



WEZER LISMAR MIRANDA

**VALIDAÇÃO DE MODELO FENOLÓGICO DE
PRODUTIVIDADE DE CAFEIEIRO NO SUL DO
ESTADO DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2015

WEZER LISMAR MIRANDA

**VALIDAÇÃO DE MODELO FENOLÓGICO DE PRODUTIVIDADE DE
CAFEIRO NO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

LAVRAS – MG

2015

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

Miranda, Wezer Lismar.

Validação de modelo fenológico de produtividade de cafeeiro
no sul do estado de Minas Gerais / Wezer Lismar Miranda. –
Lavras: UFLA, 2015.

99 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: Luiz Gonsaga de Carvalho.

Bibliografia.

1. Fenologia do cafeeiro. 2. *Coffea arabica* L.. 3. Previsão de
produtividade. 4. Modelagem agrometeorológica. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

WEZER LISMAR MIRANDA

**VALIDAÇÃO DE MODELO FENOLÓGICO DE PRODUTIVIDADE DE
CAFEIEIRO NO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 6 de agosto de 2015.

Dr. Joel Irineu Fahl Instituto Agrônômico de Campinas

Dr. Rubens José Guimarães UFLA

Dr. Carlos Maurício Paglis UFLA

Dr. Marcelo Silva de Oliveira UFLA

Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho
Orientador

**LAVRAS – MG
2015**

Ao meu pai, Sr. Gabriel Miranda (*in memoriam*), pelas ocasiões nas quais se privou do seu merecido e necessário descanso para me ajudar com o dever de casa e em especial por aquela noite, em que iluminados apenas pelas estrelas; desfrutamos de um longo diálogo, até adormecemos juntos.

A minha mãe, Sra. Frezolina de Carvalho Miranda (*in memoriam*), pela lição da coragem necessária para lidar com as adversidades da vida e por ter forjado meu caráter de forma tão sábia e doce, valorizando sempre a família e a amizade.

DEDICO

As minhas irmãs, Lucimar Aparecida de Miranda e Liége Leida de Carvalho Miranda, por terem me suportado tão bravamente ao longo de todos esses anos, encontrando ainda razões para me facilitar a vida e a existência, sempre com zelo e dedicação;

Ao meu sobrinho, Axell Nunes Miranda Salustiano que por meio de sua jovialidade tem me ensinado a viver a vida com todo o seu frescor e leveza;

Aos meus avós, tios e tias, primos e primas por me ajudarem a ter a clareza quanto a minha origem, me mantendo conectado a grandiosidade do significado da expressão “seio familiar”;

A minha madrinha Arlete de Carvalho Magalhães que se dispôs, abertamente, a fazer parte da minha vida de forma tão marcante, a exemplo da parábola, me confiando um talento inestimável.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS que em sua infinita bondade me permitiu sentir sua presença em todos os lugares por onde andei;

À Universidade Federal de Lavras, pela educação de excelência e por me garantir a fonte para o pão de cada dia;

Ao Departamento de Engenharia, pela manutenção do ambiente favorável ao desenvolvimento intelectual;

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pelo atendimento às demandas por mim apresentadas;

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio explicitado no Processo 306204/2012-6;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto evidenciado no Processo CAG-APQ 01670/13;

Ao professor Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho, pelo companheirismo, apoio e principalmente, por se manter interessado em ver meu progresso profissional e pessoal;

Ao professor Dr. Pedro Castro Neto, pela amizade, por estar sempre disponível e pelas conversas sempre enriquecedoras;

Aos professores Dr. Ruben Delly Veiga e Dr. Renato Ribeiro de Lima, pela orientação e auxílio com as análises estatísticas;

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães, pela indicação de caminhos, ideias, auxílio e pelo exemplo de respeito e humildade no trato com as pessoas;

Ao gerente da regional da EMATER-MG em Lavras, Sr. Marcos Antônio Fabri Júnior, pelo atendimento à solicitação de apoio na indicação de propriedades;

Aos técnicos da EMATER-MG, Srs. Hely, Helter, Luiz Geraldo, Luciano e Saulo, por terem “aberto as porteiras” das fazendas nas quais foram feitas as avaliações, efetivamente viabilizando a realização do presente estudo;

Meus melhores cumprimentos e perene gratidão aos proprietários e/ou administradores das fazendas:

- a) Sr. José Vagner Ribeiro Junqueira e Kléber de Castro Junqueira, proprietários da Fazenda Serra das Três Barras;
- b) Sr. Otaviano Ribeiro Cegliar, proprietário e Sr. Afonso, administrador da Granja São Francisco;
- c) Sr. José Flávio Ferraz Reis e Sr. Pedro Sérgio Ferraz Reis proprietários da Fazenda Junqueira Reis;
- d) Sr. Sebastião Márcio Ribeiro Nogueira, proprietário do Sítio Sabará;
- e) Sr. Thiago Mesquita, proprietário da Fazenda Bela Vista;
- f) Sr. Paulo Lopes, proprietário e Sr. Vânio, administrador da Fazenda Poço Bonito;
- g) Sr. Jair de Souza Costa (pai) e aos irmãos Marcos, João Francisco e Luís Carlos Souza Costa, proprietários da Fazenda Novato;
- h) Srs. Ariel e Ênio administradores da Fazenda São Carlos;
- i) Sr. Luciano Toledo Rezende, proprietário e Sr. Leandro, administrador da Fazenda Bengala;
- j) Sr. Thiago Reghin proprietário da Fazenda da Mata;
- k) Srs. Ricardo Reghin, Elias Reghin e Eduardo Reghin associados da Comunidade dos Martins;

Pela confiança depositada, pela receptividade e disponibilidade dos dados de produção. E a todos esses, transmito ainda a certeza de que suas lavouras, nas safras 2012-2013 e 2013-2014 não produziram apenas frutos e serviram como fonte de renda, mas também contribuíram para a formação de um Doutor;

Aos colegas do curso de Pós-Graduação por dividirem comigo as mesmas angústias e incertezas do caminho e neste momento a satisfação e contentamento pelo encerramento de mais um ciclo da vida;

Aos membros do NEACLIM pela deferência com a qual sempre me trataram e por me concederem a oportunidade de durante nosso convívio poder ampliar meus conhecimentos;

Ao Paulo, Pietros, Lucas e Alan, pois com sua disposição em aprender, acenderam em mim o desejo de ensinar;

Aos pais, mães, irmãos e companheiros que encontrei no Grupo Espírita da Prece (GEP), pois com suas vibrações positivas e carinho para com minha pessoa, foram fonte de incentivo e inspiração durante a jornada até o presente;

Enfim, agradeço a todos que passaram pela minha vida e que de uma forma ou outra deixaram marcas, me norteando o caminho.

RESUMO

A produção do cafeeiro é influenciada pelas variações dos elementos climáticos, pela ocorrência de condições adversas (geada, veranico etc.) e pela própria fisiologia da planta (bienalidade). A previsão de produtividade do cafeeiro é bastante complexa devido aos intrincados mecanismos fisiológicos, à diversidade de cultivares e às condições de manejo. Considerando a importância da previsão de produtividade para regulação do mercado, com o presente estudo objetivou-se validar um modelo de estimativa de produtividade do cafeeiro, com base no uso de índices fenológicos, submetidos às condições edafoclimáticas da região sul de Minas Gerais. Para tanto, utilizou-se 10 talhões amostrais, distribuídos nos municípios de Lavras, Varginha, Carmo de Minas, Ijaci e Santo Antônio do Amparo. O critério para escolha dos talhões baseou-se na existência de um histórico de produtividade superior a 40 sc ha⁻¹. As informações meteorológicas necessárias foram coletadas na Estação Climatológica Principal pertencente ao INMET e instalada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e considerando-se como representativa da região. Foi realizado o balanço hídrico para o período que envolveu o estudo, compreendendo as safras 2012/2013 e 2013/2014. As coletas de dados fenológicos se deram nos meses de setembro/outubro, dezembro/janeiro e março/abril. Os dados fenológicos observados foram número de flores, frutos (chumbinho) e frutos verdes no 4º e 5º nó produtivo de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas escolhidas. A escolha de plantas foi feita de forma aleatória a partir de caminhamento em “zig-zag”, a cada dez metros de distância em quatro entre linhas de café, coletando as informações alternadamente entre ramos a direita e a esquerda do caminhamento. Foram amostradas 40 plantas em cada talhão, cujas alturas também foram medidas para compor o Índice Fenológico de Produtividade 1 e 2 (IFP1 e IFP2). Para comparação e validação dos modelos foi obtida a informação referente a produção observada. Os resultados de previsão obtidos foram submetidos aos testes estatísticos do coeficiente de determinação, coeficiente de correlação, índice de concordância, índice “C”, erro médio, desvio médio absoluto, erro médio percentual absoluto e ao erro quadrático médio. Os resultados indicaram que os modelos analisados são aplicáveis às lavouras cafeeiras da região sul de Minas Gerais. Os índices IFP1 e IFP2 apresentaram boa correlação com a produtividade observada. As ocorrências meteorológicas adversas do período influenciaram o desempenho do modelo.

Palavras-chave: Fenologia do cafeeiro. *Coffea arabica* L.. Previsão de produtividade. Modelagem agrometeorológica.

ABSTRACT

Coffee production is influenced by the variations of the climatic elements, by the occurrence of adverse conditions (frost, dry spells, etc.) and by plant physiology (bienennial). The prediction for coffee productivity is very complex due to the intricate physiological mechanisms, cultivar diversity and management conditions. Considering the importance of predicting the productivity for market regulation, with the present study we aimed at validating a model for estimating coffee productivity, based on the use of phenological indexes, submitted to the edaphoclimatic conditions of the southern region of Minas Gerais, Brazil. For this, we used 10 sample plots, distributed in the municipalities of Lavras, Varginha, Carmo de Minas, Ijaci and Santo Antonio do Amparo. The criteria for choosing the plots was based on the existence of a history of productivity superior to 40 sc ha⁻¹. The necessary meteorological information were collected from the Main Climatological Station belonging to INMET and installed at the campus of the Universidade Federal de Lavras (UFLA, considering as representative of the region. We conducted a hydric balance for the period in which the study was conducted, encompassing the harvests of 2012/2013 and 2013/2014. The collection of phenological data was conducted during the months of September/October, December/January and March/April. The phenological data observed were number of flowers and fruits in the fourth and fifth productive knot of plagiotropic branches of the middle third of the chosen plants. The choosing of the plants was done randomly from walking in zigzag, every ten meters of distance in four between coffee lines, alternately collecting information between branches on the right and on the left. We sampled 40 plants in each plot, of which heights were measured to comprise the Productivity Phenological Indexes 1 and 2 (IFP1 and IFP2). For comparison and validation of the models, we obtained information regarding the production observed. The prediction results were submitted to statistical tests of coefficient of determination, coefficient of correlation, concordance index, C index, mean error, mean absolute deviation, mean absolute error percentage and mean quadratic error. The results indicated that the analyzed models are applicable to coffee crops of the southern region of Minas Gerais. IFP1 and IFP2 presented good correlation with the productivity observed. The adverse meteorological occurrences of the period influenced the performance of the model.

Keywords: Coffee phenology. *Coffea arabica* L.. Productivity prediction. Agrometeorological modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais países produtores de café no mundo – safra 2013/2014.....	23
Figura 2	Principais estados produtores de café no Brasil – safra 2013/2014.....	25
Figura 3	Esquematização das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil	33
Figura 4	Extrato do Balanço Hídrico Climatológico para Lavras-MG nos anos de 2012 (A), 2013 (B) e 2014 (C)	62
Figura 5	Equações utilizadas para estimativa de produtividade do cafeeiro, a partir do IFP1, nas diferentes fases fenológicas	70
Figura 6	Equações utilizadas para estimativa de produtividade do cafeeiro, a partir do IFP2, nas diferentes fases fenológicas	73
Figura 7	Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2012/2013, considerando o IFP1	79
Figura 8	Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2013/2014, considerando o IFP1	80
Figura 9	Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2012/2013, considerando o IFP2	81
Figura 10	Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2013/2014, considerando o IFP2	82
Figura 11	Comparativo entre produtividade estimada média em relação à produtividade observada média, para as safras 2012/2013 e 2013/2014, considerando o IFP1.....	83
Figura 12	Comparativo entre produtividade estimada média em relação à produtividade observada média, para as safras 2012/2013 e 2013/2014, considerando o IFP2.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Talhões amostrais avaliados na região sul de Minas Gerais.....	50
Tabela 2	Coefficientes de desempenho “C” conforme Camargo e Sentelhas (1997).....	59
Tabela 3	Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), nas safras 2012/2013 e 2013/2014.....	65
Tabela 4	Valores do Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1), obtidos na época da florada, chumbinho e granação para as safras 2012/2013 e 2013/2014.....	67
Tabela 5	Valores do Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2), obtidos na época da florada, chumbinho e granação para as safras 2012/2013 e 2013/2014.....	68
Tabela 6	Resultados das análises estatísticas aplicadas nos modelos matemáticos fenológicos para o ano 2012/2013	76
Tabela 7	Resultados das análises estatísticas aplicadas nos modelos matemáticos fenológicos para o ano 2013/2014	77
Tabela 8	Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), comparativamente às produtividades estimadas com o IFP1, nas safras 2012/2013 e 2013/2014	86
Tabela 9	Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), comparativamente às produtividades estimadas com o IFP2, nas safras 2012/2013 e 2013/2014	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	A cafeicultura	19
2.2	O agronegócio café.....	20
2.2.1	Cenário mundial	22
2.2.2	Cenário nacional.....	24
2.3	Aspectos climáticos.....	26
2.4	Ciclo fenológico do cafeeiro	31
2.4.1	Fenologia	31
2.4.2	Bienalidade da produção do cafeeiro.....	35
2.5	Estimativa de produtividade do cafeeiro.....	37
2.5.1	Modelos agrometeorológicos	38
2.5.2	Modelos agrometeorológicos espectrais.....	41
2.5.3	Modelos matemáticos	44
2.5.4	Modelos fenológicos.....	45
3	MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1	Locais experimentais	49
3.2	Informações climáticas.....	51
3.3	Arranjo experimental para teste do modelo de estimativa	52
3.4	Parâmetros fenológicos observados	53
3.4.1	Contagem de flores, chumbinhos e frutos granados.....	54
3.4.2	Número de nós produtivos do ramo.....	54
3.4.3	Altura das plantas.....	54
3.5	Modelo matemático fenológico de estimativa de produtividade	55
3.5.1	Índice fenológico de produtividade 1 (IFP1)	56
3.5.2	Índice fenológico de produtividade 2 (IFP2).....	56
3.5.3	Produtividade observada	57
3.6	Avaliação do modelo.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1	Análise climatológica.....	62
4.2	Produtividade observada	65
4.3	Índices fenológicos	66
4.4	Produtividade <i>versus</i> índices fenológicos.....	70
4.4.1	IFP1	70
4.4.2	IFP2	72
4.5	Testes dos modelos.....	74
4.5.1	IFP1 para a safra 2012/2013	78
4.5.2	IFP1 para a safra 2013/2014	80
4.5.3	IFP2 para a safra 2012/2013 e 2013/2014	81

4.6	Comparativo entre médias.....	82
4.6.1	Comparativo entre valores absolutos.....	85
5	CONCLUSÕES.....	90
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Café, palavra cuja origem não é bem definida e cujo significado se relaciona tanto à planta quanto ao fruto, à bebida e aos estabelecimentos que o comercializam, tem na expressão cafeeiro uma referência à planta que produz o referido fruto. Planta esta originária das regiões montanhosas da Abissínia, no continente africano, hoje conhecida como Etiópia. E cuja história não apresenta, documentalmente, indicativos do seu conhecimento e utilização anteriores ao século XV. Apesar de haver relatos que mencionam o seu uso anterior a essa época, além de várias lendas a respeito da sua descoberta.

No entanto, com todas as lendas envolvendo a descoberta do café o que há de positivo é que os holandeses ao descobrirem seu sabor e inclusive seus efeitos terapêuticos, o levaram para a Europa e para suas colônias na Ásia e América Central. Assim, essa cultura se tornou conhecida pelo mundo todo, inclusive com a forma de tomar que ainda hoje, de forma geral, habituou-se a consumi-la.

Esse movimento de expansão do uso de café ao redor do mundo se confunde com a história do desenvolvimento político, social e cultural de vários países, como é o caso do Brasil. E hoje, o café, é uma bebida universal, sendo servida à mesa de bilhões de pessoas, sem distinção de credo, classe social e nacionalidade. O que leva ao seu cultivo em localidades diversas com diferentes características edafoclimáticas, evidenciando sua capacidade de adaptação.

Dentre todos os países produtores de café no mundo, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador, além de ser o segundo maior mercado consumidor, atrás somente dos Estados Unidos da América. A fim de mudar esse cenário, fazendo o País se tornar também o maior consumidor mundial, foram criadas associações, conselhos, certificações, programas específicos, dentre outras iniciativas com vistas a promover a cafeicultura atendendo as

exigências do mercado, no que diz respeito a sustentabilidade do sistema produtivo.

Ainda nesse contexto, a cafeicultura se destaca no mercado interno e externo, com participação decisiva na elevação dos indicadores de exportação e no aumento do superávit da balança comercial do País e de estados produtores como Minas Gerais.

Devido a essa relevante contribuição para o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras é que os conhecimentos gerados em instituições de pesquisa, ensino e extensão, têm possibilitado ainda mais avanços na cafeicultura desde sua implantação até a comercialização, reduzindo os riscos inerentes à atividade.

Dentre os riscos aos quais a produção cafeeira está sujeita, os de maior impacto e que limitam a possibilidade de atuação dos produtores com o objetivo de minimizar seus efeitos são referentes às condições meteorológicas locais. Como exemplos pode-se citar a ocorrência de granizo, ventos, veranicos, elevados níveis de radiação, altas temperaturas que podem ocasionar a perda de rendimento, baixas temperaturas e a deficiência hídrica que pode afetar diferentes estádios do ciclo fenológico da cultura, tendo como consequência danos a variados aspectos fisiológicos.

Junto a essa questão há que se considerar que o café é uma commodity, cujos preços são definidos em bolsas de mercadorias ao redor do mundo. E sendo esses dependentes das expectativas criadas para a disponibilidade do produto e da demanda prevista, o cafeicultor fica exposto a mais um fator em relação ao qual suas possibilidades de exercer algum nível de controle ficam limitadas.

Para lidar com esses fatores considerados não controláveis e visando garantir a viabilidade financeira da atividade, torna-se imprescindível a realização de um planejamento detalhado da aplicação ou não de recursos e das

operações necessárias para garantir determinado nível de produção. Nesse aspecto se destaca a relevância de se realizar previsões de custos e sobretudo estimativas de produtividade para identificar a melhor combinação no emprego de recursos, com o fim de otimizar os resultados econômicos.

Diante disso é que dos vários ramos da pesquisa aplicados à cafeicultura, um direcionamento especial tem sido dado às metodologias de estimativa de produção de safra. Essas pesquisas têm como intuito auxiliar o produtor na tomada de decisão quanto ao adequado gerenciamento do negócio e minimizar o efeito das especulações quanto à produtividade esperada.

Minimizar as especulações é importante, pois na medida em que essas se distanciam da produtividade real – em geral isso se dá no sentido das superestimativas – o produtor é diretamente impactado com os preços a serem pagos pela saca de café. Os quais poderão estar em dissonância com os reais custos de produção, o que afeta negativamente todos os agentes (cafeicultores, trabalhadores rurais, profissionais etc.) da cadeia produtiva do café.

Alguns dos métodos de estimativa de produtividade do cafeeiro desenvolvidos até o presente momento envolvem um elevado nível de subjetividade que restringe a possibilidade de reprodução dos mesmos ante cenários adversos do ponto de vista meteorológico, fitossanitário, econômico etc.

Outras estimativas têm sido realizadas com embasamento em amostragens realizadas pelos agentes técnicos do setor que atuam em cooperativas e órgãos governamentais, visando representar áreas de cultivo com dimensões consideráveis, no entanto essa informação não permite a análise apurada dos erros envolvidos.

Essas estimativas também têm sido realizadas com base em modelos exclusivamente agrometeorológicos, mas que para o café, envolvem uma alta complexidade devido a fatores inerentes à cultura, o que inviabiliza a aplicação

dos mesmos por agentes sem a formação técnica necessária para tanto. Algo comum de acontecer, considerando a diversidade sociocultural daqueles que atuam no setor.

Contudo, é sabido que a variabilidade dos elementos meteorológicos, no espaço e no tempo, tem efeito direto e determinante na produtividade do cafeeiro, evidenciando assim a importância de se ajustar os diferentes modelos às indicações de produção obtidas com base na agrometeorologia.

Dentre os fatores que dificultam a aplicação de modelos exclusivamente agrometeorológicos na estimativa de produtividade do cafeeiro estão a bienalidade, a diversidade de cultivares utilizados, a variação do espaçamento de plantio, as diferenças de idade das lavouras, os tipos de solo, o nível de fertilidade dos mesmos, os sistemas de manejo, dentre outros de ordem cultural e econômica.

Mediante esses aspectos, uma alternativa possível de atender a demanda por modelos de estimativa de produtividade do cafeeiro com bom índice de acerto e considerável nível de simplicidade, passível de ser executado mesmo por quem não tem experiência na área, são os modelos que envolvem índices fenológicos de produtividade.

Recentemente, diferentes trabalhos têm sinalizado com a adequação do uso desses índices fenológicos que refletem os efeitos das condições meteorológicas em cada fase de desenvolvimento do cafeeiro, além do efeito dos demais fatores que influenciam a produtividade, para a realização da estimativa desta com elevada precisão. Dentre os trabalhos consultados encontrou-se resultados com precisões superiores a 90%, no entanto, esses foram obtidos em safras cujos regimes hídricos e térmicos das regiões produtoras de café avaliadas se mantiveram dentro de uma relativa normalidade e foram aplicados a propriedades nas quais o manejo das lavouras eram similares, no que diz respeito a mecanização de alguns processos e ao cultivo de sequeiro.

Com a necessidade premente de se realizar estimativas de produtividade do cafeeiro com o devido embasamento técnico-científico e ainda sendo possível conciliar com uma metodologia simples, precisa e abrangente, no que diz respeito às possibilidades de sua aplicação a diferentes regiões produtoras com suas peculiaridades regionais, em condições meteorológicas adversas é que se justifica a continuidade das pesquisas nessa área.

Desse modo, propõe-se validar um modelo de estimativa de produtividade do cafeeiro, baseado em dois índices fenológicos de produtividade aplicados a lavouras no sul do estado de Minas Gerais que apresentavam diferentes níveis de tecnificação; lavouras irrigadas e de sequeiro; e durante duas safras nas quais coincidentemente, as condições meteorológicas observadas no período, apresentaram níveis consideráveis de anormalidade quanto às ocorrências registradas para alguns elementos meteorológicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cafeicultura

O cafeeiro é um arbusto pertencente a classe das Dicotiledôneas, a família Rubiaceae, ao gênero *Coffea* e há descritas aproximadamente 100 espécies, no entanto, dessa totalidade de espécies ainda pouco se sabe sobre seu potencial comercial e suas possibilidades de aproveitamento em programas de melhoramento (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002). Dentre as espécies descritas, as de maior relevância no que se refere ao aproveitamento econômico no cenário mundial são a *Coffea canephora* Pierre (café robusta ou conilon) e a *Coffea arabica* Lineu (café arábica).

A espécie *Coffea canephora* P. ocorre naturalmente em regiões de baixa altitude ao longo do rio Congo, no Zaire; de áreas ao longo do lago Victoria, em Uganda; e de terras ao Nordeste da Angola, onde a temperatura média anual está entre 24 e 26 °C, com níveis de precipitação anual acima de 2.000 mm (CAMARGO; PEREIRA, 1994). A espécie *Coffea arabica* L. é nativa dos sub-bosques das florestas da Etiópia e Sul do Sudão, localizadas em altitudes de 1.600 a 2.000 m, onde o clima é ameno e úmido, com uma estação seca de 2 a 4 meses de duração e cujas temperaturas oscilam de 17 °C a 19 °C em meses frios e de 22 °C a 26 °C nos meses mais quentes (REIS; CUNHA, 2010).

Com essa caracterização do cafeeiro e dos locais de sua ocorrência natural, torna-se crível a lenda quanto a sua descoberta e compreende-se os relatos históricos relacionados ao trajeto dessa cultura pelo do mundo.

Pela lenda, diz-se que um pastor da região da antiga Abissínia (Etiópia) ao observar que suas cabras ficavam mais alegres e saltitantes quando comiam folhas e frutos de um arbusto (cafeeiro), esse o experimenta e sente-se mais vivaz e disposto para o trabalho. A partir desse fato, o efeito da ingestão do fruto

se torna conhecido em toda a região norte da África, alcançando posteriormente o oriente médio.

Após a difusão do hábito de se tomar café entre os povos árabes, pelo que se lê em EMBRAPA CAFÉ (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2004), os holandeses, na época das navegações e de comercialização de produtos com diferentes países, levaram frutos de café para serem cultivados em suas colônias na Ásia e América Central. Ainda segundo essa obra, o café entrou no Brasil no ano de 1727 pelo estado do Pará e passou pelo Maranhão, Ceará, Pernambuco e Bahia, até chegar, em 1773 ao Rio de Janeiro e após, em 1825, alcançou os estados de São Paulo e Minas Gerais onde encontrou condições para o seu desenvolvimento, se beneficiando do clima e das terras férteis, o que fez do Brasil o maior produtor mundial de café já no final do século XIX.

E na história mais recente, de acordo com Zambolim (2000), a partir da segunda metade da década de 1990, em razão do desenvolvimento tecnológico relacionado às condições gerais de cultivo e devido à implementação de determinadas políticas de gestão do setor, a cafeicultura brasileira expandiu suas áreas para novas regiões, antes consideradas marginais, como o Triângulo Mineiro, o oeste baiano e o estado do Paraná, com o cultivo de café arábica. E quanto ao café robusta, notou-se a migração do seu cultivo para o estado de Rondônia e Sul da Bahia. Este autor ainda destaca que esses deslocamentos contribuíram para a sustentabilidade do aumento da produção de café no Brasil.

2.2 O agronegócio café

O café é uma bebida universal, amplamente consumida pelos povos com as mais variadas culturas, pelas pessoas das mais distintas classes sociais e crenças religiosas devido ao seu aroma e sabor. E de acordo com EMBRAPA

(2004), o café também tem sido recomendado como remédio na luta contra o alcoolismo, a depressão, o suicídio e na prevenção de doenças como as de Parkinson e Alzheimer, em razão de ser considerado um alimento nutracêutico (de valor nutricional e farmacêutico).

Contudo, mesmo com o expressivo interesse da indústria alimentícia, farmacêutica e até cosmética, é necessário compreender que o café é uma commodity com o preço regulado pelas bolsas de mercadorias de todo o mundo, o que ocorre em função das expectativas de oferta e demanda do produto. Neste contexto, Sette, Andrade e Teixeira (2010) destacam que no âmbito da propriedade agrícola, o planejamento financeiro com previsão do custo de produção da saca de café é de fundamental importância para se nortear as tomadas de decisões quanto a utilização de determinados insumos, acrescentando ainda que devem ser realizadas simulações, com previsões de custo e produtividade para identificar a melhor combinação no uso dos recursos, objetivando a maximização dos resultados econômicos e financeiros, levando em consideração os aspectos sociais e ecológicos.

No entanto, Rosa (2007), afirma que em decorrência da própria estrutura do processo produtivo, o setor cafeeiro apresenta significativa variabilidade nos preços em relação a outros setores da economia e tem ampla dificuldade para ajustar os custos de produção aos preços pagos pelo mercado. Carvalho (2003) evidencia essa situação com a questão da informação confiável, quanto às estimativas de produção, pois a imprecisão dessas informações gera especulações, prejudicando a lógica de preços a serem praticados em todos os níveis do setor. E exemplifica, indicando que se a expectativa for de uma oferta demasiadamente elevada, isso pode provocar uma queda acentuada nos preços e se a expectativa for de queda na produção os preços se elevam, o que se torna um ciclo com impactos imediatos no nível de investimento nas lavouras cafeeiras.

E esses ciclos, aliados à instabilidade dos retornos econômicos, ao alto grau de internacionalização, à competição acirrada, à especulação entorno de preço e níveis crescentes de exigência fazem do café uma cultura cujas informações do cenário internacional são imprescindíveis para torná-lo uma atividade lucrativa (CAIXETA, 2001).

2.2.1 Cenário mundial

A produção mundial de café na safra 2012/2013 foi de aproximadamente 147.562.000 sacas e na safra 2013/2014 a produção foi de 146.745.000 sacas (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - IOC, 2015), divididas basicamente entre café arábica e café robusta.

Nesse cenário e considerando o histórico de safras anteriores, o Brasil vem se destacando como o maior produtor e exportador de café no mundo, bem como, detentor da maior área plantada, sendo que na safra 2014/2015 a totalização dessa área chegou a 2.258,9 mil hectares, superando a área colhida na safra anterior em 0,2%, segundo dados apresentados pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2015a).

Dirigindo a atenção apenas para a safra 2013/2014, como pode-se observar na Figura 1, a produção brasileira superou a do segundo país maior produtor, o Vietnã, em aproximadamente 44%. No entanto, já houve safras nas quais a produção brasileira, isoladamente, foi equivalente a soma da produção dos outros cinco países maiores produtores que na sequência são o próprio Vietnã, a Colômbia, a Indonésia, Etiópia e Índia. E cabe ainda destacar que no decorrer dos últimos anos essas posições permaneceram praticamente inalteradas.

Nessa mesma safra 2013/2014, o Vietnã produziu 27.500.000 sacas, ou 18,7% do total mundial; a Colômbia 12.124.000 sacas, ou 8,3% do total

mundial; e a Indonésia 11.667.000 sacas, equivalente a 8% da produção mundial; apenas para citar os principais países produtores.

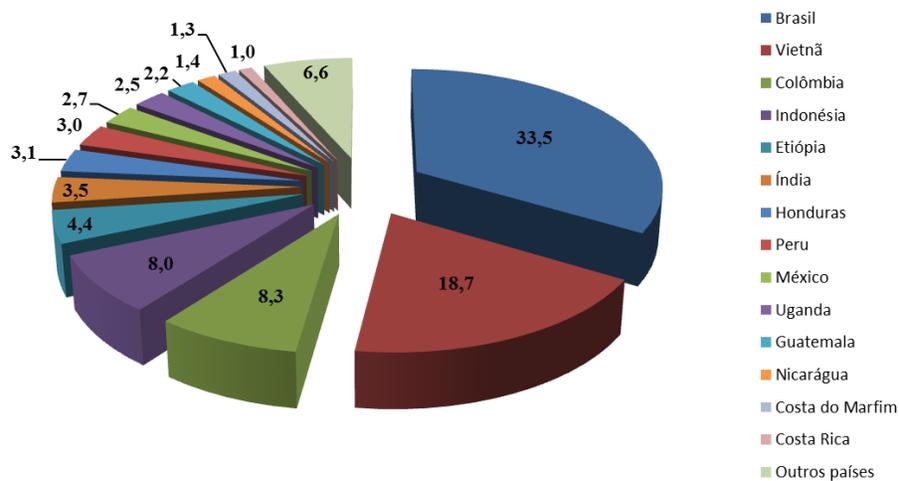


Figura 1 Principais países produtores de café no mundo – safra 2013/2014
Fonte: ICO (2015).

Também pode-se observar na Figura 1 que a produção brasileira representa 33,5% do mercado internacional, o que de acordo com Oliveira (2007), coloca a mesma na condição de ser a ordenadora de preços no mercado mundial, tornando a previsão da produção nacional a mais esperada e comentada nesse cenário.

Sobre o mercado mundial, ainda é importante mencionar que países como a Alemanha e Estados Unidos da América que não têm tradição no cultivo de café, em razão de não apresentarem condições climáticas favoráveis, no que se refere à importação e consumo ganham destaque pelos volumes envolvidos em suas transações.

Fato que pode ser observado com os dados divulgados pela ICO (2015), onde evidencia-se que no ano de 2013, os dois países juntos, importaram o equivalente a 32,6% da produção mundial daquele ano, sendo 27.016.000 sacas adquiridas pelos Estados Unidos da América e 21.174.000 sacas pela Alemanha. E com essa ordem de grandeza de volumes importados, após agregar valor ao produto, torrando e moendo os grãos, a Alemanha figura como um dos principais países exportadores de café industrializado, o comercializando pela Europa, Ásia, África etc.

2.2.2 Cenário nacional

Historicamente o estado de Minas Gerais se destaca como o maior produtor de café no Brasil, havendo safras nas quais essa produção representou mais de 50% da produção nacional. E no estado, a produção está concentrada na região sul que se considerada isoladamente produz algo entorno de 25% da produção nacional.

Na Figura 2 observa-se a contabilização proporcional da produção nacional na safra 2013/2014, onde tem destaque justamente a participação do estado de Minas Gerais com um montante de 56,3% ou o equivalente a 27.660.000 sacas dentre as quais, 27.380.000 somente de café arábica e as demais 280.000 sacas, de café robusta.

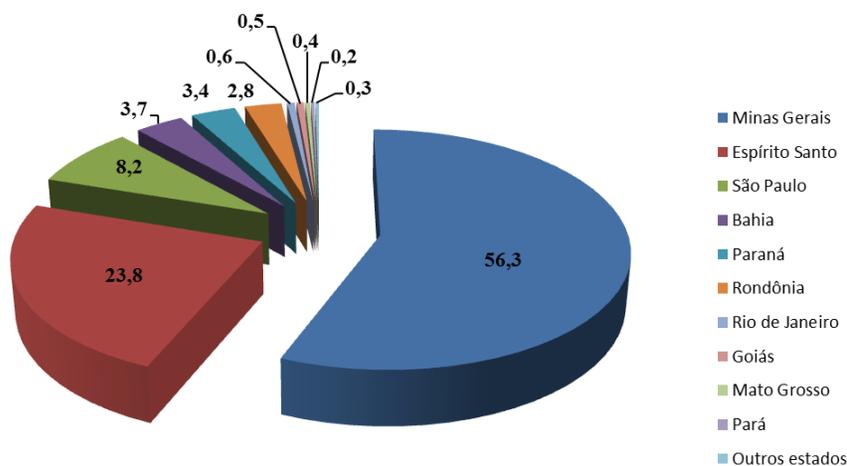


Figura 2 Principais estados produtores de café no Brasil – safra 2013/2014
Fonte: CONAB (2015b).

Essa possibilidade de no mesmo estado ter-se a produção de espécies distintas evidencia a diversidade das condições edafoclimáticas do mesmo e a adequada adaptação da cultura, uma vez que essa produção de café robusta se deu apenas em parte da Zona da Mata e no Norte do estado. Ainda sobre os dados da produção no estado de Minas Gerais, é interessante notar que a região sul concentrou quase a metade da mesma, 48%, fato que nas séries históricas também fica evidenciado.

E essa informação conjuntamente a da produção do estado ao longo da história, subsidiam o entendimento de que se Minas Gerais e a região sul fossem consideradas, separadamente, um país, ter-se-ia respectivamente, o segundo e terceiro maiores produtores de café no mundo.

Com relação aos demais estados produtores, destaca-se o Espírito Santo em segundo lugar, com a produção de 11.697.000 sacas, com predominância de cultivo do café robusta, representando 70% do total e na terceira posição o

estado de São Paulo com 4.010.000 sacas, somente de café arábica. Na sequência, os estados da Bahia, Paraná e Rondônia, proporcionalmente, dão uma contribuição à produção nacional em níveis semelhantes, entorno de 3,3%.

Quanto ao parque cafeeiro nacional, tomando ainda a safra 2013/2014 como referência, de acordo com CONAB (2015b) a área total cultivada no Brasil foi de 2.311.599 ha, sendo 295.174 ha de cafeeiros em formação e 2.016.425 ha de cafeeiros em produção.

No que se refere à produtividade por estados, essa variou de 8,21 a 41,6 sc ha⁻¹, com média nacional de 24,3 sc ha⁻¹. As maiores produtividades têm sido observadas nas áreas de Cerrado onde se destaca os estados da Bahia e Goiás com 33,6 e 41,6 sc ha⁻¹, respectivamente, segundo dados da CONAB (2015b). E para Fernandes et al. (2012), essa maior produtividade está associada, principalmente, a uma cafeicultura moderna, com utilização apropriada de irrigação, mecanização (topografia favorável) e adubação, dentre outras práticas agrícolas favoráveis.

2.3 Aspectos climáticos

As condições meteorológicas locais são alvo da constante atenção dos produtores de café, pois limitam a possibilidade de atuação com o objetivo de minimizar seus efeitos, tais como os decorrentes de granizo, ventos, veranicos, elevados níveis de radiação, altas temperaturas que podem ocasionar a perda de rendimento, baixas temperaturas que ocasionam a morte de tecidos foliares e a deficiência hídrica que pode afetar diferentes estádios do ciclo fenológico da cultura e como consequência acarretar danos a variados aspectos fisiológicos.

Na visão de Matiello (1991), para que possa crescer e produzir bem, o cafeeiro necessita de condições climáticas favoráveis, tendo na temperatura e

chuvas e em menor escala ventos, umidade do ar e luminosidade os elementos de maior influência.

E para Pereira, Camargo e Camargo (2008), a planta enquanto organismo vivo, tem em seu desempenho produtivo uma função dependente da integração dos estímulos impostos pelo ambiente ao longo de sua vida, em que o ambiente ideal para uma dada espécie deve ser aquele de sua região de origem.

Diante dessa percepção e considerando que o cafeeiro é uma planta originária da região equatorial do continente africano, localizada entre 6° e 12° de latitude norte e que esse cresce naturalmente como vegetação de sub-bosque, nota-se que o mesmo é adaptado às condições de sombra. E, segundo Rena e Maestri (1987), a influência do comprimento do dia é marcante na diferenciação dos botões florais, sendo que o cafeeiro é uma planta de dias curtos na qual não há a diferenciação caso os dias tenham mais de 13 ou 14 horas de luz.

No que se refere ao regime térmico, nas regiões altas da Etiópia (entre 1.300 m e 2.800 m de altitude) onde o café ocorre como vegetação espontânea o ritmo da temperatura média mensal varia bem pouco entorno da média anual de 18,2 °C. E a temperatura mínima raramente alcança 5 °C, enquanto a máxima é inferior a 31 °C (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

Nessa discussão, de forma geral, autores como Alègre (1959), Camargo (1977), Carr (2001) e Coste (1989) concordam que a faixa de temperatura média anual característica de uma região apta para o cultivo de cafeeiro arábica fica entre 18 e 22 °C. E também concordam que médias de temperatura entre 17 °C e 18 °C ou 22 °C e 23 °C marcam regiões marginais; e médias menores que 17 °C ou maiores que 23 °C marcam regiões inaptas. Quanto ao robusta a classificação proposta é a seguinte: apta entre 22 e 26 °C; como não há indicativos que apontem um limite superior, considera-se temperaturas acima de 27 °C como marginais; marginal também entre 20 °C e 22 °C; e inapta para temperaturas menores que 20 °C.

Para autores como Camargo (1985), a temperatura é o elemento climático mais importante para definir a aptidão climática do cafeeiro, em cultivos comerciais. Assim, trabalhos como os de Carvalho et al. (2011), Petek, Sera e Fonseca (2009) e Pezzopane et al. (2008) têm sido desenvolvidos com os objetivos de determinar a temperatura-base; as necessidades térmicas de cultivares de café arábica; de classificar cultivares por grupo de precocidade de maturação; de monitorar a temperatura média da florada até o estágio de maturação; e de avaliar o desempenho de índices bioclimáticos tais como o térmico e heliotérmico de Geslin, tudo sempre em associação com os estágios fenológicos da cultura, como por exemplo, para realizar a estimativa da duração dos subperíodos florescimento–fruto verde cana, fruto verde cana–fruto cereja etc.

E ainda apontando destaques importantes quanto a influência da temperatura no desenvolvimento do cafeeiro, pela indicação de Rena e Maestri (1987), a máxima fotossíntese ocorre a uma temperatura de 24 °C, havendo decréscimo de 10% no processo, com o aumento de cada grau da temperatura acima e assim a 34 °C a fotossíntese é nula e devido a esse fenômeno, o crescimento e a produção do cafeeiro arábica são maiores em regiões de clima mais ameno.

Para Sedyama et al. (2001), as “estrelinhas” se formam devido temperaturas iguais ou superiores a 34 °C que também podem favorecer o abortamento floral, o que diminui consideravelmente a produtividade. Temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C no abrigo implicam na formação de geadas de radiação. Nas encostas de face Sul e Sudoeste, pode também ocorrer sintomas típicos de "crestamento" foliar no período de invernos, por ficarem suscetíveis à influência de ventos moderados a fortes, com temperaturas baixas. E por fim, Pezzopane (2004) menciona que temperatura de -2 °C próxima às

folhas da planta provoca danos aos tecidos e temperaturas de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ podem acarretar, inclusive, a morte dos tecidos celulares.

Quanto aos efeitos do vento em cafeeiros, de acordo com Camargo e Pereira (1994), estes podem ser diretos, simplesmente mecânicos, quando acarretam danos às folhas e às gemas, além de potencializar a queda de flores e frutos em desenvolvimento; ou indiretos, como os ecofisiológicos, provocando aumento da demanda hídrica ou facilitando a penetração de microrganismos.

Para esses danos potenciais, Matiello (1991) lista ocorrências prováveis citando-se que ventos constantes fazem as folhas ficarem corroídas, com bordas dilaceradas e deformadas; as margens das folhas novas e a ponta dos ramos são queimados pelos ventos frios; os ventos produzem lesões ou ferimentos por onde entram fungos e bactérias causadores de doenças como a phoma, mancha areolada, antracnose etc.; em áreas frias e úmidas os ventos provocam a seca de ponteiros; e que ventos frios, quando fortes e persistentes, podem intensificar o fenômeno conhecido como geada de advecção.

No que se refere a disponibilidade hídrica, o solo com suas características físicas e químicas desempenha papel primordial a qualquer cultura. E segundo Meireles et al. (2009a), para o cafeeiro a profundidade efetiva do solo deve ser de pelo menos 1,5 m, em boas condições de textura e de estrutura, para que a planta possa manter um sistema radicular suficiente para absorção de água e nutrientes, apesar da maior parte das raízes ativas concentrar-se na primeira camada de solo, até a profundidade de 0,3 m.

Os referidos autores ainda fazem uma complementação, dizendo que o café arábica, enquanto planta de sub-bosque, tem necessidade de regular a quantidade de umidade no ar e no solo, que é dada pelas chuvas. E quanto à quantidade pluviométrica ideal para atendimento das necessidades fisiológicas de cada fase do ciclo fenológico do cafeeiro, Àlegre (1959) indica que esta fica compreendida entre 1.200 e 1.800 mm anuais.

De acordo com Camargo (1974), para o cafeeiro vegetar e frutificar normalmente é necessário que o mesmo encontre condições adequadas de umidade no solo durante o período de vegetação e frutificação, que vai de setembro/outubro até abril/maio. Na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a umidade pode reduzir bastante e aproximar-se do ponto de murchamento, sem, com isso, trazer grandes prejuízos para a planta. Sendo que, no caso de ocorrer uma deficiência hídrica no período de julho a agosto, fase anterior à antese, esta pode inclusive se tornar benéfica, favorecendo uma floração mais uniforme já nas primeiras chuvas de setembro (MEIRELES et al., 2009b).

Os déficits hídricos podem levar à queda de produtividade do cafeeiro, embora seus efeitos dependam da duração e da intensidade da deficiência hídrica e do estágio fenológico em que a planta se encontra. Segundo Camargo e Camargo (2001), nos estágios fenológicos de vegetação, formação do grão e maturação, uma deficiência hídrica severa pode afetar a produtividade.

Camargo (1977), analisando dados comparativos do balanço hídrico climatológico de várias regiões produtoras do Brasil, declarou que a cafeicultura pode suportar deficiências hídricas de até 150 mm por ano, principalmente se esse período não se prolongar até o mês de setembro, ficando restrito à fase de abotoamento e repouso, e se as condições de solo forem adequadas. Este autor também estabeleceu os limites de cultivo de café, com base no déficit hídrico anual, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1995), para a capacidade de água disponível no solo igual a 125 mm, definindo-se como áreas aptas aquelas com deficiência inferior a 150 mm; áreas marginais, com deficiência entre 150 e 200 mm; e inaptas aquelas com deficiência superior a 200 mm.

Dada a relevância da questão hídrica, apontada acima para o cafeeiro, é que acredita-se que Camargo, Rolim e Santos (2007) mencionam a importância de se avaliar variáveis como precipitação média anual, distribuição da

precipitação durante o ano, balanço hídrico, época e intensidade das deficiências e dos excedentes hídricos e características físicas do solo, quando do planejamento do manejo agrícola a ser efetuado à lavoura cafeeira.

E nesse aspecto é que Meireles et al. (2004, 2007, 2009b) propõem como forma de avaliar os períodos com excedentes e deficiências hídricas, ao longo do ano, o balanço hídrico seriado ou sequencial, normalmente utilizado no monitoramento agrometeorológico, no entanto, em escala diária, decendial, semanal e/ou mensal.

2.4 Ciclo fenológico do cafeeiro

2.4.1 Fenologia

De modo abrangente, Morellato (1995) define fenologia como sendo o estudo das fases ou atividades do ciclo de vida de plantas ou animais e sua ocorrência temporal ao longo do ano, contribuindo para o entendimento dos padrões reprodutivos e vegetativos de plantas e animais que delas dependem. Sendo mais específicos e dirigindo o entendimento para culturas agrícolas, Fancelli e Dourado Neto (1997) definem fenologia como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente.

Complementando o entendimento, Pereira, Camargo e Camargo (2008), destacam que a fenologia das plantas está associada aos hábitos de crescimento e desenvolvimento ao longo de seu ciclo de vida, sendo influenciada por fatores internos (genótipo) e externos (ambiente). Afirmam ainda que para um mesmo genótipo, em condições nutricionais e fitossanitárias adequadas, a maior fonte de variabilidade na fenologia será o ambiente. E que de todos os fatores que caracterizam o ambiente, os mais críticos para a fenologia do cafeeiro são a

temperatura, o fotoperíodo e o ritmo das chuvas, ficando o sucesso da cultura, dependente da sincronização entre as fases fenológicas e o clima local.

Para Pezzopane (2003) as relações e o grau de influência dos fatores ambientais envolvidos podem ser determinados com a ordenação das fases fenológicas da cultura. E com vistas a aplicação do entendimento da fenologia observada na cultura do café comparativamente a outras culturas, Camargo e Camargo (2001) afirmam que o ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas, que ocorrem em aproximadamente 2 anos, se diferenciando da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico.

Com o intuito de simplificar e racionalizar a identificação das características das fases fenológicas do cafeeiro, Camargo e Camargo (2001), propõem um esquema composto de seis fases (Figura 3), sendo duas vegetativas e quatro reprodutivas, ou seja: (1) vegetação e formação de gemas foliares; (2) indução e maturação das gemas florais; (3) florada; (4) granação dos frutos; (5) maturação dos frutos; e (6) repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

Nesse esquema, a fenologia do cafeeiro arábica foi definida e esquematizada para as condições climáticas do Brasil e está relacionada com as condições agrometeorológicas de cada ano.

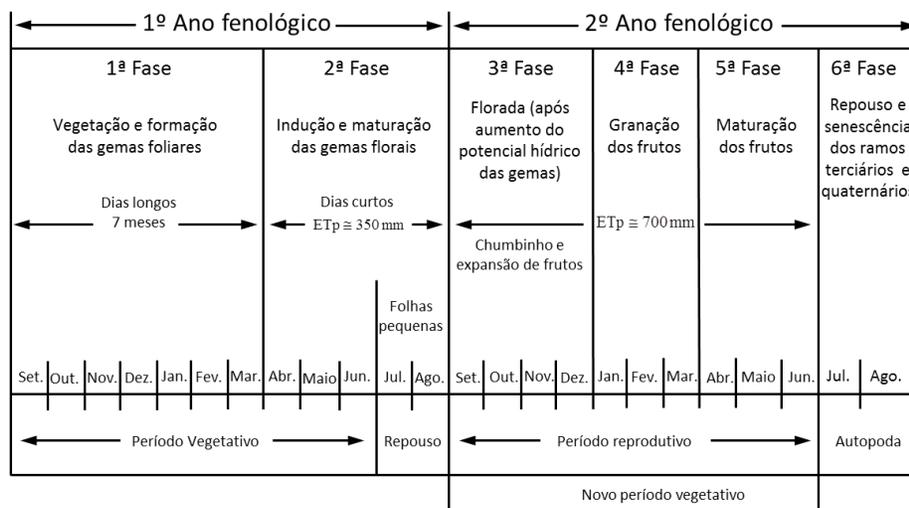


Figura 3 Esquemática das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil

Fonte: (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Observa-se que no primeiro ano fenológico são formados os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós que serão induzidos a se transformarem em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984), sendo este processo determinado por condições ambientais (CAMARGO, 1985). Posteriormente, tais gemas florais amadurecem, entram em dormência e se tornam aptas para a antese que ocorre por chuva ou por irrigação abundante (RENA; MAESTRI, 1985).

De acordo com Camargo, Camargo e Pallone Filho (2001), a maturação das gemas florais ocorre quando a evapotranspiração potencial acumulada, desde o mês de abril, atinge os 350 mm, o que implica, para as condições de cultivo do sul de Minas Gerais, em florada principal entre os meses de setembro e outubro, sendo esta evidenciada quando se verifica um período de restrição hídrica durante o período de repouso das gemas.

O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pela formação dos chumbinhos e expansão dos grãos, até seu tamanho normal. A

ocorrência de estiagem nesta fase e o estresse hídrico resultante prejudicará o crescimento dos frutos. Após esta fase, segue-se a granação dos frutos, em pleno verão, de janeiro a março. Estiagens severas na fase de granação poderão resultar no aparecimento de frutos chochos. A produção é finalizada com a maturação dos frutos que ocorre a partir de abril.

Para Camargo e Camargo (2001) a maturação dos frutos depende da precocidade da cultivar e da acumulação de energia solar, ou seja, do somatório da evapotranspiração potencial, entorno de 700 mm, após a florada principal (CAMARGO; CAMARGO; PALLONE FILHO, 2001). Por último, no período de julho a agosto, ocorre a senescência dos ramos produtivos não-primários que secam e morrem, limitando o crescimento do cafeeiro.

Com essa esquematização das diferentes fases fenológicas do cafeeiro arábica torna-se possível identificar as fases que exigem maior demanda pela água disponível no solo e aquelas nas quais se torna conveniente ocorrer um pequeno estresse hídrico, para condicionar uma abundante florada. E ainda facilita-se o reconhecimento das melhores épocas de aplicação de tratamentos fitossanitários e a execução das diversas operações agrícolas necessárias (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Além das questões apontadas acima relacionando, a fase fenológica com condições agrometeorológicas como evapotranspiração potencial e energia solar, outros autores como Camargo et al. (2003), Camargo e Franco (1981) e Santos (2005), também relacionam as fases fenológicas, em maior nível de detalhes, com outros fenômenos meteorológicos como a variação do fotoperíodo e da umidade relativa, com o somatório de graus-dias e a lâmina de precipitação pluvial acumulada.

A fim de detalhar o período reprodutivo, Pezzopane et al. (2003), propuseram uma escala de avaliação do desenvolvimento de estádios fenológicos baseada em fotografias de cada fase compreendendo o estágio de

gemas dormentes até o grão seco, onde foram atribuídas notas de 0 a 11. Esta escala foi utilizada para diferentes cultivares nas regiões de Campinas e Mococa, se mostrando úteis para estudos que possibilitam a identificação das variáveis climáticas relacionadas ao desenvolvimento, à expansão e à maturação dos frutos.

Para Rena e Maestri (1987), na fase reprodutiva, o cafeeiro pode apresentar várias floradas sendo uma principal, seguida de outras, cujo número depende das condições climáticas e da variabilidade genética, o que pode acarretar uma maturação desuniforme.

O desenvolvimento dos frutos é um processo longo, que varia de seis a oito meses nas cultivares de café arábica. Após a fecundação, começa o crescimento do fruto, pela divisão e alongação das células do perisperma (fase maternal), seguido do início da divisão das células do endosperma, as quais correspondem aos frutos chumbinho e frutos em expansão, respectivamente. Na sequência tem-se a fase denominada de grão verde, a qual se caracteriza pelo desenvolvimento do endosperma por meio da alongação das células desse tecido, e o perisperma desaparece gradualmente, substituído pelo endosperma. Nas fases de maturação e amadurecimento (frutos verde cana e cereja), ocorrem o endurecimento do endosperma e a alteração da cor do pericarpo, proporcionados pelo acúmulo gradual de proteínas de reserva, sacarose e polissacarídeos complexos, que representam as principais reservas da semente (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

2.4.2 Bionalidade da produção do cafeeiro

O ciclo bienal do cafeeiro é definido como a alternância de produção entre safras sucessivas, em que após uma safra elevada de grãos segue uma safra de baixa produção, sendo essa uma característica de cultivos a pleno sol. De

acordo com Fahl et al. (2001), a natureza fisiológica dessa bienalidade de produção do cafeeiro se deve a concorrência por fotoassimilados entre as funções vegetativas e reprodutivas e ao fato de a produção ocorrer, de forma significativa, nas partes dos ramos que ainda não produziram e cresceram na estação anterior.

Barros (1997) afirma que a bienalidade da produção do café está ligada à relação fonte-dreno existente entre frutos e folhas, enquanto as folhas são fontes de fotossintetizados, os tecidos em crescimento nos frutos atuam como drenos dos mesmos. E como ambas as fases reprodutiva do ano corrente e vegetativa para o ano seguinte ocorrem de maneira simultânea, a planta tende a balancear a partição de fotossintetizados.

Assim, nos anos de alta carga pendente, a planta direciona a produção de fotossintetizados para a formação e crescimento dos frutos. Nos anos de baixa carga pendente, estes são direcionados à formação de novas gemas vegetativas que gerarão novos ramos. E desse modo, a alta produção de um ano causa uma redução do crescimento vegetativo, em virtude do direcionamento das reservas metabólicas para a produção de frutos, e da consequente restrição do crescimento e redução da emissão de novos ramos laterais (PICINI, 1998).

A respeito da bienalidade do cafeeiro, ainda é interessante notar o mencionado por Damatta et al. (2008), onde afirmam que a sobrecarga dos frutos é, normalmente, acompanhada pela seca de ramos e morte de raízes e deste modo, após ciclos sucessivos de bienalidade, a planta entra em declínio, reduzindo sua vida produtiva. E os autores ainda destacam que caso os anos de supercarga estejam associados a temperaturas elevadas e a deficiências hídricas prolongadas, a morte de raízes absorventes e posterior seca dos ramos serão acentuadas, exigindo do cafeeiro ao menos dois anos consecutivos de recuperação, o que levaria à trienalidade da cultura.

2.5 Estimativa de produtividade do cafeeiro

A previsão oficial da produção de café no Brasil é de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 1999). O método utilizado consiste em amostragens estatísticas, em que são selecionadas propriedades cafeeiras do cadastro geral de cafeicultores dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo e São Paulo. No Paraná, a amostragem é baseada em fotos de satélite, onde são selecionadas as propriedades nas quais posteriormente ocorrem a coleta de dados. Em Rondônia, Rio de Janeiro, Pernambuco, Ceará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Pará e Acre, as informações normalmente são obtidas em órgãos de assistência técnica e outras fontes locais. A previsão consiste em três levantamentos durante o ano agrícola: o primeiro com base na florada, o segundo ocorrendo normalmente no mês de maio e o último, já coincidindo com o levantamento da florada do ano seguinte, estimando-se efetivamente a produção daquele ano agrícola. Esse método necessita de um levantamento de dados bastante trabalhoso e oneroso.

Nesse contexto é que a modelagem matemática se destaca com vistas a realizar a estimativa de produtividade de culturas a baixo custo, boa precisão e com a aplicação de método científico que possibilitem sua repetibilidade.

Alguns autores como Baier (1979) classificam os modelos em três categorias distintas, sendo a do modelo estatístico empírico – que é construído a partir de séries históricas de dados de rendimento e dados meteorológicos de uma determinada região; o modelo de análise planta-clima – que objetiva explicar com base nos processos físicos e/ou fisiológicos o efeito de uma ou mais variáveis meteorológicas no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura; e o modelo de análise da cultura e seu meio – que visa representar as

relações existentes entre a resposta da planta e as variáveis ambientais durante todo o ciclo da cultura.

2.5.1 Modelos agrometeorológicos

Modelos agrometeorológicos têm sido utilizados com diferentes finalidades e aplicados à culturas variadas, sendo que de forma geral estes se baseiam em dados como evapotranspiração potencial (ETp), evapotranspiração real (ETr), deficiência e excesso hídrico.

Exemplo da aplicação de modelo agrometeorológico para culturas diferentes pode ser observado no trabalho de Camargo et al. (1999) onde os autores desenvolveram e testaram um modelo agrometeorológico “matemático-mecanístico” para a estimativa da produtividade ou quebra de produção para a laranja 'Valência', com base na relação entre a produtividade relativa e as condições hídricas ocorridas nos diferentes estádios fenológicos da cultura, com o foco dirigido para a deficiência hídrica, por entenderem que esta é a condicionante principal da produtividade da laranjeira. Outro exemplo pode ser visto no trabalho de Araujo, Souza e Tsukahara (2011) em que os autores avaliaram o desempenho de modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja e também com o objetivo de realizar o planejamento de safras.

Dentre esses modelos agrometeorológicos o mais utilizado tem sido o desenvolvido por Stewart, Hagan e Pruitt (1976) e proposto por Doorenbos e Kassam (1979), dado pela Equação 1.

$$\frac{Y_e}{Y_p} = 1 - \left[\sum_{i=1}^n k_{y_i} \left(1 - \frac{ET_r}{ET_p} \right) \right] \quad (1)$$

Em que,

- Y_e – produtividade estimada da cultura (kg ha^{-1});
 Y_p – produtividade potencial da cultura (kg ha^{-1});
 K_{y_i} – coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água nos sucessivos estádios fenológicos da cultura (adimensional);
 ET_r – evapotranspiração real da cultura (mm ciclo^{-1});
 ET_p – evapotranspiração potencial da cultura (mm ciclo^{-1}).

Nesse modelo, consideram-se os efeitos da deficiência hídrica sobre a produtividade como um somatório nos diferentes estádios fenológicos da cultura e uma vez que o modelo permite o cálculo da produtividade em períodos parciais ao longo do ciclo da cultura, a produtividade final é determinada pelo somatório das produtividades parciais.

Especificamente este modelo também foi utilizado por Fontana et al. (2001), Marin et al. (2006) e Marin, Sentelhas e Ungaro (2000) para estimativa de produtividade de soja, girassol e sorgo, respectivamente.

Além do uso de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade e mais ligado à cafeicultura propriamente dita, Zacharias, Camargo e Fazuoli (2008) trabalharam com um desses modelos objetivando estimar o início da fase da floração plena do cafeeiro, identificando ainda os elementos e fatores climáticos que interferem nos diferentes subperíodos fenológicos da cultura. E Nunes et al. (2010) buscaram identificar os modelos melhor adaptados à quantificação de soma térmica na estimativa da duração do subperíodo floração-maturação dos frutos para cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20.

Na aplicação específica à produtividade do cafeeiro Picini et al. (1999) desenvolveram e testaram modelos agrometeorológicos do tipo matemático-mecânico que se baseavam na medida do suprimento hídrico, representada pela razão da evapotranspiração real e potencial nos diferentes estádios

fenológicos da cultura. Mediante os testes realizados, os autores obtiveram modelos apropriados à estimativa, ponderaram que o conhecimento da produtividade do ano anterior deve ser considerado e concluíram que a produtividade é particularmente sensível ao estresse hídrico durante os estádios fenológicos de florescimento e de formação do grão.

Santos e Camargo (2006) buscaram modificar um modelo matemático agrometeorológico de monitoramento e estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro para diferentes regiões cafeeiras do estado de São Paulo e obtiveram como resultado um desempenho consistente na estimativa de produtividade em nível de talhão e também destacaram, pelos coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, que os estádios fenológicos da indução floral, florescimento e granação são os mais importantes nas penalizações do modelo.

Esse modelo agrometeorológico geral baseado em funções de penalização é expresso na Equação 2:

$$Y_{est} = \left\{ \left(k_{y0} \left(\frac{Y_{aa}}{Y_p} \right) \right) \left[1 - \left(k_y \left(1 - \frac{ETr}{ETp} \right) \right) \right] \cdot [1 - f.gaeda] [1 - f.Tmáx] \right\} \quad (2)$$

em que,

Y_{est} – produtividade estimada (kg ha^{-1});

Y_{aa} – produtividade do ano anterior (kg ha^{-1});

Y_p – produtividade potencial da cultura (kg ha^{-1});

k_{y0} – coeficiente de penalização relativo à produtividade do ano anterior;

K_y – coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água para os sucessivos estádios fenológicos da cultura;

ETr – evapotranspiração real da cultura;

ETp – evapotranspiração potencial da cultura;

$f.gaeda$ – fator de penalização por temperatura mínima propícia a ocorrência de geada;

f.Tmax – fator de penalização por temperatura máxima.

Nesse modelo o monitoramento hídrico foi realizado em escala decendial e as penalizações foram ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (k_y), ocorridos nos quatro estádios fenológicos da cultura, quais sejam, indução floral, florescimento, granação e maturação.

Carvalho (2003) apresenta detalhes de diversos modelos agrometeorológicos e respectivos testes para a região Sul de Minas Gerais. Contudo salienta que para as análises realizadas os resultados não foram satisfatórios, levando-o então a recomendar que os modelos não somente devem ser aprimorados, mas sim que também devem-se desenvolver modelos alternativos, como também cita em suas considerações finais, a necessidade de padronização no levantamento de dados de produtividade em talhões que venham representar a cafeicultura da região.

2.5.2 Modelos agrometeorológicos espectrais

No âmbito dos modelos agrometeorológicos espectrais, observa-se seu desenvolvimento com pesquisas sustentadas pelo entendimento de que a utilização de um modelo agrometeorológico para a cultura do café não é um ato de simples realização, dada a diversidade de fatores que influem na sua produtividade como a variedade cultivada, a idade da lavoura, o adensamento de plantio, o nível de fertilidade do solo, sistema de manejo, a bienalidade e a abrangência territorial a qual se deseja realizar tal estimativa.

Assim, Rudorff e Batista (1990) indicam que ao menos parte dessas questões podem ser solucionadas ao serem incorporadas, no modelo,

informações espectrais da cultura, obtidas em imagens de satélites de sensoriamento remoto, sendo essas expressas como índice de vegetação.

Dessa forma, para Rosa (2007), o componente agrometeorológico pode representar as condições de radiação solar incidente, temperatura, umidade do ar e de disponibilidade hídrica, enquanto o componente espectral expressa as diferentes práticas de manejo, cultivares e estresses não incluídos no modelo agrometeorológico. Ainda segundo a mesma autora, a partir do modelo agrometeorológico proposto por Doorenbos e Kassam (1979) é que outros trabalhos se seguiram, tendo em vista a adaptação da componente espectral ao modelo.

Nesse escopo, uma contribuição foi dada por Rudorff e Batista (1990) ao adaptarem ao modelo agrometeorológico, informações espectrais oriundas de imagens do sensor MSS/LANDSAT-4 expressas pelo índice de vegetação Ratio Vegetation Index (RVI) para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar em lavouras comerciais. Segundo os autores, os coeficientes de determinação entre a produtividade estimada e observada variaram entre 0,14 e 0,59 (agrometeorológico) e entre 0,24 e 0,64 (agrometeorológico espectral).

O modelo proposto por Fontana e Berlato (1998) é dado pela Equação 3.

$$Y = a_0 + a_1.(GVI) + a_2.(Y_{agromet}) \quad (3)$$

em que,

Y – rendimento da soja estimado por meio do modelo agrometeorológico-espectral (t ha⁻¹);

GVI – índice de vegetação global;

Y_{agromet} – rendimento da soja estimado por meio do modelo agrometeorológico (t ha⁻¹)

ao, a₁ e a₂ – coeficientes da regressão.

Com esse modelo é possível notar que o índice de vegetação é incorporado ao modelo agrometeorológico de forma aditiva e com este os autores concluíram que é possível utilizá-lo para o monitoramento e previsão de rendimento de soja no Rio Grande do Sul.

Na aplicação desses modelos para o café cita-se o trabalho desenvolvido por Almeida (2013) que teve como objetivo o monitoramento e a estimativa da produtividade de duas propriedades cafeeiras da região Noroeste do Estado de Minas Gerais utilizando o modelo agrometeorológico proposto por Doorenbos e Kassam (1979) e realizando o acompanhamento espectral pelo comportamento dos índices de vegetação EVI e NDVI, provido dos dados espectrais do sensor MODIS. Nesse trabalho o autor concluiu que o modelo agrometeorológico-espectral era adequado para a estimativa da produtividade em todos os anos agrícolas com aplicação em escala de propriedade agrícola para fazendas irrigadas apresentando o coeficiente de regressão (r^2) variando entre 0,79 e 0,95, representando bem a bienalidade da produtividade cafeeira nas fazendas.

Na busca por também estabelecer uma metodologia adequada de estimativa de produtividade do cafeeiro Rosa et al. (2010) utilizaram imagens de satélite, do sensor MODIS, e dados agrometeorológicos do modelo regional de previsão do tempo (ETA) como variáveis de entrada para um modelo agrometeorológico-espectral da região sul/sudoeste de Minas Gerais e ao comparar a produção estimada com este método a estimativa feita pelo IBGE, concluíram que a metodologia foi tão eficaz quanto e conseguiram prever 80% da produtividade ainda no mês de fevereiro e espacializaram a quebra de produtividade.

2.5.3 Modelos matemáticos

Uma técnica bastante útil para avaliação de modelos é a análise estatística multivariada de componentes principais, a qual consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto, os componentes principais, de dimensões equivalentes, procurando-se reduzir a massa de dados. Em muitos casos, as medidas das variáveis que caracterizam um indivíduo são correlacionadas entre si, cuja correlação indica que algumas informações contidas em uma variável também o são em outra.

E é nesse sentido que Carvalho et al. (2004) parametrizaram e testaram um modelo de regressão linear múltipla aplicado sobre os componentes principais mais significativos obtidos de séries de produtividades da cultura do café, representativas de três municípios da região Sul do Estado de Minas Gerais. Esses autores tomaram por base o modelo de Stewart, Hagan e Pruitt (1976), porém acrescentando novas variáveis dadas pelas temperaturas média, máxima e mínima anual e do período consecutivo de três meses, além das penalizações hídricas para o ciclo de um ano agrícola. A conclusão foi de que a incorporação de novas variáveis ao modelo não se mostrou satisfatória, apresentando discrepâncias consideráveis entre produtividades estimadas e observadas com tendência de superestimativa do modelo.

Com base na análise harmônica por séries de Fourier, Carvalho et al. (2005), tentaram obter um modelo de previsão de produtividade do cafeeiro para alguns municípios de Minas Gerais, considerando 33 variáveis da produção cafeeira. No entanto, o modelo proposto mostrou-se inconsistente com erros discrepantes e os autores destacaram que a modelagem de previsão de produção do cafeeiro é um estudo bastante complexo.

2.5.4 Modelos fenológicos

Considerando que a avaliação das características fenológicas determinantes do desenvolvimento e da produção do cafeeiro pode ser uma ferramenta fundamental no estabelecimento de modelos de previsão de safra, Fahl et al. (2003) estudaram as características fisiológicas envolvidas no crescimento e na produção do cafeeiro com vistas à estimativa antecipada de safra. Com esse trabalho buscou-se avaliar quantitativamente o crescimento, frutificação e produtividade das plantas, estabelecendo relações entre os índices fisiológicos de produção, identificando os que apresentam facilidade de obtenção, isenção da interferência do avaliador e que correspondesse a uma amostra representativa do talhão.

Esses autores obtiveram como resultado um coeficiente de determinação de 0,91 e alta correlação entre as médias do número de frutos do 4º e 5º nós produtivos, com a média do número de frutos por nó, obtida da relação entre o número total de frutos do ramo pelo número de nós produtivos do ramo. E quando associou-se esses índices à altura de plantas, observou-se um ganho significativo na correlação, alcançando valores da ordem de 0,80. O que os levou a concluir que os índices utilizados, quando aplicados de forma integrada em modelos matemáticos de previsão de produtividade de café podem reduzir significativamente a margem de erro.

Esses resultados são ratificados pelo exposto por Cannell (1973) que indicou a possibilidade de se obter a estimativa antecipada de produção, com base em modelos matemáticos, utilizando componentes fisiológicos da produção, tais como, o número de ramos produtivos, número de nós com frutos, número de frutos por nó e peso por fruto. E também pelo publicado por Browning e Dorward (1989), os quais ao utilizarem modelos matemáticos associados a dados fenológicos, mostraram que existe estreita relação entre a

produtividade da cultura e o número de nós produtivos, número de frutos por nó e peso médio de fruto.

Sáenz, Pulgarín e Restrepo (2008) estudando a estimativa de produtividade de café na Colômbia, propuseram um método baseado nos registros de floração ocorrida em determinada propriedade. O método consiste na composição de uma amostra de 380 ou 760 plantas (a depender do método de amostragem adotado) e na contagem do número de flores presentes nos ramos plagiotrópicos das mesmas para a consequente totalização do número de flores no talhão. O que é obtido com algumas operações matemáticas e por fim é relacionado com a quantidade de café cereja a ser colhido, considerando a porcentagem de frutificação da florada e o peso de um fruto de café maduro. Os autores destacam que com este método tem-se uma primeira abordagem na averiguação da possibilidade de se estimar a produtividade de cafeeiros com até oito meses de antecedência, necessitando ainda avaliar os fatores que afetam a precisão da estimação para se realizar os devidos ajustes.

Já Fahl et al. (2005), desenvolveram um modelo para estimar antecipadamente a produtividade de cafeeiros de diferentes cultivares, idade e sistema de plantio, avaliando quantitativamente as características fenológicas determinantes do crescimento e da produção, permitindo uma avaliação segura e precisa. Essa estimativa baseou-se na contagem do número de frutos no 4º e 5º nós produtivos, do ápice para a base de 10 ramos plagiotrópicos do terço médio da planta, multiplicado pela área vegetal de produção dada em função da altura média das plantas do talhão e do comprimento de linha de café por hectare, o que correspondeu a um índice denominado de Índice Fenológico de Produção (IFP).

A regressão entre os índices fenológicos, referentes à média do número de frutos do 4º e 5º nós produtivos, obtidos em 5 safras de café e as respectivas

produções reais, forneceu um modelo como o mostrado na Equação 4, com o valor de r^2 igual a 0,989:

$$Y = 0,0005 .X \quad (4)$$

em que,

X – índice fenológico de produção (adimensional);

Y – produtividade estimada (sacas ha^{-1}).

Com o uso dessa equação os autores alcançaram estimativas de produtividade do cafeeiro, com até 6 meses de antecedência e precisão superior a 93%.

Nesse contexto Alfonsi (2008), tendo como base a metodologia mostrada acima, deu prosseguimento a esses estudos, desenvolvendo e propondo mais um índice fenológico de produtividade, o qual, a exemplo do proposto anteriormente, é determinado a partir de quantificações não destrutivas, em uma seção reduzida da planta e estendeu o uso de ambos para diferentes épocas e locais de avaliação. A metodologia de previsão de safra, fundamentada nos dois índices fenológicos, foi desenvolvida utilizando dados de duas regiões produtoras de café do Estado de São Paulo. Os índices fenológicos de produtividades adotados foram determinados pela contagem de frutos, nós produtivos, altura de planta e espaçamento da lavoura. A metodologia proposta apresentou facilidade de aplicação em ambas as regiões avaliadas. Mostrou que é possível, uma pessoa sem uma grande experiência e especialização na cultura de café, estimar sua produtividade somente a partir da contagem e determinação numérica de algumas características de crescimento e produção da lavoura. E a exemplo de outras metodologias aqui apresentadas, possibilitou a substituição de uma metodologia empírica subjetiva (visual), por uma metodologia quantitativa

com embasamento científico para se estudar a produtividade da lavoura cafeeira. Tendo como vantagem a sua simplicidade, associada ao considerável nível de precisão e acurácia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com o apoio de técnicos da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG), lotados na região sul do estado, foram definidas as fazendas e realizadas as articulações necessárias, junto aos proprietários das mesmas, para a viabilização das visitas para coleta de dados fenológicos da cultura. Com essa parceria e consequentes indicações, foi possível obter acesso às demais informações necessárias para condução deste trabalho.

3.1 Locais experimentais

Os municípios nos quais estavam localizados os talhões amostrais são Lavras, Varginha, Carmo de Minas, Ijaci e Santo Antônio do Amparo, todos na região sul do estado de Minas Gerais.

Esses municípios foram escolhidos com o objetivo de representar as características edafoclimáticas e de manejo das lavouras cafeeiras na região.

Utilizou-se 10 talhões amostrais distribuídos entre os municípios, conforme apresentado na Tabela 1, considerando-se a cultivar, espaçamento de cultivo e lavouras com tempo de plantio superior a 8 anos, com vistas a se trabalhar com lavouras adultas que tenham um histórico mínimo de produção.

Tabela 1 Talhões amostrais avaliados na região sul de Minas Gerais

TA	Município	Coordenadas Geográficas			Cultivar	Espaçamento (m)	Área(ha)*
		Altitude	Latitude	Longitude			
		(m)	sul	oeste			
1	Lavras	1003	21° 18' 33''	45° 01' 33''	Acaia	3,8 x 0,7	4,0
2	Lavras	989	21° 19' 07''	44° 57' 49''	Catuaí	3,8 x 0,7	5,7
3	Varginha	1125	21° 32' 49''	45° 19' 38''	Catuaí	3,8 x 0,8	6,4
4	Varginha	1014	21° 33' 22''	45° 16' 07''	Catuaí	3,5 x 0,7	5,0
5	Carmo de Minas	1117	22° 09' 02''	45° 07' 31''	Catuaí	3,0 x 0,5	1,6
6	Carmo de Minas	1193	22° 10' 43''	45° 10' 41''	Catuaí	3,0 x 1,0	5,2
7	Carmo de Minas	1037	22° 08' 24''	45° 09' 01''	Acaia	3,0 x 1,0	4,6
8	Carmo de Minas	990	22° 06' 45''	45° 07' 13''	Acaia	3,0 x 0,5	8,2
9	Ijaci	932	21° 10' 04''	44° 58' 40''	Catuaí	3,6 x 0,5	21,0
10	Santo Antônio do Amparo	1093	21° 00' 32''	44° 53' 07''	Catuaí	2,5 x 0,6	18,5

(*) área informada pelos produtores.

Nesse processo também considerou-se lavouras de propriedades rurais que apresentassem um bom nível tecnológico empregado, condição verificada pelo histórico de produtividade entorno de 40 sc ha⁻¹. Esse valor foi considerado por superar a média nacional e pelo fato de que para manter a produtividade nesse nível, significa que os tratos culturais com a lavoura são bem aplicados, minimizando a chance de distorções nos resultados, provocadas pela ocorrência de alguma doença ou infestação de alguma praga.

3.2 Informações climáticas

Para uma caracterização das condições climáticas no período das avaliações na região onde foram coletados os dados fenológicos, principalmente quanto ao efeito da deficiência hídrica na produtividade, foi realizado o balanço hídrico climatológico (BHC) com base na metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). No desenvolvimento do BHC o método de estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) utilizado foi o proposto por Thornthwaite (1948), o qual para ser trabalhado necessita apenas das informações de temperatura média mensal e de precipitação acumulada média mensal.

O BHC fornece informações de ETp, estimativa da evapotranspiração real (ETr), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC). Dessa maneira é possível gerar o déficit de evapotranspiração relativa $[1 - ETr/ETp]$, que permite quantificar o estresse hídrico. A capacidade máxima de água disponível (CAD) adotada foi de 100 mm, pela compreensão geral de que esse valor representa a capacidade de armazenamento dos solos do estado, mais apropriadamente os solos dessa região cafeeira e por ser esse o valor adotado por Sedyama et al. (2001) na realização do zoneamento agroclimático do cafeeiro arábica para o estado de Minas Gerais.

Os referidos dados necessários para realização do BHC representativo da região foram obtidos na Estação Climatológica Principal pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo convênio UFLA/INMET, nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W e a altitude de 918,8 m.

Para melhor visualização do balanço hídrico, ou seja, a intensidade e a duração dos períodos secos e úmidos ocorridos nos anos agrícolas correspondentes ao trabalho, foi adotado uma representação gráfica, denominada extrato do balanço hídrico, de acordo com Camargo e Camargo (1993), que utiliza apenas os valores de excedente e da deficiências hídricas (valores positivos e negativos respectivamente).

3.3 Arranjo experimental para teste do modelo de estimativa

O levantamento dos parâmetros fenológicos de produtividade, foram realizados em três diferentes épocas do ano agrícola, a saber: na florada (setembro/outubro); na fase “chumbinho” e “chumbão” (dezembro/janeiro) e granação (fevereiro/março), seguindo o modelo proposto por Camargo e Camargo (2001). Os anos agrícolas avaliados foram os de 2012/2013 e 2013/2014.

Nas épocas avaliadas, a expectativa foi de se observar os fenômenos indicados por Alfonsi (2008), ou seja, nos meses de setembro/outubro a ocorrência da primeira florada de importância econômica, dependente da intensidade das chuvas ocorridas na época. No mês de dezembro, transcorridas todas as floradas do ano no cafeeiro, tendo a definição do potencial produtivo da lavoura. E em janeiro, a ocorrência do fenômeno de queda de “chumbinho”, em razão de fatores climáticos e internos da planta, já mencionados anteriormente,

fenômeno este que defini o número total de frutos que chegarão até a colheita. Assim, conseqüentemente a avaliação realizada no período de fevereiro/março, contempla justamente esse número.

Em cada uma das 10 propriedades foram adotados 4 pontos de amostragem, selecionados de forma aleatória dentro do talhão amostral. Esses pontos foram compostos de 8 linhas de plantio, agrupadas 2 a 2 (formando uma entre linha de plantio) e em cada uma das entre linhas escolhidas foram tomadas, alternadamente, 5 plantas de cada linha, com distâncias aproximadas de 10 metros uma da outra, totalizando 10 plantas por entre linha e compondo 40 plantas por talhão amostral. Em cada planta, os ramos amostrados estavam voltados para o centro da entre linha.

Não houve marcação de plantas com o intuito de utilizar sempre a mesma para as avaliações das características fisiológicas de crescimento e produção, nas diversas épocas. As plantas, bem como as entre linhas foram tomadas aleatoriamente dentro do talhão amostral.

3.4 Parâmetros fenológicos observados

As avaliações foram realizadas em ramos plagiotrópicos do terço médio da planta, em função de conterem um número médio de frutos representativo da mesma.

Em cada época de avaliação e em cada planta foram observadas em um ramo plagiotrópico escolhido aleatoriamente no terço médio da planta, as características descritas a seguir.

3.4.1 Contagem de flores, chumbinhos e frutos granados

Relacionando-se a cada referida época de avaliação, foi realizada a contagem do número de flores, de chumbinhos e frutos granados presentes no quarto e quinto nós produtivos de cada ramo plagiotrópico escolhido.

O quarto e quinto nós produtivos foram contados a partir da extremidade do ramo plagiotrópico em direção ao ramo ortotrópico, considerando para início da contagem o primeiro nó que continha flor ou fruto.

Esses nós foram adotados, pois, é sabido que, normalmente a produtividade do cafeeiro se dá na parte do ramo plagiotrópico que cresceu no ano anterior. E como, no ano de produção dessa parte do ramo, em geral, tem-se o número de nove nós, dependendo do ano agrícola (bienalidade), conseqüentemente o quarto e quinto nós produtivos estão entre os que cresceram no ano anterior.

3.4.2 Número de nós produtivos do ramo

São os nós que apresentam “chumbinho”, ou frutos no ramo plagiotrópico, seguindo a partir do primeiro nó que tenha a presença de fruto até o último nó com fruto, contando nesse intervalo, inclusive os nós que não tenham frutos.

3.4.3 Altura das plantas

Foram medidas com uma escala graduada, as alturas de todas as plantas amostradas, em metros, considerando para tanto a distância vertical a partir da superfície do solo até o meristema apical da planta.

3.5 Modelo matemático fenológico de estimativa de produtividade

Alfonsi (2008) propositor do modelo seguido no presente trabalho, com os dados obtidos nas avaliações feitas em campo conforme indicado acima, realizou correlações entre os parâmetros avaliados e a produtividade observada nos talhões amostrais. As melhores correlações foram utilizadas no desenvolvimento de modelos matemáticos fenológicos baseados em índices fenológicos de produtividade (IFP) para estimar a produtividade de cafeeiros, nas diferentes épocas do ano em que foram realizadas as avaliações. Esses índices são indicadores da produtividade e para tanto foi estabelecida uma correlação entre os índices e a produtividade observada e ou esperada, de forma que o valor calculado para o índice correspondeu a um valor de produtividade.

No presente trabalho, a exemplo do realizado por Alfonsi (2008), com o intuito de se chegar ao índice fenológico de produtividade (IFP), foi necessário utilizar um modelo representativo de uma área vegetal produtiva (AVP), apresentado na Equação 5, pertencente a um sistema de plantio em renque em uma lavoura de café.

$$AVP = \left(\frac{100}{ESP} \times 100 \right) \times 2 \times ALT \quad (5)$$

onde,

AVP – área vegetal de produção, em m², por hectare;

ESP – espaçamento entre linhas;

ALT – altura média das plantas, em metro.

3.5.1 Índice fenológico de produtividade 1 (IFP1)

Com os valores da AVP e das características fisiológicas de produção e crescimento, foram determinados dois índices fenológicos de produtividade, chamados de IFP1 e IFP2. Na determinação do IFP1, mostrado na Equação 6, foram utilizados os parâmetros observados em campo e calculados (AVP).

$$IFP1 = AVP \times MF45 \quad (6)$$

onde,

IFP1 – corresponde ao índice fenológico de produtividade 1 (nº de frutos.m²);

MF45 – média de frutos presentes no 4º e 5º nós produtivos do ramo plagiotrópico, contados a partir do ápice.

O índice fenológico de produtividade corresponde ao produto do número médio de frutos do 4º e 5º nós produtivos do ramo plagiotrópico, multiplicado pela área vegetal de produção, a qual foi calculada pela multiplicação do comprimento em metros de linha de café por hectare pelo dobro da altura média das plantas.

3.5.2 Índice fenológico de produtividade 2 (IFP2)

O IFP2 foi calculado a partir do IFP1 e do número de nós produtivos no ramo plagiotrópico, de acordo com a Equação 7.

$$IFP2 = IFP1 \times NIP \quad (7)$$

onde,

IFP2 – corresponde ao índice fenológico de produtividade 2 (n° de frutos.m².n^o internódios produtivos);

IFP1 – índice fenológico de produtividade 1;

NIP – número de nós produtivos no ramo plagiotrópico.

3.5.3 Produtividade observada

Foi realizada uma consulta presencial aos proprietários e/ou responsáveis pelas fazendas quanto às produtividades observadas ou reais, de cada talhão amostral, sendo esses valores expressos em sacas de café beneficiado por hectare (sc ha⁻¹).

3.6 Avaliação do modelo

Foram ajustados modelos de regressão linear aos pares de dados relativos à produtividade observada, em sacas de café beneficiado por hectare, em função dos índices fenológicos de produtividade (IFP1 e IFP2).

Com o objetivo de obter equações para os índices de produtividade 1 e 2 que melhor se adequem às condições de cultivo da região sul de Minas Gerais, decidiu-se por tomar três talhões amostrais, como referência para, por meio da regressão linear, definir equações a serem testadas estatisticamente.

A escolha dos talhões que foram utilizados na definição das equações teve como critério que um fosse localizado na cidade de Lavras ou próximo a mesma (Ijaci e Santo Antônio do Amparo), um em Varginha e o terceiro em Carmo de Minas.

Feita a escolha, foram testadas algumas combinações com a avaliação inicial do coeficiente de determinação (r^2). E para as combinações cujos valores

desse coeficiente foram maiores realizou-se efetivamente a estimativa de produtividade com os dados coletados nas outras sete propriedades.

Esse processo é denominado de validação cruzada, em conformidade com o realizado por Mariano (2014), a qual explica que nesse processo os dados utilizados são divididos, aleatoriamente, em dois conjuntos distintos, chamados na ocasião de conjunto de treinamento e de validação e destacam a importância de que estes dois conjuntos possuam uma boa representatividade do problema.

Os modelos fenológicos de produtividade 1 e 2 foram avaliados utilizando-se dados independentes de produtividade para os diversos talhões, coletados nos anos agrícolas analisados para cada lavoura estudada. Os resultados foram avaliados mediante regressão, com base no coeficiente de determinação (r^2) e o índice de concordância (D) proposto por Willmott et al. (1985).

O índice D, com variação entre 0 e 1, indica o grau de exatidão entre valores estimados e observados, sendo que quanto mais próximo de 1 (um) melhor a exatidão do modelo em prever a variável dependente, ao passo que, o coeficiente de determinação (r^2), indica a precisão do modelo, ou seja, o quanto da variação da variável dependente é explicada pela variação das variáveis independentes. O índice D é expresso pela Equação 8 e o r^2 pela Equação 9.

- Índice de concordância

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Ye_i - Yo_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ye_i - \bar{Yo}| + |Yo_i - \bar{Yo}|)^2} \right] \quad (8)$$

- Coeficiente de determinação

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N Y_{o_i} \cdot Y_{e_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^N Y_{o_i}^2 \cdot \sum_{i=1}^N Y_{e_i}^2} \quad (9)$$

onde,

D – índice de concordância;

r^2 – coeficiente de determinação;

Y_{e_i} – i-ésimo valor previsto ou estimado;

Y_{o_i} – i-ésimo valor observado;

\bar{Y}_O – média dos valores observados.

A partir do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância (D), Camargo e Sentelhas (1997) propuseram o índice “C” que determina o desempenho do modelo (Tabela 2) e é calculado pela Equação 10.

$$C = r.D \quad (10)$$

Tabela 2 Coeficientes de desempenho “C” conforme Camargo e Sentelhas (1997)

Valor “C”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

Para definição da qualidade estatística do modelo foram também utilizados os parâmetros estatísticos adotados por Mariano (2014), ou seja, o erro médio (EM), dado pela Equação 11; desvio médio absoluto (DMA), Equação 12; o erro médio percentual absoluto (EMPA), Equação 13; e o erro quadrático médio (EQM), Equação 14. Esses parâmetros estatísticos indicam as medições de erro de predição, com base na diferença entre os valores observados e preditos.

- Erro médio

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{o_i} - Y_{e_i})}{N} \quad (11)$$

- Desvio médio absoluto

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_{o_i} - Y_{e_i}|}{N} \quad (12)$$

- Erro médio percentual absoluto

$$EMPA = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_{o_i} - Y_{e_i}}{Y_{o_i}} \right|}{N} \cdot 100 \quad (13)$$

- Erro quadrático médio

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{o_i} - Y_{e_i})^2}{N} \quad (14)$$

Essas medidas de adequabilidade de modelos são utilizadas na comparação e seleção de modelos. O erro médio indica o quanto o modelo foi superestimado ou subestimado. Portanto, aqueles modelos com alto valor de r^2 , valor de EM mais próximo a zero e outras medidas de erro com baixos valores são desejados e indicam um modelo mais acurado.

Se a diferença entre o valor observado e o valor predito é pequena (menor que um), quando elevado ao quadrado tem-se um erro ainda menor. Em contrapartida, se um elemento apresenta um erro alto (maior que um), quando este é elevado ao quadrado o valor do erro aumenta. Portanto, considerando o EQM é possível identificar as eventuais distorções provocadas pelo modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise climatológica

Com a realização do balanço hídrico climatológico (BHC), utilizando-se os dados observados na Estação Climatológica Principal situada no município de Lavras, caracterizou-se a deficiência hídrica e o comportamento térmico no período avaliado.

Na Figura 4 apresenta-se o extrato do (BHC) calculado para os três anos que compõem as safras agrícolas 2012/2013 e 2013/2014.

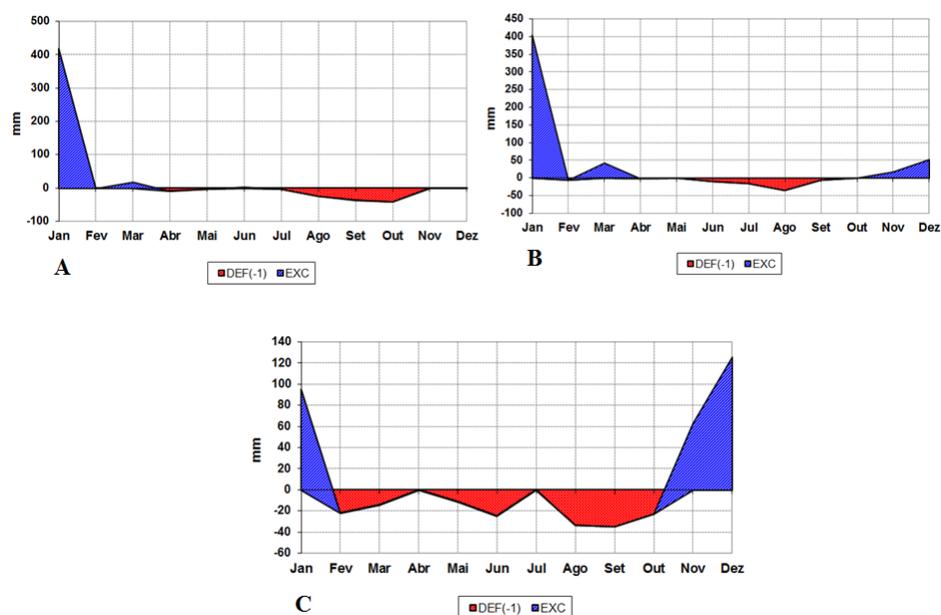


Figura 4 Extrato do Balanço Hídrico Climatológico para Lavras-MG nos anos de 2012 (A), 2013 (B) e 2014 (C)

É possível observar que nos anos de 2012 e 2013 os valores de deficiência hídrica de 123 e 75 mm, respectivamente, se mantiveram dentro de

parâmetros considerados normais para atendimento das necessidades hídricas do cafeeiro, segundo o preconizado por Camargo e Sentelhas (1997). No entanto, chama atenção o fato de que no ano de 2012 as chuvas só foram retomadas com alguma intensidade no mês de outubro, após ter se passado o mês de agosto e setembro praticamente sem chuva, o que atrasou a emissão da florada principal.

Pode-se notar também que nos meses de novembro e dezembro de 2012 e 2013 não houve o excesso hídrico esperado para a época, onde normalmente o valor do mesmo fica acima de 100 mm. Como é possível verificar na Figura 4, no ano de 2012 não houve excesso e em 2013 o excesso foi de apenas 50 mm.

Esse baixo índice pluviométrico foi igualmente observado nos meses de fevereiro e março dos anos de 2013 e 2014, quando o normal é a ocorrência de excedente hídrico da ordem de 90 mm. No entanto, em 2013 o excesso foi inferior a 50 mm e em 2014, o que ocorreu foi uma deficiência hídrica com valor próximo a 20 mm.

Com o nível de precipitação abaixo do esperado para os períodos mencionados, a consequência foi a ocorrência de danos à granação, com frutos mal formados acarretando um baixo rendimento, sendo necessário um volume maior de “café da roça” para formar uma saca de café beneficiado. Em casos extremos, houve relato de produtores indicando a necessidade de mais de 600 litros de “café da roça” para formar uma saca.

Nesse contexto, percebe-se um fator limitante para um desempenho mais consistente do modelo de estimativa de produtividade avaliado, pois as propriedades físicas dos frutos não são consideradas. Como variável de entrada, para o modelo, considera-se apenas a presença ou não de flores e frutos em suas distintas épocas de ocorrência.

Ainda menciona-se que apesar de a deficiência hídrica observada ter ocorrido em níveis satisfatórios para o cafeeiro, essas foram superiores a esperada, quando do comparativo com dados oriundos das Normais

Climatológicas (BRASIL, 1992) para a localidade onde o normal são déficits entorno de 30 mm anuais.

Com relação ao ano de 2014, a deficiência observada foi de 164 mm, portanto acima do valor dito tolerável, se enquadrando em uma condição de marginalidade pelo proposto por Camargo (1977) e essa deficiência foi observada ao longo dos meses de fevereiro até outubro, o que é completamente atípico para a região. Além disso, os níveis de temperatura se mantiveram em até 2 °C acima do normal entre os meses de janeiro e março, elevando consideravelmente os níveis de evapotranspiração potencial (ETp), justamente na época em que se daria a expansão dos frutos (CAMARGO, 2001) e que por consequência a demanda hídrica é bem elevada.

Apesar das altas temperaturas ocorridas no período, as médias anuais se mantiveram dentro dos parâmetros que caracterizam a aptidão para condução da cultura, pela proposição apresentada por Pereira, Camargo e Camargo (2008), uma vez que os valores alcançados foram de 20,8 °C; 20,3 °C e 21 °C para os anos de 2012, 2013 e 2014, respectivamente.

Alfonsi (2008) observou comportamento semelhante quando do desenvolvimento de seu experimento na região de Garça/Marília, com períodos secos na época das floradas subsequentes às chuvas que juntamente com temperaturas elevadas ocasionaram a queda prematura de chumbinhos, abortamento de botões florais e o aparecimento de flores abortivas (“estrelinhas”). E em alguns anos na região de Campinas e Garça/Marília, também ocorreram períodos de deficiência hídrica durante a época de expansão dos frutos, destacando a influência negativa desse evento, na produtividade, em razão da redução do tamanho e peso dos frutos.

4.2 Produtividade observada

Na Tabela 3 são apresentadas as produtividades observadas, nas 10 fazendas, nos dois anos agrícolas analisados, permitindo perceber o considerável nível de produtividade que em geral, de fato superou a média nacional no período.

Tabela 3 Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), nas safras 2012/2013 e 2013/2014

TA	Produtividade Observada (sc ha ⁻¹)*	
	2012/013	2013/2014
1	47,5	40,0
2	44,8	22,3
3	21,5	37,3
4	44,0	25,0
5	26,3	37,5
6	25,6	15,2
7	40,0	45,0
8	26,0	31,0
9	52,4	34,0
10	60,1	35,7

(*) valores registrados conforme informação prestada pelos produtores.

Um destaque a ser feito é que os talhões avaliados nas propriedades 4 e 9 são irrigados e contrariamente ao esperado estes apresentaram níveis de produtividade inferiores aos obtidos pelo talhão da propriedade 10, com expressivos valores de 60,1 e 35,7 sc ha⁻¹, respectivamente para os anos de 2012/2013 e 2013/2014.

Nota-se que apesar dos elevados níveis de produtividade de todos os talhões, houve uma variabilidade marcante entre os dados, com valores de 15,2 a 60,1 sc ha⁻¹ que no comparativo entre os dois anos agrícolas permitem perceber, quando analisando-se individualmente cada talhão, a alternância entre ano de alta e baixa produção, ou seja, a bienalidade do cafeeiro.

Outra questão interessante, mostrada como um indício a ser discutido é que a alternância entre ano de alta e baixa produção, comparativamente entre os talhões das fazendas de 5 a 8, à exceção da número 6, que estão localizadas em Carmo de Minas, é invertida em relação as demais propriedades, levando à inferência de que as lavouras cafeeiras do município e Carmo de Minas apresentam bienalidade cruzada em relação a Lavras, Varginha, Ijaci e Santo Antônio do Amparo.

4.3 Índices fenológicos

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os valores do Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1) e do Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2) obtidos a partir das Equações 6 e 7 para os talhões amostrais (TA) avaliados na região sul de Minas Gerais.

Tabela 4 Valores do Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1), obtidos na época da florada, chumbinho e granação para as safras 2012/2013 e 2013/2014

TA	Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1)					
	Florada		Chumbinho		Granação	
	2012/013	2013/2014	2012/013	2013/2014	2012/013	2013/2014
1	37623	22798	81626	67537	46656	58428
2	52366	21433	53720	46066	33152	52597
3	10896	77092	19484	56002	11601	40718
4	45729	---	59611	16109	40055	21435
5	---	75000	21897	39574	15768	40864
6	21457	27383	52668	32595	33138	32597
7	12290	39958	46700	37549	47534	66900
8	30554	47600	35980	80467	24367	45333
9	50771	51970	72318	39276	33547	38920
10	24820	25800	62876	56657	46142	70115

Tabela 5 Valores do Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2), obtidos na época da florada, chumbinho e granação para as safras 2012/2013 e 2013/2014

TA	Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2)					
	Florada		Chumbinho		Granação	
	2012/013	2013/2014	2012/013	2013/2014	2012/013	2013/2014
1	493806	238810	1071344	707453	573871	565287
2	400600	197187	410960	423805	445062	451017
3	168344	969433	301031	684628	137766	455019
4	840263	---	1095357	145783	488670	198808
5	---	804375	244698	346274	136784	405575
6	271435	277941	666250	325132	386052	317003
7	165909	436545	630456	389574	690435	868028
8	491927	441490	579278	887145	314330	429533
9	572439	521003	815384	393747	381599	382389
10	300322	288315	760803	633143	561782	676609

Na massa de dados observados, percebe-se que há uma considerável variação nos valores dos mesmos, no entanto, possibilita realizar algumas inferências, desde esse momento.

Uma delas relacionada ao fato de que os valores dos índices obtidos durante as floradas dos dois anos agrícolas destoam do que seria esperado, no sentido de se observar, ainda que apenas visualmente, uma tendência de diminuição desses valores na medida em que se encaminha para as fases fenológicas subsequentes. Em realidade o que se pode observar é que há um acréscimo nos valores após passar a fase de emissão de flores na direção da fase de chumbinho e da fase de chumbinho para granação é que o esperado se confirma, com a queda nesses valores.

Tal fato pode ser explicado em função do tempo que se levava para realizar-se o deslocamento entre os talhões amostrais para a consequente coleta

de dados, uma vez que as flores após abertas caem em média até o terceiro dia e por questões inerentes ao projeto houve ocasiões em que já não se encontrava flores abertas nos nós produtivos.

Outra explicação possível pode estar relacionada ao fato de as floradas observadas não terem sido as principais, em função da gradação na qual as mesmas ocorrem, o que para o caso do sul de Minas Gerais, em geral se dá por três vezes entre setembro e novembro.

Quanto ao comportamento relacionado ao decréscimo dos valores do IFP1 e IFP2 da fase de chumbinho para a fase de granação, Alfonsi (2008) observou o mesmo comportamento e destaca a tendência decrescente nos valores de IFP1 quando se analisa os dados na ordem cronológica de avaliação. E como exemplo cita que para a região de Garça/Marília, os valores obtidos em dezembro foram bem maiores do que os obtidos em março, com o mesmo acontecendo para os dados da região de Campinas.

O autor ainda explica que isso se deve ao fato de ocorrer um fenômeno de queda prematura de frutos, também conhecido como “queda de chumbinhos”, que acontece logo no início do período de expansão rápida dos frutos, iniciada nos meses de dezembro e janeiro, principalmente em anos de altas produtividades.

No entanto, contrariamente ao observado na passagem da florada para chumbinho, esse mesmo autor relata que os valores obtidos em outubro são maiores que os de dezembro, que por sua vez são maiores que os de março, destacando que esse dados de outubro refletem o potencial da primeira florada que devido a fenômenos climáticos como alta temperatura e déficit hídrico no pós-florada, ocorrem abortamentos naturais dos botões florais e queda de flores, resultando no final desse período (dezembro) em um número menor de chumbinhos quando comparados com a quantidade de flores nos mesmos nós produtivos.

Esse relato reforça o que se imaginava para a suposição de ter havido algum problema na observação dos dados de florada.

4.4 Produtividade *versus* índices fenológicos

Nessa seção, pretende-se mostrar como foram obtidas as equações de regressão utilizadas para realização das estimativas de produtividade do cafeeiro a partir de suas diferentes fases fenológicas.

4.4.1 IFP1

Na Figura 5 são apresentadas as regressões lineares para os três conjuntos de dados de melhor resposta para a interação dentro do conjunto completo, indicada pelos valores do coeficiente de determinação (r^2).

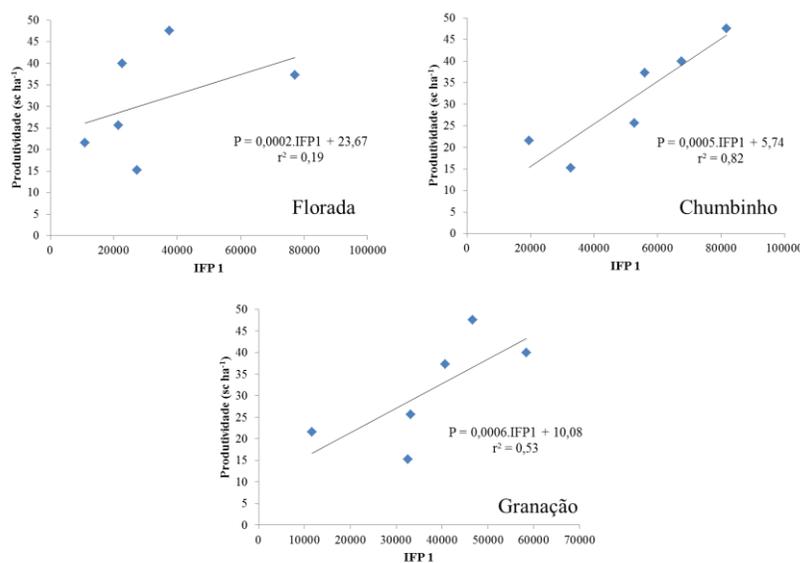


Figura 5 Equações utilizadas para estimativa de produtividade do cafeeiro, a partir do IFP1, nas diferentes fases fenológicas

A partir dessas equações é que para cada uma das respectivas fases fenológicas realizou-se as estimativas mencionadas, para tanto as considerando como os modelos matemático fenológicos aplicados.

Para maior clareza, apresenta-se essas na sequência abaixo:

- Fase florada

$$P = 0,0002 \cdot IFP1 + 23,67 \quad (15)$$

- Fase chumbinho

$$P = 0,0005 \cdot IFP1 + 5,74 \quad (16)$$

- Fase granação

$$P = 0,0006 \cdot IFP1 + 10,08 \quad (17)$$

Nota-se que os valores dos parâmetros das equações ficaram parecidos e também se assemelham ao proposto por Fahl et al. (2005) que utilizou a Equação 18 para realizar as mesmas estimativas de produtividade na fase de granação.

$$P = 0,0005 \cdot IFP1 \quad (18)$$

A expectativa relacionada ao presente estudo estava dirigida para a obtenção de parâmetros bem diferentes e melhor ajustados às condições edafoclimáticas do sul do estado de Minas Gerais, com o envolvimento das

condições meteorológicas específicas e adversas ocorridas durante o período de desenvolvimento do mesmo.

Miranda, Reinato e Silva (2014) em trabalho desenvolvido com o objetivo de obter um método simples e preciso para realizar a estimativa da produção de café, também encontrou equações bem parecidas, inclusive com coeficiente $\beta=0,00053$ para a época de expansão dos frutos.

Os valores de r^2 obtidos em ambos os trabalhos citados foram de 0,989 e 0,8683, respectivamente para Fahl et al. (2005) e Miranda, Reinato e Silva (2014), sendo que os dois superaram os valores observados nesse estudo que foram de 0,1874; 0,8199; e 0,5274, respectivamente para as fases de florada, chumbinho e granação. Acredita-se que essas diferenças se deram em decorrência, principalmente, do expressivo valor de deficiência hídrica observado no decorrer do mês de janeiro a março de 2013, fato que provavelmente limitou as chances de o modelo representar com maior rigor a realidade.

4.4.2 IFP2

Na Figura 6 são apresentadas as regressões lineares para os três conjuntos de dados que deram a melhor resposta para a interação dentro do conjunto completo, indicada pelos valores do coeficiente de determinação (r^2).

Nesse caso do IFP2, Alfonsi (2008) obteve as Equações 19 e 20 para as regiões de Garça/Marília e Campinas, respectivamente, na época de chumbinho. Os valores de r^2 associados a essas equações foram de 0,59 e 0,56.

$$P = 0,0000299 \cdot IFP2 + 11,54 \quad (19)$$

$$P = 0,0000211 \cdot IFP2 + 14,83 \quad (20)$$

E as Equações 21 e 22 para a época de granação, na mesma sequência de regiões indicada anteriormente. Os valores de r^2 foram 0,64 e 0,52.

$$P = 0,0000409 \cdot IFP2 + 10,97 \quad (21)$$

$$P = 0,000029 \cdot IFP2 + 18,07 \quad (22)$$

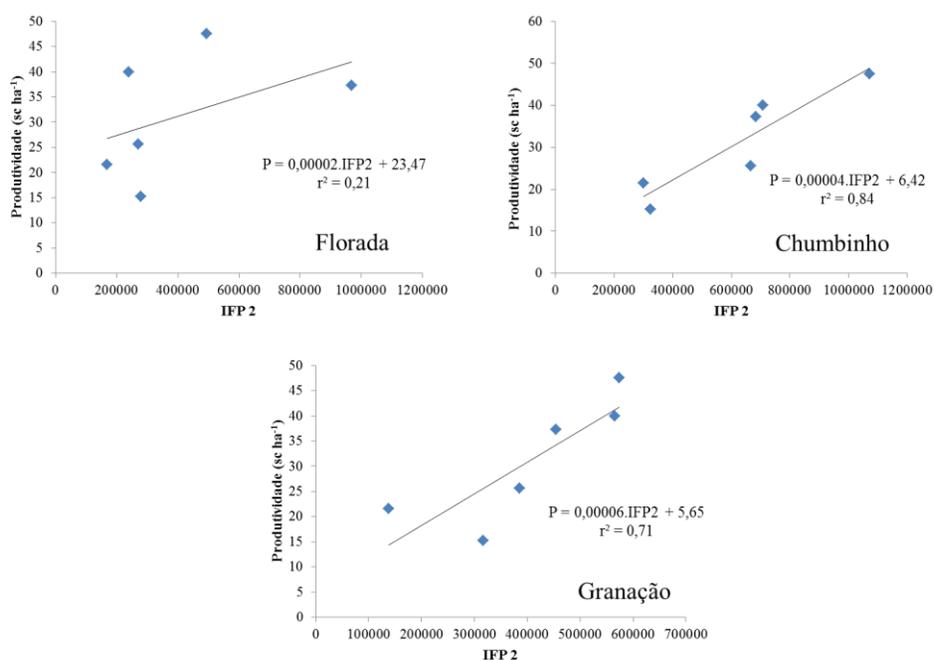


Figura 6 Equações utilizadas para estimativa de produtividade do cafeeiro, a partir do IFP2, nas diferentes fases fenológicas

Para o IFP2 os valores de r^2 obtidos no presente estudo foram maiores que os observados para o IFP1 e superaram inclusive os observados por Alfonsi (2008), uma vez que encontrou-se valores de 0,2137; 0,8357 e 0,709; para as fases de florada, chumbinho e granação respectivamente. E esse fato indica um

maior potencial do IFP2 em estimar a produtividade nas condições meteorológicas apresentadas.

Também com o intuito de expressar maior clareza apresenta-se nas Equações 23, 24 e 25, os modelos obtidos nesse estudo.

- Fase florada

$$P = 0,00002 \cdot IFP2 + 23,47 \quad (23)$$

- Fase chumbinho

$$P = 0,00004 \cdot IFP2 + 6,42 \quad (24)$$

- Fase granação

$$P = 0,00006 \cdot IFP2 + 5,65 \quad (25)$$

Para todos os casos, tanto IFP1 quanto IFP2, nota-se que a relação entre essas variáveis correlacionadas com a produtividade observada apresentaram uma tendência linear em todas as épocas avaliadas. Este fato indica que a produtividade observada aumenta linearmente conforme aumenta-se os valores dos índices IFP1 e IFP2.

4.5 Testes dos modelos

Obtidos os modelos resultantes das regressões entre as produtividades observadas e os Índices Fenológicos de Produtividade 1 e 2, os mesmos foram testados com os dados dos outros sete talhões amostrais (TA), para os ciclos

agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014. Nas Tabelas 6 e 7 apresentam-se os resultados dos testes estatísticos aplicados para a avaliação dos modelos.

Os parâmetros apresentados são: coeficiente de determinação (r^2), o índice de correlação (r), o índice de concordância (D) proposto por Willmott et al. (1985), o índice C, o erro médio (EM), o desvio médio absoluto (DMA), o erro médio percentual absoluto (EMPA), e o erro quadrático médio (EQM).

Tabela 6 Resultados das análises estatísticas aplicadas nos modelos matemáticos fenológicos para o ano 2012/2013

Modelo	Fase Fenológica	r ²	r	D	C	EM	DMA	EMPA	EQM
IFP1	Florada	0,03	0,16	0,45	0,07	13,67	14,93	31,04	296,97
	Chumbinho	0,81	0,90	0,73	0,65	12,81	10,98	29,52	178,79
	Granação	0,54	0,73	0,65	0,48	13,11	11,24	28,18	226,34
IFP2	Florada	0,01	-0,08	0,41	-0,03	11,84	14,28	30,61	277,21
	Chumbinho	0,30	0,55	0,64	0,35	11,19	12,40	33,38	237,22
	Granação	0,35	0,59	0,67	0,39	12,15	12,43	33,16	240,32

Tabela 7 Resultados das análises estatísticas aplicadas nos modelos matemáticos fenológicos para o ano 2013/2014

Modelo	Fase Fenológica	r ²	r	D	C	EM	DMA	EMPA	EQM
IFP1	Florada	0,15	0,39	0,55	0,22	1,85	4,88	14,10	43,83
	Chumbinho	0,004	0,07	0,44	0,03	5,41	10,76	38,25	171,95
	Granação	0,28	0,53	0,66	0,35	-6,97	7,55	30,40	120,85
IFP2	Florada	0,23	0,48	0,61	0,29	1,81	4,64	13,24	39,56
	Chumbinho	0,01	0,10	0,46	0,05	9,45	11,53	38,97	210,53
	Granação	0,54	0,74	0,78	0,57	-2,30	7,78	28,60	87,20

Pela Tabela 6 pode-se observar que o IFP1 apresentou um desempenho superior ao IFP2 para a safra 2012/2013, fato melhor percebido nas diferenças entre r^2 , r , D e C , uma vez que os índices estatísticos relacionados a diferença entre o valor observado e estimado apresentaram comportamento muito semelhante.

De semelhança entre o IFP1 e IFP2, percebe-se que ambos, na fase de florada, nas condições analisadas são incapazes de prever a produtividade futura, em parte pelo longo intervalo de tempo decorrido entre essa fase e a colheita e por outra pelo fato de a florada realmente não ser capaz de representar com bom nível de precisão e exatidão a produtividade da cultura, por fatores inerentes a fisiologia da planta e interferências de fatores climáticos.

Na Tabela 7 que representa o desempenho dos modelos para os índices IFP1 e IFP2 observados na safra 2013/2014 nota-se que o desempenho ficou aquém do observado para a safra anterior, provavelmente em função das condições meteorológicas adversas e atípicas ocorridas no período.

É possível ver pelos resultados dos testes estatísticos baseados na diferença entre valor observado e estimado que estes foram menores que na safra anterior, no entanto, os demais testes mostram que não há uma tendência de o modelo ser capaz de representar a realidade do momento, ou seja, as condições meteorológicas serviram como uma fonte de variação a qual o modelo não conseguiu se adequar.

4.5.1 IFP1 para a safra 2012/2013

Na Figura 7 são apresentadas as regressões entre a produtividade observada e estimada com os respectivos valores de r^2 observados para cada fase fenológica da cultura, no ciclo agrícola 2012/2013 com utilização do IFP1.

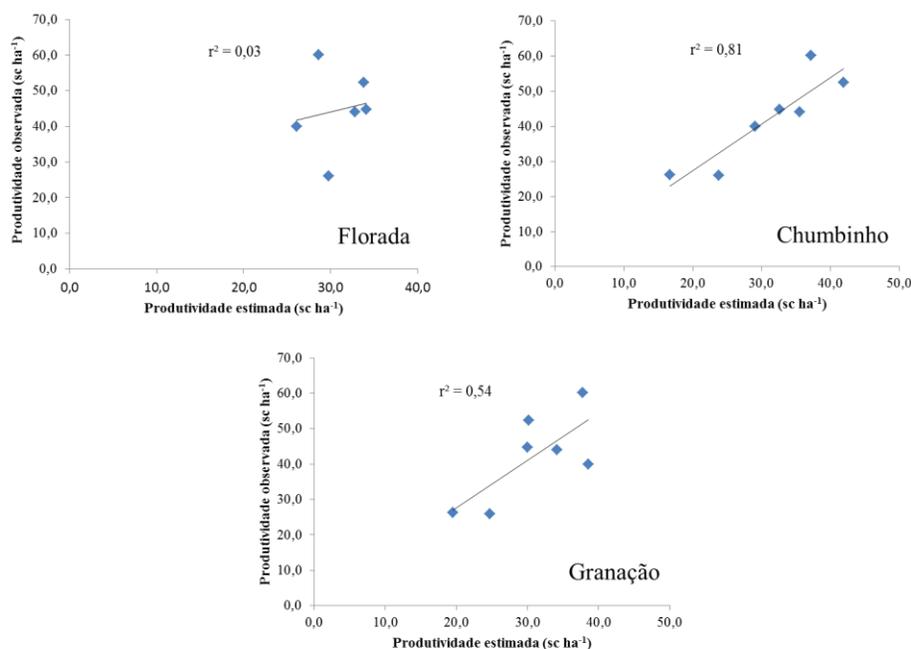


Figura 7 Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2012/2013, considerando o IFP1

Nota-se que o desempenho do modelo para a época de chumbinho superou inclusive o da época da granação. Fato que não era esperado, em razão da proximidade entre a granação e a colheita. A expectativa era de que os melhores desempenhos fossem observados nesta época. No entanto, isso pode ser explicado pelo excesso de chuva ocorrida no mês de janeiro de 2013, algo entorno de 500 mm, que provavelmente intensificou o processo de queda de chumbinho em algumas localidades, além de danos às plantas que limitaram as possibilidades de sucesso do fechamento do ciclo, com a devida maturação dos frutos.

4.5.2 IFP1 para a safra 2013/2014

Na Figura 8 são apresentadas as regressões entre a produtividade observada e estimada com os respectivos valores de r^2 observados para cada fase fenológica da cultura, no ciclo agrícola 2013/2014 com utilização do IFP1.

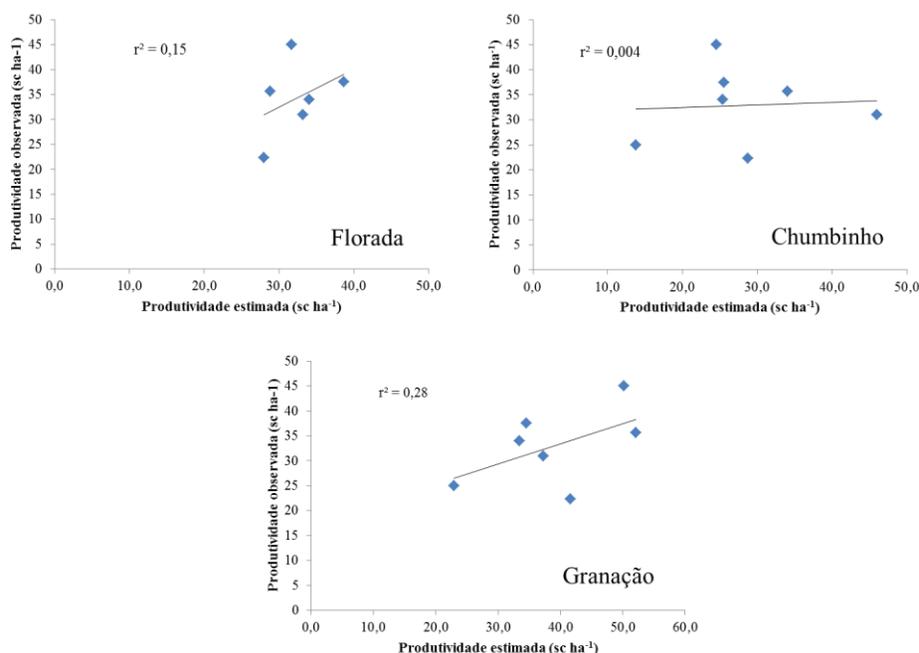


Figura 8 Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2013/2014, considerando o IFP1

Nessa figura é possível notar o quanto as condições meteorológicas atípicas, observadas praticamente ao longo de todo o ciclo agrícola, aumentaram a dispersão dos dados, indicando que o modelo se torna impreciso para uso nessas condições. Fato a ser destacado é que nessa situação, diferentemente da anterior, a estimativa teve um desempenho pior na fase de chumbinho.

Alfonsi (2008) também indica que essas variações podem ser atribuídas ao tamanho da amostragem, a qual na extrapolação de uma pequena amostra de dados para uma maior, pode apresentar grande variação.

4.5.3 IFP2 para a safra 2012/2013 e 2013/2014

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas as regressões entre a produtividade observada e estimada com os respectivos valores de r^2 observados para cada fase fenológica da cultura, nos ciclos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente, com utilização do IFP2.

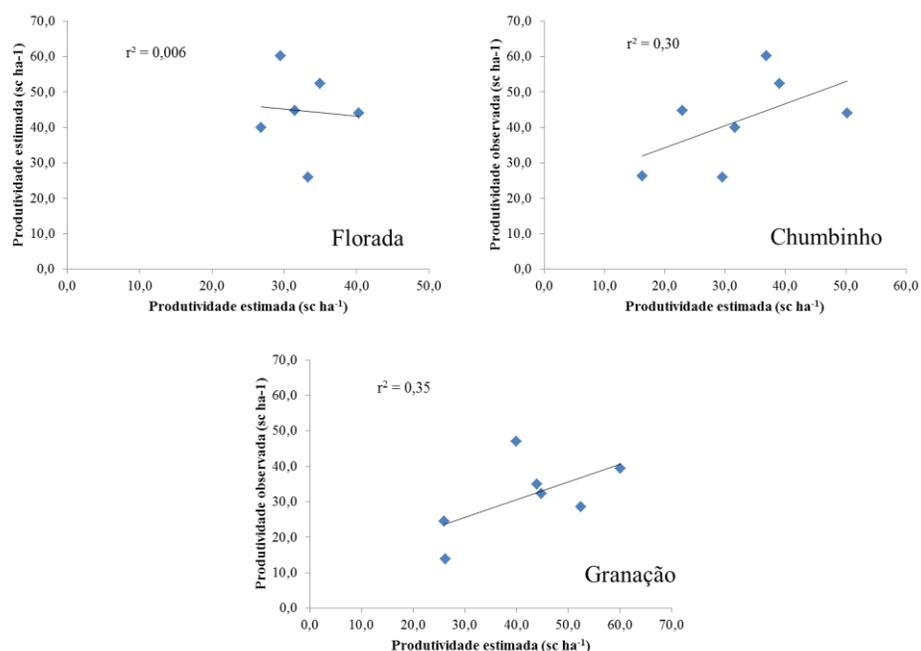


Figura 9 Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2012/2013, considerando o IFP2

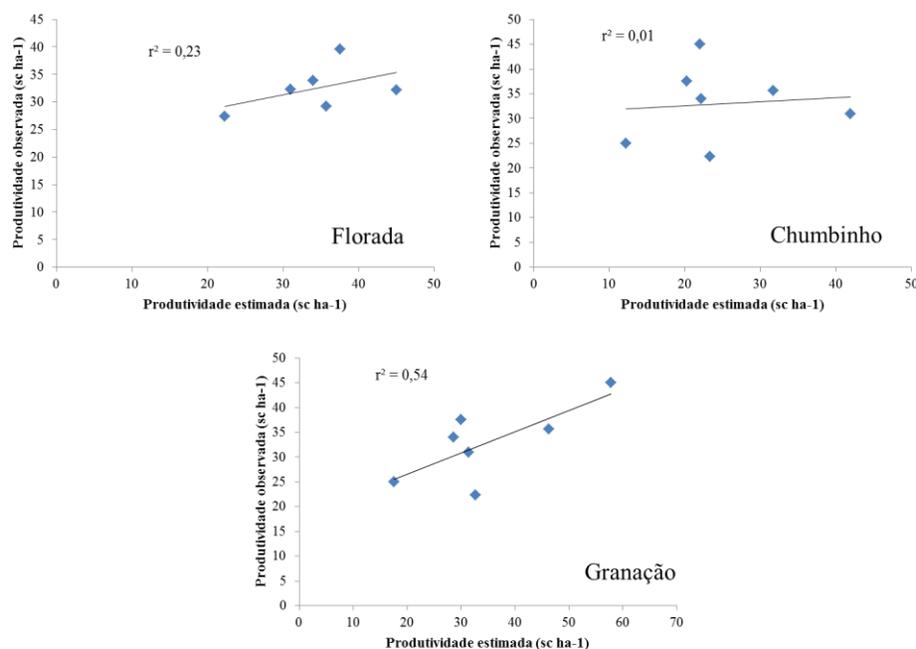


Figura 10 Comparativo entre produtividade observada e estimada pelo modelo para a safra 2013/2014, considerando o IFP2

Por essas figuras nota-se um potencial razoável de se realizar a predição de produtividade utilizando-se o IFP2 na época de granação, em condição de situação meteorológica adversa, haja vista que foi a única ocasião na qual os índices r e D estiveram próximos da unidade.

No entanto, essa ideia precisa ser trabalhada juntamente com a possibilidade de se inserir um índice relacionado a penalização da produtividade, decorrente de fenômenos meteorológicos adversos.

4.6 Comparativo entre médias

Com o objetivo de simular e analisar estatisticamente os modelos em situações variadas, procedeu-se ao cálculo da média de produtividade observada

entre os dois anos agrícolas considerados no presente estudo, bem como a média entre as produtividades estimadas no mesmo período para todas as fases fenológicas e para os dois índices (IFP1 e IFP2).

Com os resultados obtidos procedeu-se a comparação entre a produtividade estimada média e a produtividade observada média, com o intuito de verificar se nesses termos os modelos teriam um melhor desempenho, em razão da diminuição da discrepância entre os dados.

Fato que em sendo confirmado ratificaria a ideia de que os modelos são adequados, apresentando nesse estudo algumas limitações decorrentes apenas da adversidade meteorológica ocorrida no período avaliado.

Os gráficos obtidos em decorrência da referida análise são apresentados nas Figuras 11 e 12, respectivamente para a safra 2012/2013 e 2013/2014.

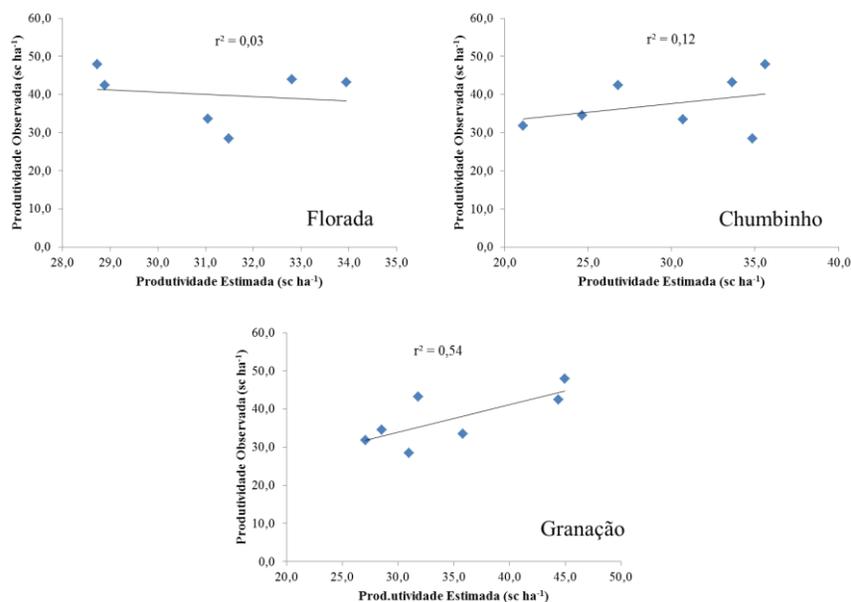


Figura 11 Comparativo entre produtividade estimada média em relação à produtividade observada média, para as safras 2012/2013 e 2013/2014, considerando o IFP1

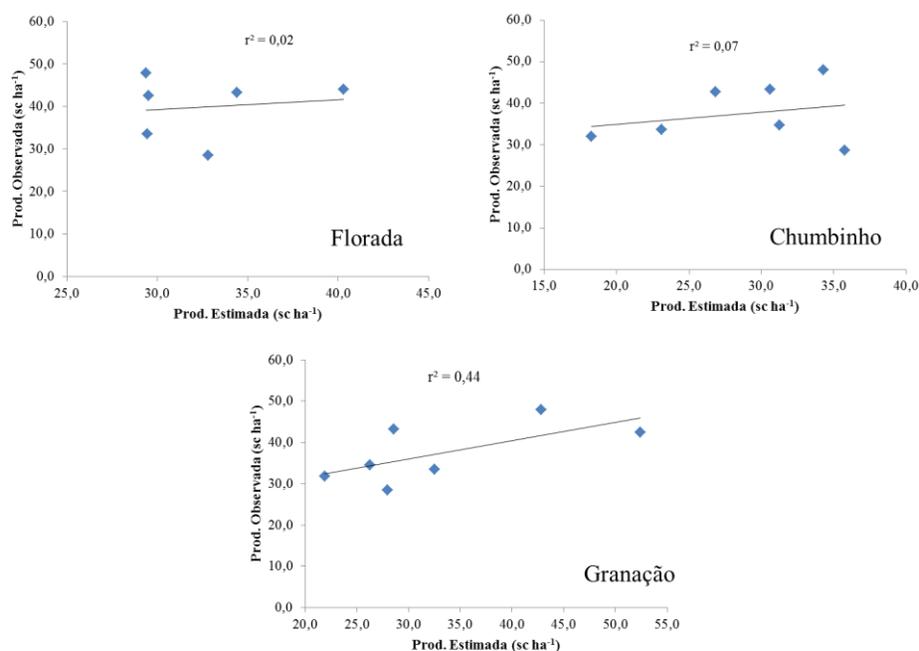


Figura 12 Comparativo entre produtividade estimada média em relação à produtividade observada média, para as safras 2012/2013 e 2013/2014, considerando o IFP2

Pelas análises aplicadas considerando o IFP1 teve-se como resultado r^2 de 0,03, 0,12 e 0,54 para as fases da florada, chumbinho e granação, respectivamente. Resultados estes que superaram os observados isoladamente para a safra 2013/2014 e ficaram aquém dos observados para a safra 2012/2013.

Com relação aos demais testes estatísticos aplicados nesse caso, quais sejam, correlação (r), índice de concordância (D) e o índice C , apenas na fase fenológica da granação os mesmos se mostraram superiores aos valores obtidos nas análises das safras em separado, sendo os valores de 0,74; 0,83; e 0,61, respectivamente.

Estas constatações indicam que para uma série histórica, produto da observação de um número maior de safras, os efeitos das condições

meteorológicas adversas seriam absorvidos e os modelos levariam a resultados mais robustos.

Quanto às análises aplicadas considerando o IFP2, os valores de r^2 , r , D e C variaram de 0,02 a 0,44; de 0,13 a 0,67; de 0,45 a 0,74; e de 0,06 a 0,49; respectivamente. E nesta simulação não foi possível reconhecer um padrão que indicasse superioridade ou inferioridade em nenhuma das fases fenológicas.

No entanto, como os maiores valores para os índices estatísticos foram observados sempre na fase de granação, aqui teve-se a confirmação de uma tendência a qual era esperada, com os modelos apresentando melhor desempenho nesta fase fenológica, diferentemente do que ocorreu com o IFP1 para a safra 2012/2013.

4.6.1 Comparativo entre valores absolutos

Para confrontar diretamente os valores de produtividade observada em cada talhão amostral com os respectivos valores de produtividade estimada pelo IFP1, organizou-se a Tabela 8 mostrada abaixo.

Tabela 8 Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), comparativamente às produtividades estimadas com o IFP1, nas safras 2012/2013 e 2013/2014

TA	Produtividade Observada (sc ha ⁻¹)*	Produtividade Estimada (sc ha ⁻¹)		
		Florada**	Chumbinho	Granação
	2012/013			
1	44,8	34,1	32,6	30,0
2	44,0	32,8	35,5	34,1
3	40,0	26,1	29,1	38,6
4	26,0	29,8	23,7	24,7
5	52,4	33,8	41,9	30,2
6	60,1	28,6	37,2	37,8
7	26,3	---	16,7	19,5
2013/2014				
1	37,5	38,7	25,5	34,6
2	22,3	28,0	28,8	41,6
3	45,0	31,7	24,5	50,2
4	31,0	33,2	46	37,3
5	34,0	34,1	25,4	33,4
6	35,7	28,8	34,1	52,2
7	25	---	13,8	22,9
Média	37,4	31,6	29,6	34,8

(*) valores registrados conforme informação prestada pelos produtores; (**) Média realizada com os seis talhões que apresentaram estimativa para a fase fenológica da florada.

Esses dados evidenciam que para a safra 2012/2013 a estimativa, baseada no IFP1, em todas as épocas subestimou a produtividade observada. Já na safra 2013/2014 não se observou comportamento semelhante, havendo

alternâncias entre valores estimados maiores e menores que os da produtividade observada.

Ao se calcular a média entre os valores de produtividade observada e estimada em cada fase fenológica, considerando os sete talhões amostrais, nas duas safras, observou-se que as médias dos valores estimados ficaram relativamente próximas da média dos valores observados.

Em todas as fases fenológicas a média da produtividade observada superou as médias estimadas. As médias das estimativas obtidas nas fases da floração, chumbinho e granação foram, respectivamente, 18,4; 26,4; e 7,5% menores que a média da produtividade observada, fato que reforça o potencial do modelo.

A mesma confrontação também foi realizada com os valores de produtividade estimada com o IFP2, o que é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 Produtividade observada nos talhões amostrais (TA), comparativamente às produtividades estimadas com o IFP2, nas safras 2012/2013 e 2013/2014

TA	Produtividade Observada (sc ha ⁻¹)*	Produtividade Estimada (sc ha ⁻¹)		
		Florada**	Chumbinho	Granação
2012/013				
1	44,8	31,5	22,9	32,4
2	44,0	40,3	50,2	35,0
3	40,0	26,8	31,6	47,1
4	26,0	33,3	29,6	24,5
5	52,4	34,9	39,0	28,5
6	60,1	29,5	36,9	39,4
7	26,3	---	16,2	13,9

“Tabela 9, conclusão”

TA	Produtividade Observada (sc ha ⁻¹)*	Produtividade Estimada (sc ha ⁻¹)		
		Florada**	Chumbinho	Granação
2013/2014				
1	37,5	39,6	20,3	30,0
2	22,3	27,4	23,4	32,7
3	45,0	32,2	22,0	57,7
4	31,0	32,3	41,9	31,4
5	34,0	33,9	22,2	28,6
6	35,7	29,2	31,8	46,3
7	25	---	12,3	17,6
Média	37,4	32,6	28,6	33,2

(*) valores registrados conforme informação prestada pelos produtores; (**) Média realizada com os seis talhões que apresentaram estimativa para a fase fenológica da florada.

Nessa confrontação também nota-se uma alternância dos valores de produtividade estimada pelo IFP2 em relação aos valores observados, para as duas safras consideradas.

No entanto, com relação às médias, dos valores de produtividade observada e estimada em cada fase fenológica, para os sete talhões amostrais, nas duas safras, observou-se que a exemplo do ocorrido na análise com o IFP1, a média da produtividade observada também superou as médias estimadas em todas as fases.

Nessa análise com a produtividade estimada pelo IFP2, as médias das estimativas obtidas nas fases da floração, chumbinho e granação foram, respectivamente, 14,7; 30,8; e 12,7% menores que a média da produtividade observada. Dada a relativa proximidade entre as médias observadas e estimadas,

depreende-se que a estimativa realizada com o IFP2 também tem potencial para aplicação.

5 CONCLUSÕES

O modelo é adequado às condições de manejo e cultivo, às cultivares utilizadas e às condições edafoclimáticas ao qual foi submetido.

A estimativa de produtividade de cafeeiros a partir da contagem de flores nos nós produtivos não possibilitou em nenhuma das situações avaliadas, obter resultados satisfatórios que sugerissem a possibilidade de recomendação de aplicação do método.

É possível prever a produtividade de talhões de café tendo bom nível de confiança com até seis meses de antecedência, a partir da coleta de dados fenológicos na fase de chumbinho.

Os Índices Fenológicos de Produtividade 1 e 2 têm boa correlação com a produtividade das lavouras sendo bons indicativos para processos de estimativa de produtividade de cafeeiros.

O desempenho do modelo empregado foi prejudicado pela atipicidade das condições meteorológicas registradas no período.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ante o cenário de mudanças climáticas globais que tem sido traçado amplamente, por pesquisadores e autoridades de vários setores da sociedade e de várias nacionalidades, com indicação de que fenômenos atípicos como os observados no ano de 2014 tendem a se tornarem mais frequentes, conseguir estimar a produtividade de cafeeiros considerando as penalizações impostas por tais fenômenos é ainda mais impactante e necessário. Nesse contexto sugere-se para trabalhos futuros que se realize o estudo dos modelos propostos com a inserção de dados meteorológicos coletados “*in loco*”.

Ainda vislumbrando possibilidades de trabalhos futuros, sugere-se que as informações referentes à área e produtividade observada sejam obtidas em lavouras experimentais com o objetivo de se exercer maior controle ao longo de todo o processo.

Para anos agrícolas considerados normais, do ponto de vista meteorológico, os modelos propostos aparentam ter boa robustez, inspirando bom nível de confiabilidade.

Os modelos são práticos, com coleta de dados de fácil percepção, dispensando o uso de instrumentos e equipamentos sofisticados, o que viabiliza sua utilização, mesmo por pessoas que não detenham larga experiência na área, além de inserir no processo de realização de estimativas de produtividade um critério científico adequado e passível de ser reproduzido.

REFERÊNCIAS

ALÈGRE, G. Climats et caféiers d'Arabie. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 14, n. 1, p. 23-58, 1959.

ALFONSI, E. L. **Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro**. 2008. 104 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

ALMEIDA, T. S. **Modelagem agrometeorológica-espectral para estimativa da produtividade de cafeeiros para áreas irrigadas do noroeste de Minas Gerais**. 2013. 63 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

ARAUJO, M. A.; SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y. Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 23-31, 2011.

BAIER, W. Notes on terminology of crop-weather models. **Agricultural Meteorology**, Geneva, v. 20, n. 8, p. 137-145, 1979.

BARROS, I. **Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas**. 1997. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Produção e Comercialização. Departamento do Café. **Estimativa da safra cafeeira**. Brasília, 1999. 6 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BROWING, G.; DORWARD, A. A survey methodology for assessing yield potential and coffee berry losses in peasant coffee. **Experimental Agriculture**, London, v. 25, p. 235-242, 1989.

CAIXETA, G. Z. T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 1-24.

CAMARGO, A. P. Clima. In: CULTURA do café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1974. p. 20-35.

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

CAMARGO, A. P. **Zoneamento da aptidão climática para a cafeicultura arábica e robusta no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1977. 76 p.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de. 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, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de; PALLONE FILHO, W. J. **Modelo climático-fenológico para determinação das necessidades de irrigação de café arábica na região norte de São Paulo e no Triângulo Mineiro**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 26 p. (Série Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 190).

CAMARGO, A. P.; FRANCO, C. M. Clima e fenologia do cafeeiro. In: CULTURA de café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1981. p. 1-62.

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994. 43 p. (CAgM Report, 58; WMO/TD, 615).

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 169-172, 1993.

CAMARGO, M. B. P. et al. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja “Valência”. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 171-178, 1999.

CAMARGO, M. B. P. et al. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café; Minasplan, 2003. p. 75-76.

CAMARGO, M. B. P.; ROLIM, G. de S.; SANTOS, M. A. dos. Modelagem agroclimatológica do café: estimativa e mapeamento das produtividades. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 58-65, 2007.

CANNELL, M. G. R. Effects of irrigation, mulch and N-fertilizers on yield components of arabica coffee in Kenya. **Experimental Agriculture**, London, v. 9, n. 3, p. 225-232, 1973.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, London, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

CARVALHO, H. P. et al. Índices bioclimáticos para a cultura de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 601-606, 2011.

CARVALHO, L. G. et al. Aplicação da análise harmônica por séries de Fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 732-741, set./dez. 2005.

CARVALHO, L. G. et al. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.

CARVALHO, L. G. C. **Modelos prognósticos de produtividade da cultura do café no estado de Minas Gerais**. 2003. 152 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, v. 2, safra 2015, n. 2, segundo levantamento. Brasília, 2015a. 59 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas.**

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudo s=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 8 set. 2015b.

COSTE, R. **Caféiers et cafés: techniques agricoles et production tropicales.** Paris: G. P. Maisonnneuve et Larose, 1989. 373 p.

DAMATTA, F. M. et al. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist**, Cambridge, v. 178, n. 2, p. 348-357, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 197 p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Consórcio brasileiro de pesquisa e desenvolvimento do café.** Brasília: EMBRAPA Café, 2004. 148 p.

FAHL, J. I. et al. Avaliação de índices fisiológicos de produção para utilização em modelos de previsão de safra. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. v. 1, p. 60.

FAHL, J. I. et al. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção em duas épocas de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/Fundação Procafé, 2005. p. 339-341.

FAHL, J. I. et al. Efeito das condições climáticas sobre a bienalidade da produtividade do café arábica na região de Mococa-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. v. 1, p. 155-156.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado 2.** Piracicaba: Publique, 1997. p. 1-20.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul: um estudo preliminar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

FONTANA, D. C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 399-403, mar. 2001.

GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação e crescimento de gemas florais de *Coffea arabica* L.:** observações sobre antese e maturação dos frutos. 1984. 237 p. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317 p.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Statistics:** total production. Disponível em: <http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics>. Acesso em: 16 maio 2015.

MARIANO, F. C. M. **Redes neurais na predição de valores energéticos de alimentos para aves**. 2014. 128 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MARIN, F. R. et al. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 157-162, 2006.

MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; UNGARO, M. R. G. Perda de rendimento potencial da cultura do girassol por deficiência hídrica, no Estado de São Paulo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 1-6, 2000.

MATIELLO, J. B. **O café:** do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MEIRELES, E. J. L. M. et al. Café. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos:** o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009a. p. 353-371.

MEIRELES, E. J. L. M. et al. **Fenologia do cafeeiro:** condições agrometeorológicas e balanço hídrico: ano agrícola 2002-2003. Brasília:

EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 43 p. (EMBRAPA Café. Documentos, 2).

MEIRELES, E. J. L. M. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2003-2004**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. 79 p. (EMBRAPA Café. Documentos, 3).

MEIRELES, E. J. L. M. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009b. 128 p. (EMBRAPA Café. Documentos, 5).

MIRANDA, J. M.; REINATO, R. A. O.; SILVA, A. B. Modelo matemático para previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 353-361, 2014.

MORELLATO, L. P. C. As estações do ano na floresta. In: LEITÃO FILHO, H. F.; MORELLATO, L. P. C. (Org.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: reserva de Santa Genebra**. Campinas: UNICAMP, 1995. p. 187-192.

NUNES, F. L. et al. 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, D. A. **Estimativa da produção de café por meio de índice fenológico**. 2007. 28 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

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

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 169-181, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agrônomicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'**. 2004. 136 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, nov./dez. 2008.

PICINI, A. G. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo**. 1998. 132 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1998.

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

REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. 896 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C. et al. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 26-40, 1985.

ROSA, V. G. C. **Modelo agrometeorológicos-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região sul/sudoeste do Estado de Minas Gerais**. 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

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, dez. 2010.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Yield estimation of sugar cane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 33, n. 3, p. 183-192, Sept. 1990.

SÁENZ, J. R. R.; PULGARÍN, J. A.; RESTREPO, E. C. M. Estimación de laproducción de café com base em los registros de floración. **Cenicafé**, Manizales, v. 59, n. 3, p. 238-259, 2008.

SANTOS, M. A. dos. **Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2005. 155 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2005.

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

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001. Edição especial: zoneamento agrícola.

SETTE, R. S.; ANDRADE, J. G.; TEIXEIRA, J. E. R. L. **Planejamento e gestão da propriedade cafeeira**. Lavras: UFLA, 2010. 163 p.

STEWART, J. I.; HAGAN, R. M.; PRUITT, W. O. **Production functions and predicted irrigation programmes for a principal crops as required for water resources planning and increased water efficiency: final report**. Washington: Department of Interior, 1976. 80 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of cliate. **Geographycal Review**, London, n. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104 p.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

ZACHARIAS, A. O.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Modelo agrometeorológico de estimativa do início da florada plena do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 249-256, 2008.

ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 396 p.