

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 21/08/2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**PRODUTIVIDADE DE CAFÉ ARÁBICA ESTIMADA A
PARTIR DE DADOS DE MODELOS DE CIRCULAÇÃO
GLOBAL**

Taynara Tuany Borges Valeriano

Engenheira Agrônoma

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**PRODUTIVIDADE DE CAFÉ ARÁBICA ESTIMADA A
PARTIR DE DADOS DE MODELOS DE CIRCULAÇÃO
GLOBAL**

Taynara Tuany Borges Valeriano

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).

2017

Ficha catalográfica

A163p Valeriano, Taynara Tuany Borges
Produtividade de café arábica estimada a partir de dados de
modelos de circulação global / Taynara Tuany Borges Valeriano. --
Jaboticabal, 2017
xiii, 88 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Glauco de Souza Rolim
Banca examinadora: Lucieta Guerreiro Martorano, Márcio José de
Santana
Bibliografia

1. Modelagem. 2. *Coffea arabica*. 3. Dados em GRID. 4. *Big data*. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.73:551.5

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: PRODUTIVIDADE DE CAFÉ ARÁBICA ESTIMADA A PARTIR DE DADOS
DE MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL**

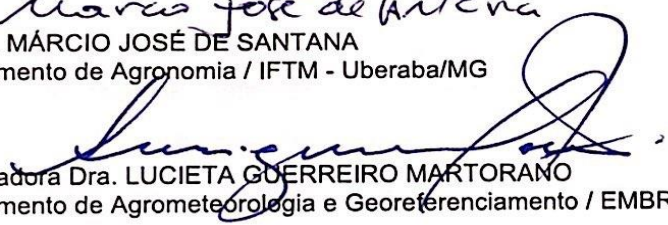
AUTORA: TAYNARA TUANY BORGES VALERIANO

ORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MÁRCIO JOSÉ DE SANTANA
Departamento de Agronomia / IFTM - Uberaba/MG


Pesquisadora Dra. LUCIETA GUERREIRO MARTORANO
Departamento de Agrometeorologia e Georreferenciamento / EMBRAPA - Santarém,PA

Jaboticabal, 21 de fevereiro de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TAYNARA TUANY BORGES VALERIANO – nascida em Araxá, Minas Gerais, no dia 04 de julho de 1991, filha de Geraldo Humberto Valeriano (*in memorian*) e Magna Regina Borges, natural de Pratinha - MG. cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual Marlene Martins Reis, deste município, e Ensino Médio nas Escolas Centro de Educação Ciência e Tecnologia (CEFET) – Câmpus Araxá e Escola Estadual Dom José Gaspar, na cidade de Araxá - MG, tendo finalizado no ano de 2009. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2010 no curso de Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Câmpus Uberaba, obtendo o título de Engenheira Agrônoma, em fevereiro de 2015. Durante a graduação foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) por três anos e meio e voluntária no programa de Iniciação Científica por 4 anos e meio nas áreas de Agrometeorologia, irrigação e fitotecnia, sob orientação do Prof. Dr. Márcio José de Santana. Colaborou na execução e apresentação de trabalhos científicos, com resumos e artigos publicados em periódicos especializados. Em agosto de 2015, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Produção Vegetal, com concentração na área de Modelagem Agrometeorológica, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, no Group of Agrometeorological Studies (GAS), localizado no Departamento de Ciências Exatas, sob orientação do Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim. No decorrer do curso realizou pesquisas com foco em modelagem agrometeorológica para o cafeeiro a partir de dados em grid, sendo essa a área de maior concentração dos estudos. Em fevereiro de 2017, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einsten

Aos meus pais Geraldo Humberto Valeriano (*in memorian*) e Magna Regina Borges que me criaram com todo o amor, carinho e educação que se pode dar a um filho.

A vocês,
DEDICO!

A minha irmã, familiares e amigos,
OFEREÇO!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter sempre me amparado nas minhas escolhas para que não me arrependesse e nem desistisse delas, por mais difíceis que fossem.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa e oportunidade de realizar um curso de pós-graduação.

À toda minha família em especial minha mãe, Regina, minha irmã Gabriella, minha avó Anacleta, minhas Tias Márcia e Rita, meus padrinhos Luiz e Joana, meus primos João Antônio e Juliana, meu padrasto Neirimar, meus afilhados, Luís Guilherme, Isadora e Adrian Lucas, minha sobrinha de coração Estela e meu tio Lázaro, pela paciência e pela ausência em suas vidas, durante todos esses anos de estudos até aqui. Obrigado por vocês acreditarem em mim!

À minha prima Stefany Souza, pela cumplicidade, lealdade, carinho e amizade de todos esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim que tenho uma admiração e consideração imensa pelo seu trabalho, bem como pela referência que é para todos nós, orientandos. Muito obrigado pelos ensinamentos passados e pela confiança em mim depositada.

As minhas irmãs de coração, Rayeny Ávila e Sayeny Ávila as quais sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando. Aos amigos de Jaboticabal, Bárbara, Edgard, Adão, Jordana e Larissa e a todos da Rep. Toca Fogo que foram fundamentais para adaptação em Jaboticabal.

Aos meus amigos e parceiros do GAS, José Reinaldo, Victor Moreto, Lucas Aparecido, Kamila Menezes, Juliana, João e Clayson. Obrigada pela convivência e troca de experiência durante esse tempo.

Aos amigos de longa data, Isabela, Ana Cristhina, Kárita, Ana Gabriela, Letícia, Vanessa, Mariana e Cristina que, mesmo de longe torceram por mim e entenderam minha ausência.

Ao Emmanuel Moreira, por todo amparo e carinho.

Aos membros da banca de qualificação, Dr. Diego, Prof. Dr. Rogério e Prof. Dr. Newton, que muito contribuíram para a construção desta dissertação.

Aos membros da banca da defesa, Prof. Dr. Márcio José de Santana e Dr. Lucieta Guerreiro Martorano, que muito contribuíram para a dissertação.

Aos colegas do Departamento de Ciências Exatas, Zezé, Shirlei, Adriana, Mara, Daniel, Bruna, Katherine, Gustavo, Prof. Peruzzi, Prof. Newton, Carlão e Vanessa, muito obrigada pela convivência durante esse tempo.

A todos que de alguma forma contribuíram para que chegasse hoje aqui, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	10
1 – INTRODUÇÃO.....	10
1.1 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1.1.1 Modelagem agrometeorológica	11
1.1.2 Dados em Grid.....	12
1.1.3 Cultivo do Café	14
1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO 2 - Evaluation of air temperature and rainfall from ECMWF and NASA gridded data for southeastern Brazil	21
ABSTRACT	21
RESUMO	21
2.1 INTRODUCTION	22
2.2 MATERIAL AND METHODS	23
2.3 RESULTS AND DISCUSSION	28
2.4 CONCLUSION.....	47
2.5. REFERENCES	47
CAPÍTULO 3 - Estimation of <i>Coffea Arabica</i> yield from Gridded Data.....	52

ABSTRACT	52
RESUMO	53
3.1 INTRODUCTION	53
3.2 MATERIAL AND METHODS	56
3.3 RESULTS AND DISCUSSION	65
3.4 CONCLUSIONS	83
3.5 REFERENCES	83

PRODUTIVIDADE DE CAFÉ ARÁBICA ESTIMADA A PARTIR DE DADOS DE MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL

RESUMO

O Brasil é o maior produtor da segunda *commodity* de maior valor no mercado, o café. O conhecimento de técnicas eficazes de estimativa de produtividade é de grande importância para o mercado cafeeiro, possibilitando melhor planejamento e tornando a atividade mais sustentável. Uma forma eficaz de se estimar a produtividade é através da modelagem agrometeorológica, que quantifica a influência do clima nos cultivos agrícolas. Entretanto, dados climáticos são necessários, e estes em sua maioria são provenientes de estações de superfície. Uma forma de inovar essa técnica é a utilização de outra fonte de dados climáticos, como os dados em grid (GD) que são resultado da combinação de diversas fontes, como sondas oceânicas, sensoriamento remoto, entre outros. O presente trabalho teve como objetivo estimar a produtividade de *Coffea arabica* a partir do modelo proposto por Santos e Camargo (2006) (SC) com dados meteorológicos provenientes dos GD dos sistemas ECMWF e NASA para regiões cafeeiras de Minas Gerais e São Paulo. Em um primeiro momento foram comparados dados de temperatura do ar e precipitação obtidos pelo ECMWF e NASA aos dados de estações meteorológicas de superfície, com o objetivo de verificação da acurácia dos GDs. No segundo momento foi proposta uma calibração no modelo de estimativa de produtividade de Santos e Camargo (2006), para a utilização dos GDs. Para temperatura, os dados do ECMWF e NASA foram precisos e acurados, com valores mínimos de RMSE iguais a 0,37 e 0,50 °C, e d de Willmott iguais a 0,86 e 0,53, respectivamente. Para precipitação os valores mínimos de precisão e acurácia foram inferiores, com RMSE iguais a 2,15 e 5,33 °C, e d de Willmott iguais a 0,79 e 0,59, respectivamente. Quando os dados GD foram aplicados no modelo SC para estimação de produtividade de café de forma geral o ECMWF foi superior a NASA. A calibração dos coeficientes do modelo SC para dados do ECMWF e NASA foi eficiente, pois houve diminuição do erro percentual absoluto médio (MAPE), raiz do erro médio quadrático sistemático (RMSEs) e raiz do erro médio quadrático não-sistemático (RMSEn) em relação aos modelos SCs que usaram dados de superfície. Estes resultados comprovam que os modelos SCs foram, precisos, acurados e apresentaram baixa tendência, portanto a utilização de dados meteorológicos de GD nos modelos SCs foi possível e recomenda-se a utilização dos mesmos para as regiões cafeeiras de Minas Gerais e São Paulo.

PALAVRAS-CHAVES: Modelagem. *Coffea arabica*. Dados em GRID. Big data.

ESTIMATED ARABIC COFFEE YIELD FROM GLOBAL CIRCULATION MODEL DATA

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of the second most valuable commodity on the market, coffee. The knowledge of effective techniques of yield estimation is importance for the coffee market, enabling better planning and making the activity more sustainable. An effective way of yield estimating is through agrometeorological modeling, which quantifies the influence of climate on agricultural crops. However, weather data is needed, and these mostly come from surface stations. One way to innovate this technique is to use another source of climate data, such as Gridded data (GD), which are the result of a combination of diverse sources such as oceanic probes, remote sensing, among others. This work aimed to propose the use of the model of yield estimation proposed by Santos and Camargo (2006) with meteorological data from the GCMs, ECMWF and NASA for coffee regions of Minas Gerais and São Paulo. At first, temperature and precipitation data obtained through the ECMWF and NASA were compared and verified with data from surface meteorological stations. In the second moment, a calibration was proposed in Santos and Camargo (2006), for the use of GDs (ECMWF and NASA). For temperature, ECMWF and NASA data were accurate and accurate, with minimum RMSE values of 0.37 and 0.50 ° C, and Willmott's d values of 0.86 and 0.53, respectively. For precipitation, the minimum values of precision and accuracy were lower, with RMSE equal to 2.15 and 5.33 ° C, and d of Willmott equal to 0.79 and 0.59, respectively. When the GD data were applied in the SC model for coffee yield estimation the ECMWF was superior to NASA. The calibration of the SC model coefficients for ECMWF and NASA data was efficient, since there was a decrease in the mean absolute percentage error (MAPE), mean root mean square root (RMSEs) and root mean square root mean square error (RMSEn) in SCs that used surface data. These results confirm that the models were accurate, accurate and presented a low tendency, so the use of GD meteorological data in agrometeorological models was satisfactory and it is recommended to use them for the coffee regions of Minas Gerais and São Paulo.

KEYWORDS: Modeling. *Coffea arabica*. Grid Data. Big data.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1 – INTRODUÇÃO

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Visando obter um conhecimento mais profundo sobre as respostas do cultivo ao ambiente, modelos de estimativa de produtividade são utilizados como ferramentas, possibilitando o estudo e o entendimento do sistema agrícola (OLIVEIRA et al., 2011).

A fonte tradicional dos dados climáticos para a entrada em modelos agrometeorológicos são as estações meteorológicas de superfície. Esses dados são limitados pois em várias regiões do mundo existem um número geralmente insuficiente de estações em relação à extensão da região a ser estudada. Outras limitações são relacionadas aos vários possíveis erros relacionados à obstrução de sensores, perda de calibração e problemas no armazenamento de dados (MORAES; ROCHA; LAMPARELLI, 2014).

Uma alternativa viável para solucionar estes problemas é a utilização de dados em grade (GD). Os GDs são sistemas que combinam diversas fontes de dados: dentre sondas oceânicas, balões meteorológicos, sensoriamento remoto e até mesmo as estações de superfície e disponibilizam as estimações e previsões em forma de grade (grid), dividindo o globo terrestre em três dimensões. Alguns GDs que podem ser citados são European Center for Medium-Range Weather Forecast e NASA's Global Modeling and Assimilation Office (NASA/GMAO).

Os dados de GDs tem sido amplamente estudado por autores como Albergel et al. (2012) na Austrália, Holmes et al. (2012) em Oklahoma (USA), Wang; Song ; Cao, (2012) na China, Rubel e Rudolf (2001) nos Alpes Europeus, Jhohann et al. (2011) no Brasil, porém mais estudos são necessários para verificar a qualidade destes dados em relação aos de superfície.

Devido a grande relevância do cultivo do cafeeiro, visto que, o Brasil tem a maior produção do mundo (AMARASINGHE et al., 2015), o desenvolvimento de modelos agrometeorológicos com o objetivo de aferir essa influência dos elementos

meteorológicos, torna-se uma questão estratégica e de planejamento para o país, auxiliando no abastecimento interno e relações no mercado externo.

O modelo de estimativa de produtividade para café mais utilizado no Brasil é o desenvolvido por Santos e Camargo (2006). Este modelo tem por base o de quebra relativa proposto por Camargo et al. (2003), que é constituído por três componentes, fenológico, térmico e hídrico. Santos (2005) parametrizou os coeficientes deste modelo e inseriu um quarto componente, que leva em consideração a bialidade produtiva do cafeeiro, ao inserir na equação uma penalização em relação a produtividade do ano anterior.

Diante do exposto o objetivo neste trabalho foi avaliar os dados provenientes do ECMWF e NASA, e calibrar o modelo de estimativa de produtividade para café, proposto por Santos e Camargo (2006), a partir de dados meteorológicos oriundos dos GD, ECMWF e NASA, em regiões cafeeiras de São Paulo e Minas Gerais.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 Modelagem agrometeorológica

De acordo com o IBGE (2016) a previsão de produtividade de diversas cultivos em todo o Brasil é realizada com uso de informações municipais, obtidas por meio de um sistema de levantamento, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor. Contudo, além de serem passíveis de manipulação, essas informações não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos, uma vez que estas possuem um caráter subjetivo dos levantamentos.

Atualmente a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), é a responsável oficial pelo levantamento e divulgação da previsão da safra cafeeira (CARVALHO et al., 2005). Em Minas Gerais, por exemplo, os técnicos da CONAB visitam municípios produtores de café, onde colhem informações juntos aos órgãos de assistência técnica, cooperativas e entidades ligadas ao setor. Porém, de acordo Carvalho et al. (2005) no Brasil apesar do levantamento das informações ser calculado em estudo estatístico e científico, a determinação da produtividade ainda é subjetiva.

Diante deste contexto, a utilização de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade tem ganhado destaque no monitoramento das safras, pois é uma importante ferramenta para quantificar o efeito do clima e o crescimento e desenvolvimento da planta (ROLIM et al., 2011), proporcionando o planejamento dos mercados interno e externo.

No Brasil existem vários modelos de estimativa de produtividade para várias culturas como, soja (SILVA-FUZZO et al., 2015); arroz (KLERING et al., 2008), jiló (ROLIM et al., 2011), amendoim (MORETO; ROLIM, 2015), café (SANTOS; CAMARGO, 2006) entre outros. Um fator limitante desses modelos é a origem dos dados de entrada, sendo que em sua maioria são provenientes de estações meteorológicas de superfície.

De acordo com Pereira et al. (2002), o Brasil não apresenta uma rede de estações que atenda todas as necessidades além de um maior número se concentrar em áreas mais desenvolvidas do que em outras mais remotas. Outro fator limitante é a presença de dados faltantes nas séries climáticas que acaba limitando diversas pesquisas, dificultando conclusões significativas sobre a gestão de recursos naturais (MOELETSI; WALKER, 2012). Uma forma de solucionar este problema é a utilização de dados meteorológicos em grid.

1.1.2 Dados em Grid

A utilização de dados meteorológicos em grid (GD) tem ganhado destaque no monitoramento climático em cultivos agrícolas nos últimos anos (GASPAR et al., 2015). Os GDs são modelos que combinam informações de diversas fontes, superfície, oceanos, sensoriamento remoto e fazem estimações e previsões das condições meteorológicas separando a superfície e a atmosfera do planeta em um grid de 3 dimensões (Bechtold et al., 2008).

Alguns GDs que podem ser citados são modelo atmosférico global do INPE/CPTEC, o Sistema Global de Assimilação de Dados utilizado pelo Centro Nacional de Previsão (NCEP) e o do European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), que é uma organização intergovernamental composta por 34 países, e pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), norte-americana.

1.1.2.1 ECMWF

O ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) coleta informações meteorológicas de estações espalhadas por todo mundo, radares meteorológicos, satélites entre outras fontes. Segundo Moraes et al. (2012), estas diferentes fontes são usadas para estimar os elementos meteorológicos médio diários. Os dados são processados pela empresa alemã Meteo-Consult e posteriormente transferidos para o JRC (Joint Research Centre), que os coloca à disposição de usuários, via internet.

As características atmosféricas são descritas por meio de equações e os dados são processados para formar um modelo fisicamente válido da atmosfera em pontos distantes 0,25 graus de latitude e longitude, resultando em variáveis para o mundo inteiro (ECMWF, 2015; PERSON; GRAZZIANI, 2007).

Blain et al. (2006) compararam dados de temperatura do ar e precipitação obtidos de estações de superfície com dados do modelo ECMWF, no estado de São Paulo, apresentando resultados satisfatórios e que após ajustes, foram usados em um modelo de estimativa de produtividade de soja. O mesmo ocorreu no Rio Grande do Sul quando Melo et al. (2007) aplicaram os dados diretamente sobre um modelo agrometeorológico espectral de produtividade da soja. Para o cultivo do café são escassas as informações que abrangem as principais regiões cafeeiras. Contudo a utilização exclusiva do modelo atmosférico ECMWF, pode gerar alguns erros devido às variabilidades geográficas presentes em diferentes regiões, gerando assim, a falta de acurácia para a região desejada (MORAES et al., 2012).

1.1.2.2 NASA

Outro banco de dados online foi desenvolvido pela NASA, do modelo derivado de dados meteorológicos por satélite em tempo quase real (NASA, 2007; CHANDLER et al., 2010). Os dados são obtidos a partir da Goddard Earth Observation System (GEOS). Estes são derivados de diversas fontes combinadas, como: observações da superfície terrestre, observações de superfície do oceano, radares espaciais, radiossondagens, balões meteorológicos e satélites (WHITE et al., 2008).

A resolução espacial é de 1 ° x 1 ° de latitude e longitude (NASA, 2007; CHANDLER et al., 2010). Alguns trabalhos que utilizaram e avaliaram os dados da NASA são encontrados na literatura, como modelagem de fenologia do trigo nos USA (WHITE et al., 2008), simulação do potencial de produção de milho na China (BAI et al., 2010), previsão de extrema incêndios na Sérvia (WESTBERG et al., 2010), e simulação de índice de satisfação do requisito de água para milho na província de Free State of South Africa (MOELETSI; WALKER, 2012).

1.1.3 Cultivo do Café

O café é um produto de grande importância em todo o mundo exercendo grande influência no mercado internacional (VICTORINO, CARVALHO e FERREIRA, 2016). É cultivado em mais do que 80 países, com uma produção em 2014 de 143 milhões de sacas (ICO, 2015). O Brasil tem a maior produção de café do mundo (AMARASINGHE et al., 2015).

Originário da Etiópia, o cafeeiro pertence à família das Rubiaceas sendo uma planta perene de clima tropical, muito sensível aos elementos meteorológicos, principalmente em escala microclimática (CRAPARO et al., 2015), como radiação solar, temperatura do ar e precipitação pluvial.

De acordo com Camargo e Camargo (2001), a faixa de temperatura ideal para o cultivo do café arábica fica entre 19 e 22 °C. Temperaturas mais altas promovem formação de botões florais e estimulam o crescimento dos frutos. Entretanto, estimulam também, a proliferação de pragas e aumenta o risco de infecções que podem comprometer a qualidade da bebida. O cafeeiro é pouco tolerante ao frio, sendo que temperaturas abaixo de 10 °C inibem o crescimento da planta e temperaturas de -2 °C próxima às folhas já provoca início de danos aos tecidos (DAMATTA, 2007).

Outro agravante é a ocorrência de geadas. Camargo (1975) classificou as geadas quanto aos danos nas lavouras cafeeiras em três categorias: geadas moderadas, geadas severas e geadas severíssimas. As geadas moderadas são aquelas que acontecem uma a cada três anos, elas podem causar grandes prejuízos se não forem observadas as condições microclimáticas, como por exemplo, evitar os plantios nas áreas mais baixas, para onde o ar frio escorre durante as noites. As geadas severas, (uma a cada cinco a seis anos) provocam perdas significativas, caso

a lavoura não esteja plantada em condições de topoclima e microclima adequadas. As geadas severíssimas, (três em cem anos) são eventos extremos, que felizmente ocorrem com frequência muito baixa.

Por outro lado, regiões onde ocorrem temperaturas médias anuais superiores a 23°C associadas à seca na época do florescimento provocam abortamento floral e formação de "estrelinhas", o que implica na quebra de produção, principalmente nos anos em que a estação seca mostra-se mais longa ou atrasada (CAMARGO, 1985; THOMAZIELLO et al., 2000).

Quanto às necessidades hídricas do cafeeiro, torna-se difícil estabelecer um padrão ótimo anual de precipitação pluvial, pois depende também de outros fatores, principalmente da distribuição dessas chuvas ao longo do ano. De acordo com Costa (2016) a precipitação ótima está entre 1200 e 1800 mm, mas o cafeeiro cresce e produz bem tanto na precipitação de 800 mm, como em locais onde a precipitação é maior que 2000 mm anuais. Na região do cerrado Mineiro, em razão da ocorrência de período seco durante a estação fria, adota-se na maioria das lavouras, a prática da irrigação (RONCHI et al., 2015; FERNANDES et al., 2016). Esta irrigação, entretanto, deve ser interrompida em alguns casos no período que antecede a florada, pois pesquisas apontam um atraso no desenvolvimento do botão floral, em relação as lavouras não irrigadas (DAMATTA et al., 2007; SILVA et al., 2009; FERNANDES et al., 2016). De acordo com Thomaziello et al. (2000), o cafeeiro arábica tolera bem deficiências hídricas de até 150 mm ano⁻¹, entretanto pesquisas mais recentes, como a de Fernandes et al. (2016) apontam que déficits hídricos superiores a 150 mm, afetam o desenvolvimento vegetativo e produtivo do cultivo.

Tendo em vista que o café arábica está condicionado a alterações durante o seu desenvolvimento, nos seus diversos estádios fenológicos, alterações estas causadas pelas condições meteorológicas, em especial pela disponibilidade hídrica e de temperatura, um estudo de interações clima-produção pode ser realizado, com o uso de modelos agrometeorológicos que procuram quantificar os efeitos das variações meteorológicas na safra (ROSA et al., 2010). Logo, um cálculo para estimar a produção dessa *commodity* torna-se uma ferramenta importante para apoiar o estabelecimento de políticas cafeeiras a fim de orientar os produtores.

1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGEL, C.; DE ROSNAY, P.; BALSAMO, G.; ISAKSEN, L.; MUÑOZ SABATER, J. Soil moisture analyses at ECMWF: evaluation using global ground-based in-situ observations, **J. Hydrometeorol.**, v.13, p.1442–1460, 2012.

AMARASINGHE, U. A.; HOANH, C. T.; D’HAEZE, D.; HUNG, T.Q. Toward sustainable coffee production in Vietnam: More coffee with less water. **Agricultural Systems**, v.136, p.96–105, 2015.

BAI, J.; CHEN, X.; DOBERMMAN, A.; YANG, H.; CASSMAN, K.G.; ZHANG, F. Evaluation of NASA satellite- and model-derived weather data for simulation of maize yield potential in China. **Agronomy Journal**, v. 102, n.1, p. 9–16, 2010.

BLAIN, G. C. et al., Relação entre os dados meteorológicos ECMWF preparados pelo JRC-MARS-FOOD e dados de superfície para estimativa de produtividade de soja no estado de São Paulo, Brasil. International Workshop on Crop Monitoring and Forecasting in South America, 2., 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting. 2006. p. 61-68

CAMARGO, A. P. características das geadas excepcionalmente severas de julho de 1975. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Resumos...** Curitiba, 1975. p.250-252.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p. 831-839, 1985.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, M. B. P.; SANTOS, M. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; FAHL, J.I.; BRUNINI, O.; MEIRELES, E. J. L.; BARDIN, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsidio à previsão de safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, Embrapa Café 7576.

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. Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.732-741, set./dez. 2005.

CHANDLER, W. S.; HOELL, J. M.; WESTBERG, D.; WHITLOCK, C. H.; ZHANG, T.; STACKHOUSE JR., P. W. 2010. **Near real-time global radiation and meteorology web services available from NASA**. retrieved on 08.01.2016. Disponível em: <<http://www.ases.org/papers/120.pdf>>. Acesso em 20 ago 2016.

COSTA, J. O. **Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigado por gotejamento**. 99f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

CRAPARO, A. C. W.; VAN ASTEN, P. J. A.; LÄDERACH, P.; JASSOGNE, L. T. P.; GRABA, S. W. Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 207, p. 1-10, 2015.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**. Campos dos Goytacazes, v. 18, p. 55-81, 2007.

ECMWF 2015: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2015. Disponível em: www.ecmwf.int. Acesso em 5 out. 2016.

FERNANDES, A. L. T.; TAVARES, T. O.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Viabilidade técnica e econômica da irrigação localizada do cafeeiro, nas condições climáticas do planalto de Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 347-358, jul./set. 2016.

GASPAR, N. A.; APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S.; BOTELHOS, T. G. Software for the management of weather stations and for agrometeorological calculations. **Australian Journal of Crop Science**. V. 9, n.6, 2015.

HOLMES, T. R. H. T. J.; JACKSON, R. H.; REICHLER; J. B. BASARA. An assessment of surface soil temperature products from numerical weather prediction models using ground-based measurements. **Water Resour.** V.48, 2012. Disponível em: <[10.1029/2011WR010538](https://doi.org/10.1029/2011WR010538)>. Acesso em 15 set 2016.

IBGE 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 06 oct. 2016.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade statistics**, 2015. Disponível em: < <http://www.ico.org/prices/poproduction> > Acesso em: 21 dez. 2015.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; ROLIM, G. S.; LAMPARELLI, R. A. C./ DUFT, D. G. Comparação entre dados de temperatura média de estações meteorológicas com dados do modelo ECMWF entre 2000 e 2009 no Estado do Paraná. XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, **Anais...** Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5817.

KLERING, E.V.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.549-558, 2008. Disponível em: <10.1590/S0100-204X2008000500001>

MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Estimativa do rendimento de soja usando dados do modelo do ECMWF em um modelo agrometeorológico-espectral no Estado do Rio Grande do Sul. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. P. 279-286. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.16/doc/279-286.pdf> Acesso em: 24 set. 2015.

MOELETSI, M. E; WALKER, S. Evaluation of NASA Satellite and Modelled Temperature Data for Simulating Maize Water Requirement Satisfaction Index in the Free State Province of South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, p.50-52 p.157-164, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2012.08.012>

MORAES, R.A.; ROCHA, J.V.; ROLIM, G.S.; LAMPARELLI, R.A.; MARTINS, M.S. Avaliação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 397-407, 2012.

MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF model to sugar cane crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n. 2, p. 322-334, 2014.

MORETO, V. B.; ROLIM, G. S. Agrometeorological models for groundnut crop yield forecasting in the Jaboticabal, São Paulo State region, Brazil. **Acta Sci., Agron.** v. 37, n. 4, Maringá Oct./Dec. 2015.

NASA 2007: NASA Surface Meteorology and Solar Energy: Methodology. last viewed ago. 2006. Disponível em: http://www.ceoe.udel.edu/windpower/ResourceMap/SSE_Methodology.pdf. Acesso em 10 set. 2016.

OLIVEIRA, L. J. C.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; OLIVEIRA, M. J. de. Modelos de estimativa de produtividade potencial para as culturas do feijão e do milho. **Engenharia na agricultura**, Viçosa -MG, v.19 n.4, 2011.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. 2002: **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478p.

PERSON, A.; GRAZZIANI, F.: **User guide to ECMWF forecast products**. Meteorological Bulletin M3.2, version 4, 2007.

ROLIM, G. S. de; NOVO, M. C. de S. S.; PANTANO, A. P.; TRANI, P. E. Modelagem agrometeorológica para estimação do desenvolvimento e da produção de jiló. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 8, p. 832-837, 2011.

RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 24-32, jan. 2015.

ROSA, V. G. C.; et al., Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, 2010.

RUBEL, F; RUDOLF, B. Global daily precipitation estimates proved over the European Alps, **Meteorol. Z.**, v.10, p.403 – 414, 2001.

SANTOS, M. A. dos (2005) **Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro (Coffea arabica L.)**. 2006. 146p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônomo de Campinas, APTA, Campinas, 2005.

SANTOS, M. A.; CAMARGO, M. B. P. Calibration of an agrometeorological model for predicting coffee (*Coffea arabica* L.) productivity in Sao Paulo state, Brazil. **Bragantia**, v.65, n.1, p.173-183, 2006.

SILVA, E. A. et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 493-501, 2009.

SILVA-FUZZO, D.F. da; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M.B.P. de. Modelagem agrometeorológica para estimativa de produtividade de soja para o Vale do Médio Paranapanema-SP. **Irriga**, v.20, p.490-501, 2015. Disponível em: <10.15809/irriga.2015v20n3p490>.

THOMAZIELLO, R. A.; FAZUOLI, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. **Café arábica: “Cultura e técnicas de produção”**: Boletim técnico 187. Campinas, Instituto Agrônômico, 2000. p.2-6.

VICTORINO, E. C.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, D. F. Modelagem agrometeorológica para a previsão de produtividade de cafeeiros na região sul do estado de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 211-220, abr/jun. 2016.

WANG, X.; SONG, L.; CAO, Y. 2012; Analysis of the Weighted mean temperature of China based on sounding and ECMWF reanalysis data. **Acta Meteorologica Sinica** v.26, n.5, p. 642-652, 2012.

WESTBERG, D.; SOJA, A.; STACKHOUSE JR., P.W. Linking satellite-derived fire counts to satellite-derived weather data in fire prediction models to forecast extreme fires in Siberia. **Geophysical Research Abstracts 12**, EGU2010-5597, 2010.

WHITE, J.F.; HOOGENBOOM, G.; STACKHOUSE JR., P.W.; HOELL, J.M. Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. **Agricultural and Forest Meteorology** v.148, p.1574– 1584, 2008.