGER et al., 2013).

O cafeeiro é uma planta perene, pertencente à família Rubiaceae (CUBRY et al., 2013). Mundialmente, as duas espécies economicamente mais importantes de café são o *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre (BRAVO-MONROY et al., 2016), representando 74,92% e 25,08% da produção mundial, respectivamente (CONAB, 2015). O *Coffea arabica* (café arábica) é de alta qualidade, e constitui mais de 60% de toda produção mundial, já o *Coffea canephora* (café Robusta) é de qualidade relativamente baixa em comparação com Arábica (BRAVO-MONROY et al., 2016).

As áreas de produção brasileira se distribuem na região centro-sul, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná (ANDRADE et al., 2012). O estado de Minas Gerais apresenta em torno de 6,9% da área total do Brasil e se destaca como maior produtor de café do país, com uma participação em torno de 51% de todo café produzido no Brasil (BARBOSA et al.,

2012).

O cafeeiro arábico é um cultivo que necessita de dois anos para completar seu ciclo fenológico. O período vegetativo ocorre no primeiro ano e o processo de reprodução no segundo. No desenvolvimento vegetativo ocorre à formação e o crescimento dos ramos vegetativos, como as gemas axilares nos nós, esse processo ocorre em fotoperíodo de dias longos. Com a redução do fotoperíodo as gemas vegetativas axilares são induzidas por fotoperiodismo em gemas reprodutivas. O período produtivo inicia-se com a florada que precede a formação dos chumbinhos. Em agosto inicia-se a expansão e a formação dos grãos que ocorre até atingir o tamanho normal, posteriormente ocorre a granação e a maturação dos frutos (CAMARGO; CAMARGO, 2001). De maneira geral, os estádios fenológicos do cafeeiro é dividido em 11 fases (Figura 1).

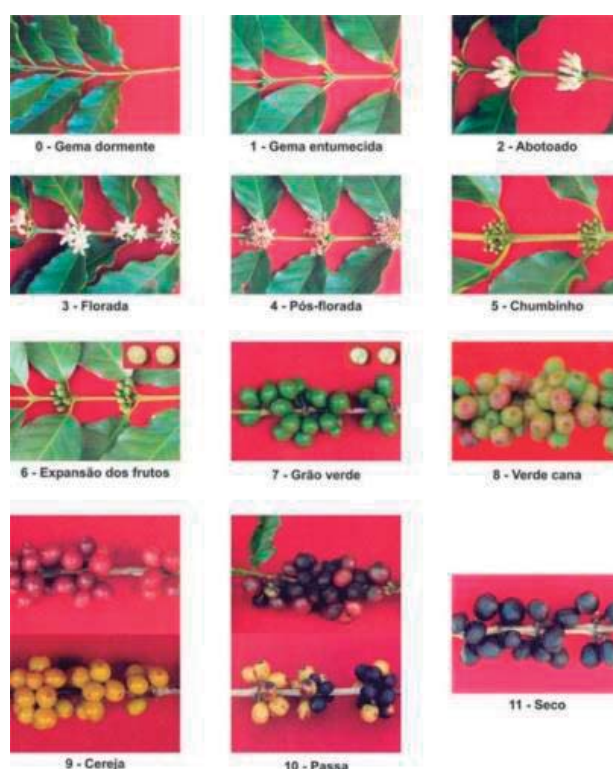


Figura 1. Determinação de estádios fenológicos do café arábica (PEZZOPANE et al., 2003).

A variabilidade climática causa forte impacto nas atividades agrícolas (SÁ JUNIOR et al., 2012) sendo o principal fator responsável pelas flutuações e

oscilações da produtividade de grãos de café (CAMARGO, 2010). Hoogenboom (2000) salienta que os elementos meteorológicos críticos para a produção agrícola são normalmente a temperatura do ar, a radiação solar e a precipitação. Para o cafeeiro, Camargo (2010) relata que a variação do fotoperíodo e a distribuição pluviométrica são elementos que proporcionam maior interferência na fenologia do cafeeiro, e conseqüentemente, acondicionam a produtividade e qualidade dos grãos do cultivo.

O cultivo do cafeeiro arábica é fortemente afetado nos seus diversos estádios fenológicos pelas condições meteorológicas interferindo fortemente na bienalidade produtiva, na qualidade do produto e na sustentabilidade da planta (PICINI et al., 1999). As condições climáticas também influenciam na pós-colheita do cafeeiro, uma vez que, em regiões de clima quente que apresentam elevados índices de radiação solar o tempo de secagem em terreiros de concreto é menor (RESENDE et al., 2009).

A radiação solar provê a energia para a fotossíntese afetando a partição de carboidratos e o crescimento dos componentes individuais da planta, além determinar sua transpiração (OLIVEIRA et al., 2012), para Angelocci et al. (2008) a radiação solar é uma importante variável meteorológica, uma vez que, origina o processo de transpiração e a fotossíntese, carecendo ser avaliada e mais bem estudada.

A temperatura do ar regula a taxa de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, e segundo Camargo e Pereira (1994) temperaturas do ar elevadas, associadas ao déficit hídrico durante a florada, podem causar abortamento das flores (PEREIRA et al., 2008), sendo, que a exposição continua a temperaturas acima de 30°C resultam no amarelecimento das folhas e na redução do crescimento (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

A seca afeta a evapotranspiração, a extração de umidade das raízes, a distribuição do sistema radicular e o tamanho do dossel (APARECIDO et al., 2015), dessa forma afetando as taxas de desenvolvimento das plantas. O cafeeiro em sequeiro, a deficiência hídrica é responsável pela queda de produção (CARVALHO et al., 2011), já que, a disponibilidade hídrica é um dos principais condicionantes da produtividade econômica dos cultivos (PICINI et al., 1999). O cafeeiro, após a

fecundação, se apresenta na formação chumbinhos, neste estágio uma estiagem forte, o estresse hídrico poderá prejudicar o crescimento dos frutos (CAMARGO, 2010).

Para Hoogenboom (2000) a temperatura da superfície do solo é importante para taxas de germinação. A umidade relativa, a temperatura do ponto de orvalho e o déficit de pressão de vapor interferem na presença e atividade de pragas e doenças, e o vento afeta a taxa transpiratória das plantas e disseminação de insetos e doenças. Grande parte desses processos pode ser simulada por modelos agrometeorológicos (ROLIM et al., 2008).

A representação matemática simplificada de um sistema é conhecida como modelo, enquanto que o processo de desenvolvimento deste é chamado modelagem (JONES et al., 1987). A melhor forma de sintetizar quantitativamente os efeitos das condições climáticas no desenvolvimento, produtividade e qualidade da bebida do café é por meio de modelos de cultivos. Esses modelos ponderam os efeitos dos elementos meteorológicos na produtividade dos cultivos, quantificando principalmente esses efeitos durante os períodos fenológicos críticos, no caso do cafeeiro, a floração, a formação, o crescimento e a maturação dos frutos (NUNES et al., 2010).

Os modelos integram conhecimentos das áreas de agrometeorologia, sensoriamento remoto, fisiologia vegetal, fitotecnia, ciência do solo e economia de forma interdisciplinar, podendo realizar estimativas (JAME; CUTFORTH, 1996) e previsões (GOURANGA; ASHWANI, 2014) da produtividade, auxiliando na estratégia e tomadas de decisões nas cadeias produtivas, além de realizar simulações acuradas da dinâmica do crescimento de cultivos (JAME; CUTFORTH, 1996).

Com a utilização dos modelos agrometeorológicos consegue-se conhecer previamente as safras agrícolas, através das previsões por modelos, sendo considerada uma questão de estratégia no momento do planejamento (SANTOS; CAMARGO, 2006).

Os dois tipos de modelos mais utilizados são os estatísticos conhecidos como modelos funcionais “empíricos” (MONTEITH, 1996) e os modelos mecanísticos. Os modelos estatísticos são essencialmente práticos, baseado em análises de

regressões, e visão estimar o desenvolvimento dos cultivos (PASSIOURA, 1973), geralmente utilizam às condições de precipitação pluviométrica, temperatura do ar ou disponibilidade hídrica do solo de períodos do ciclo do cultivo como variáveis independentes e a produtividade do cultivo como variável dependente (ROBERTSON, 1983), cujos coeficientes de ponderação se obtêm normalmente pela análise de regressão múltipla (CARVALHO et al., 2004).

Os modelos mecanísticos são complexos, estabelecendo relações de causa e efeito entre o ambiente e os cultivos (PASSIOURA, 1973), visão interpretação quantitativa e qualitativa do sistema (JONES et al., 1986), apresentam forte embasamento físico e biológico com os processos de desenvolvimento das plantas (JAME; CUTFORTH, 1996).

Entretanto, são poucos os modelos agrometeorológicos que trabalham no processo de previsão, uma vez que, a maioria dos modelos lidam apenas com as estimativas de produtividade. A previsão é o processo de quantificação de um evento futuro a partir de dados disponíveis atuais. Por sua vez, o processo de estimação é a quantificação de um fenômeno atual a partir de dados atuais (ROLIM et al., 2008).

Os modelos agrometeorológicos além de realizar a previsão e/ou estimação ainda relaciona as condições ambientais, como a temperatura do ar e disponibilidade hídrica no solo, com a fenologia e produtividade do cultivo do cafeeiro (NUNES et al., 2010).

Camargo et al. (1988) desenvolveram modelos agrometeorológicos baseados em Doorenbos e Kassam (1979) para estimar a produtividade potencial da soja no Estado de São Paulo, além de definir a produtividade potencial de diversas cultivares, levando em conta a época de semeadura. Por sua vez, Picini et al., (1999) estimando a produtividade do café observaram que a produtividade do cultivo do ano anterior é uma variável deve ser considerada em modelos agrometeorológicos, uma vez que o ciclo bienal interfere sobre o efeito das condições meteorológicas.

Camargo e Camargo (2001) buscaram estimar o início do período de maturação do cafeeiro, definindo e esquematizando as fases fenológicas, e por fim, propuseram a uma forma racional constituída de seis fases distintas

envolvendo os dois anos fenológicos, iniciados em setembro. Enquanto que, Favarin et al. (2002) desenvolveram modelo matemáticos simples para estimativa do índice de área foliar, e verificaram que área lateral do dossel, a altura e o diâmetro da seção inferior do dossel, podem ser usados na estimativa do índice de área foliar.

Carvalho et al. (2004) trabalhando com modelos de regressão para a estimação da produtividade de cafeeiros em Minas Gerais, concluíram que o comportamento de variação das produtividades estimadas pelo modelo acompanha a variação das produtividades observadas. Carvalho et al. (2005) desenvolveu um modelo de estimação da produtividade para o café, em sete municípios do Estado de Minas Gerais, porém, o modelo se mostrou inconsistente, apresentando erros das estimativas bastante discrepantes, evidenciando a complexidade de modelagem de cafezais.

Pezzopane et al. (2003) desenvolveram uma escala, avaliando o desenvolvimento de estádios fenológicos do cafeeiro arábica, utilizando-se fotografias, de diversos estágios como, período reprodutivo, compreendidas entre o estágio de gemas dormentes e o de grão seco, a escala se mostrou útil para estudos possibilitando a identificação de variáveis climáticas relacionadas ao desenvolvimento. Também trabalhando com a escala fenológica do cafeeiro, Morais et al. (2008) realizaram o detalhamento da fase reprodutiva do cafeeiro arábica, e alegaram que a escala proposta pode subsidiar estudos de crescimento, produtividade e manejo da lavoura cafeeira.

Santos e Camargo (2006) modificaram e parametrizaram um modelo matemático que estimasse a quebra de produtividade, do cultivo do cafeeiro arábica, para Estado de São Paulo. Os autores concluíram que o modelo proposto parametrizado tem potencial para estimar a produtividade do café, podendo servir como subsídio aos trabalhos de previsão de safra. Por sua vez, Zacharias, Camargo e Fazuoli, (2008) parametrizaram e validaram um modelo agrometeorológico de estimativa do início da floração plena do cafeeiro arábica no Estado de São Paulo, ao final, observaram que o modelo considera os valores acumulados de 335 mm de evapotranspiração potencial ou 1579 graus-dia, para que as gemas florais atinjam a maturação.

Pezzopane et al. (2008) procuraram estimar o período entre o florescimento e o final de maturação do café arábica cv. Mundo Novo, levando-se em conta a temperatura basal inferior, a soma térmica e o acúmulo da evapotranspiração de referência (ETP), e notaram que o acúmulo médio de ETP foi de 761 mm, para o período florescimento-colheita, e os valores de temperatura-base e soma térmica, foram 10,2°C e 2887 graus-dia sem correção do fator hídrico e 10,5°C e 2761 graus-dia com a correção.

Oliveira et al. (2012) propôs um modelo para recomendar a orientação adequada das linhas de cafeeiro na implantação, o modelo proposto estimou a orientação de -24° 16' como sendo a melhor para o plantio das linhas de cafeeiro. Trabalhando com o método da Zona Agroecológica (ZAE) Oliveira et al. (2012) parametrizaram, calibraram e testaram um modelo estimando a produtividade do cultivo da cana de açúcar, para o Estado de Minas Gerais, e ao final concluíram que adaptação realizada no método da Zona Agroecológica permitiu estimar adequadamente os valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Rodrigues et al. (2011) generalizaram um modelo para capturar o crescimento e o desenvolvimento do café, de acordo com as condições climáticas encontradas na Colômbia e Brasil e relataram que o modelo representa fielmente os dados de campo e podem ajudar no desenvolvimento de estratégias de gestão e avaliação econômica. O mesmo autor, Rodrigues et al. (2013) desenvolveram um segundo modelo acrescentando variáveis relacionadas ao fruto do cafeeiro e a broca do café, e observaram grande importância de alguns dados como, padrão de emergência, competição intra-específica e chuva, porém, as previsões foram favoráveis comparados para os dados de campo, utilizando variáveis climáticas de entrada.

Cunha e Volpe (2011) estudando o cafeeiro cv. Obatã desenvolveram modelos correlacionando massa seca versus massa fresca e a massa fresca e seca em função de dias após florescimento. Ao final, concluíram que o modelo sigmoidal representou o crescimento do fruto do cafeeiro em massa fresca e/ou seca em função de dias após a florada. Por sua vez, Rosa et al. (2010) estimaram a produtividade do cafeeiro com modelo agrometeorológica-espectral e observou que

o método foi eficaz para estimar a produtividade dos cafezais quanto o modelo oficial do IBGE, sendo possível espacializar a quebra de produtividade e estimar 80% da produtividade final na primeira quinzena de fevereiro, antes do início da colheita.

Todos os trabalhos citados basicamente realizam estimações. Existem algumas técnicas que utilizam modelos de cultivos para fins de previsão. Uma opção usual na literatura é a utilização de modelos meteorológicos de previsão de circulação geral da atmosfera associados a modelos de cultivo. Os trabalhos de Hansen e Indeje (2004) e Stone e Meinke (2005) são exemplos desta linha de pesquisa.

Na literatura também foram encontradas outras formas, como a associação de modelos de previsão de fenômenos ENSO (El niño e La niña) com os modelos de cultivo. Usando esta metodologia pode-se citar os trabalhos de Hansen, Potgieterb e Tippetta (2004) e Jones et al. (2000) que realizam as previsões antecipadas de produtividade de milho na Austrália e de trigo no Sul dos Estados Unidos, respectivamente.

Por fim, existem trabalhos de previsão de produtividade feitos com base probabilística usando modelos estatísticos diversos. Por exemplo, pode-se citar o trabalho de Mkhabela et al. (2005) que realizaram a previsão da produtividade do milho 2 meses antes da colheita no Sudeste da África. Savin et al. (2007) que trabalhando com redes neurais conseguiram prever a produtividade final de trigo já durante o período de florescimento com 74% de acurácia na Rússia. Keong e Keng (2012) utilizando modelos de regressão linear múltipla, com seleção de variáveis pelo método stepwise, obtiveram previsão do rendimento de óleo da Palma com 9 meses antes da colheita na Malásia. E finalmente Gouranga e Ashwani (2014) que realizaram a previsão da produtividade do arroz com 30 dias de antecedência da colheita na Índia.

Em relação qualidade de bebida natural do cafeeiro. O Brasil, particularmente nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, normalmente a secagem dos grãos do cafeeiro ainda com casca é feita em terreiros pela ação do sol, somente após esta etapa esses grãos são descascados, beneficiados e enviados a cooperativas. Este processo facilmente pode promover a diminuição da qualidade da bebida devido à

fermentação na mucilagem por meio da ação de bactérias. Entretanto, quando esse processamento pós-colheita é bem feito promove o aparecimento de sabores exóticos na qualidade de bebida com características regionais bem distintas (MARTINS et al., 2015).

Tratamentos pós-colheita constituem basicamente a separação de grãos cereja dos imaturos e verdes, secagem, descascamento e torra dos grãos em temperaturas e duração variadas (FAVARIN et al., 2004; BORÉM et al., 2008). Outro tratamento pós-colheita é o armazenamento dos grãos que deve ser o mais breve possível visando a manutenção da qualidade dos frutos, evitando assim o aumento dos ácidos graxos linoleico e palmítico e o branqueamento dos grãos (CORADI et al., 2007).

Quando as condições climáticas não são favoráveis, o processo de acúmulo de fotoassimilados é desfavorecido, condicionando uma diminuição da qualidade de bebida (FAGAN et al., 2011). Brando e Staut (2012) relatam que a produção do café arábica de alta qualidade é considerada tão difícil quanto a produção de vinhos exclusivos, uma vez que não depende somente da experiência dos produtores no decorrer do ano, mas também das características climáticas predominantes na região.

A baixa disponibilidade hídrica durante o enchimento dos grãos também favorecem a má formação dos grãos diminuindo sua qualidade natural de bebida (FAGAN et al., 2011). O excesso de precipitações pluviométricas durante a maturação promove o aumento da umidade do ar, colaborando com a proliferação de microrganismos que podem provocar a fermentação da polpa dos grãos, reduzindo drasticamente a qualidade natural de bebida do cafeeiro (ABRAHÃO et al., 2009).

Referencias Bibliográficas

ABRAHÃO, A. A.; PEREIRA, R. G. F. A.; BORÉM, F. M.; REZENDE, J.C. DE; BARBOSA, J.C. Physical analyses and quimical composition of coffee submitted to different fungicidal treatments. **Coffee Science**. Lavras, v.4, n.2, p.100-109, 2009.

ANDRADE, F. T.; CASTRO JUNIOR, L. G.; COSTA, C. H. G. Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v.14, n.3, p.356-366, 2012.

ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; RIGHI, E. Z.; FAVARIN, J. L. Radiation balance of coffee hedgerows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.274-281, 2008.

APARECIDO, L.E.O.; ROLIM, G.S.; SOUZA, P.S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Aust J Crop Sci.** v.9, p.160-167, 2015.

BARBOSA, J. N.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. Â.; MALTA, M. R.; ALVARENGA, A. A.; ALVES, H. M. R. Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science.**, v.4, n.5, 2012.

BRANDO, C. H. J.; STAUT, J. B. A. The revival of natural coffees in Brazil. Confidential: P&A Coffee Newsletter. v.55, p.1-4. 2012.

BRAVO-MONROY, L.; POTTS, S.G.; TZANOPOULOS, J. Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. **Food Policy.** v.58, p.49-61, 2016.

BORÉM, F.M.; CORADI, P.C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J.A. Quality of natural and washed coffee after drying on ground and with high temperature. **Ciênc. Agrotec.** Lavras, v.32, n.5, p.1609-1615, 2008.

BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Coffee and its consumption: benefits and risks. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** v.51, n.3, p.363–373, 2011.

CAMARGO, Â. P. de; PEREIRA, A. R. Agrometeorology of the coffee crop. World Meteorological Organization, Geneva. 1994.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, p.65-68, 2001.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v.69, p.239-247, 2010.

CAMARGO, M. B. P.; MIRANDA, M. A. C.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; MASCARENHAS, H. A. A. Estimativa da produtividade potencial de cultivares de soja nas condições climáticas de Ribeirão Preto, SP. **Bragantia**, v.47, n.2, p.277-288, 1988.

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**., Uberlândia, v.27, n.2, p.221-229, 2011.

CARVALHO, L. G. de; SEDIYAMA, G. C.; CECOM, P. R.; ALVES, H. M. R. Aplicação da análise harmônica por séries de Fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Eng. Agríc.**, v.25, n.3, p. 732-741, 2005.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECOM, P. R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.204-211, 2004.

CORADI, P.C.; BORÉM, F.M.; OLIVEIRA, J.A. Quality of natural and washed coffee after different types of drying and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.2, p.181-188, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Café. 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_14_11_57_33_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf. Acesso em: 14-jan-16.

CUBRY, P.; BELLIS, F.; POT, D.; MUSOLI, P.; LEROY, T. Global analysis of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner from the Guineo-Congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. **Genet Resour Crop Evol.**, v.60, p.483–501, 2013.

CUNHA, A. R.; VOLPE, C. A. Curvas de crescimento do fruto de cafeeiro cv. Obata IAC 1669-20 em diferentes alinhamentos de plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n. 1, p. 49-62, 2011.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, n.55-81, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO irrigation and drainage, paper 33).

FAGAN, E. B.; SOUZA, C. H. E.; PEREIRA, N. M. B.; MACHADO, V. J. 2011. Effect of time on coffee bean (*coffea* sp) growth in cup quality. **Biosci. J.**, v.27, n.5, p.729-738, 2011.

FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A.G.; NOVA, N.A.V.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.769- 773, 2002.

FAVARIN, J. L.; VILLELA, A. L. G.; MORAES, M. H. D.; CHAMMA, H. M. C. P.; COSTA, J. D. Quality of coffee drink from fruits submitted to different post-harvest management practices. **Pesq. agropec. bras.** v.39, n.2, p.187-192, 2004.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; SILVA, F. M.; FERREIRA, D. D.; SALES, R. S. Recomendação para colheita mecânica do café baseado no comportamento de vibração das hastes derriçadoras. **Ciência Rural**, v.46, n.2, p.273-278, 2016.

GOURANGA, K.; ASHWANI, K. Forecasting rainfed rice yield with biomass of early phenophases, peak intercepted PAR and ground based remotely sensed vegetation indices. **Journal of Agrometeorology**, v.16, p.94-103, 2014.

HANSEN, J. W.; INDEJE, M. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125, p.143–157, 2004.

HANSEN, J. W.; POTGIETERB, A.; TIPPETTA, 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.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, n.1-2, p.137–157, 2000.

JAME, Y. W.; CUTFORTH, W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science.**, v.76, p.9-19. 1996.

JONES, J. W.; HANSEN, W.; ROYCE, F. S.; MESSINA, C. D. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.82, p.169–184, 2000.

JONES, C. A.; KINIRY, J. R. CERES-Maize. A simulation model for maize growth and development. Texas A&M University Press, College Station. 1986.

JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; JAGTAP, S. S.; WILKERSON, G. G; HOOGENBOOM, G. SOYGRO v.5.4- Technical documentation. **Agric. Eng. Dep. Res. Rep.**, 1987.

KEONG, Y. K.; KENG, W. M. Statistical Modeling of Weather-based Yield Forecasting for Young Mature Oil Palm. **APCBEE Procedia**, v.4, p.58–65, 2012.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. S.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E.; SERA, T.; SILVA, J. B. G. D.; BENASSI, M. T. Diterpenes in green and roasted coffee of *Coffea arabica* cultivars growing in the same edapho-climatic conditions. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.30, p.52–57, 2013.

MARTINS, D. R.; CAMARGO, O. A.; BATACLIA, O. C. Bean and beverage quality in coffee crops treated with sewage sludge. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p. 115-126, 2005.

MKHABELA, M. S.; MKHABELA, M. S.; MASHININI, N. N. Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.129, p.1-9, 2005.

MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modeling. **Agr. J.**, v.88, p. 695-697. 1996.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v.67, n.1, p. 257-260, 2008.

NUNES, F. L.; CAMARGO, M. B.; FAZUOLI, L. C.; ROLIM, G. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; Modelos agrometeorológicos de estimativa da duração do estágio floração-maturação para três cultivares de café arábica. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.1011-1018, 2010.

OLIVEIRA, K. M. G.; CARVALHO, L. G.; LIMA, L. A.; GOMES, R. C. C. Modelagem para a estimativa da orientação de linhas de plantio de cafeeiros. **Engenharia Agrícola. Jaboticabal**, v.32, n.2, p.293-305, 2012.

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, R. S.; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAE¹. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v.16, n.5, pp. 549-557, 2012.

PASSIOURA, J. B. Sense and nonsense in crop simulation. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science.** v.39, p.181-183, 1973.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Agrometeorologia de Cafezais no Brasil. Campinas: Instituto Agronômico. p.127, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M., PEDRO JÚNIOR, M. J., THOMAZIELLO, R. A., CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro Arábica. **Bragantia**, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Exigência térmica do café Arábica cultivar Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1781-1786, 2008.

PICINI, A. G.; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S.; Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum - Agronomy.**, Maringá, v.1, n.2, p.189-196, 2009.

ROBERTSON, G. W. Guidelines on crop-weather models. Geneve: World Meteorological Organization, 1983. 115p. World Climate Application Programme, 50.

RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. R.; COTES, J. M.; GUTIERREZ, A. P.; CANTOR, F. A. A coffee agroecosystem model: I. Growth and development of the coffee plant.

Ecological Modelling, v.222, p.3626-3639, 2011.

RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. R.; GUTIERREZ, A. P.; COTES, J. M.; CANTOR, F. A. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. **Ecological Modelling**, v.248, p.203–214, 2013.

ROLIM, G. S.; RIBEIRO, R. V.; AZEVEDO, F. A.; CAMARGO, M. B. P; MACHADO, E. C. Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.1, p.48-53, 2008.

ROSA, V. G. C.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M. Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.12, p.1478-1488, 2010.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. v.108, p.1-7, 2012.

SANTOS, M. A.; CAMARGO, M. B. P. Parametrização de modelo agrometeorológicos de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n.1, p.173-183, 2006.

SAVIN, I. Y.; STATHAKIS, D.; NEGRE, T.; ISAEV, V. A. Prediction of Crop Yields with the Use of Neural Networks. **Russian Agricultural Sciences**, v. 33, n.6, p.361–363, 2007.

STONE, R. C.; MEINKE, H. Operational seasonal forecasting of crop performance. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v.360, p.2109–2124, 2005.

ZACHARIAS, A. O.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Modelo agrometeorológico de estimativa do início da florada plena do cafeeiro. **Bragantia**, v.67, p.249-256, 2008.