

DIFERENCIAÇÃO FLORAL EM CAFEIEIRO ARÁBICA (*Coffea arabica* L.) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO¹

Rachel Benetti Queiroz-Voltan²; Joel Irineu Fahl³; Maria Luiza Carvalho Carelli⁴

(Recebido: 10 de dezembro de 2010; aceito 6 de setembro de 2011)

RESUMO: São poucas as informações sobre a influência da radiação nos processos de indução e diferenciação de gemas reprodutivas em *Coffea arabica* L. Esse conhecimento permite definir níveis de sombreamento ou a densidade de plantio para maximizar o desenvolvimento, a produção e a sustentabilidade dessa cultura. Avaliou-se a diferenciação floral da cultivar Catuai Vermelho IAC 81, sob quatro níveis de radiação solar (30, 50, 70 e 100%), obtidos com o uso de telas de sombrites. Ramos plagiotrópicos com frutos foram coletados, de fevereiro a setembro, durante dois anos consecutivos. Lâminas contendo cortes longitudinais na região do nó foram preparadas para a caracterização e quantificação dos estádios de diferenciação histológica. A formação de gemas indiferenciadas teve início no mês de fevereiro e sua diferenciação para gemas reprodutivas, em abril/maio. No final de julho, quase todas as gemas já eram reprodutivas. A porcentagem de gemas indiferenciadas no mês de fevereiro foi 50% menor em 2005, porque os ramos amostrados apresentavam um grande número de frutos na região basal, indicando que nos ramos de cafeeiro de anos de alta produção, ocorre um atraso na diferenciação das gemas florais em relação aos ramos com poucos frutos de ano de baixa produção. Os níveis intermediários de sombreamento, 50 e 70% de radiação solar, anteciparam o desenvolvimento das gemas no ano de alta produção, ocorrendo o inverso no ano de baixa produção. A radiação possui um efeito maior nas fases iniciais do desenvolvimento floral.

Palavras-chave: Anatomia das gemas, desenvolvimento reprodutivo, fenologia, floração.

FLORAL DIFFERENTIATION IN ARABICA COFFEE (*Coffea arabica* L.) UNDER DIFFERENT LEVELS OF RADIATION

ABSTRACT: Little is known about the radiation effect on the induction and differentiation phases of reproductive nodes of *Coffea arabica* L. This knowledge would allow defining shading levels, or planting densities, appropriate to maximize the development, the production and the sustainability of the coffee crop. Floral differentiation was evaluated in plants of 'Catuai Vermelho IAC 81,' cultivated under four radiation regimes (30, 50, 70 and 100%), by using different plastic screens. Plagiotropic branches with fruits were collected from February to September, for two consecutive years. Slides of longitudinal sections of the node regions were mounted for the characterization and quantification of histological stages of bud differentiation. The undifferentiated buds formation began in February and, their differentiation to reproductive buds, in April/May. At the end of July practically all buds were already reproducing. The percentage of undifferentiated buds in February was 50% lower in 2005 because the sample branches had a large number of fruits in the basal region, indicating that the branches in a year of high production show a delay in flower bud differentiation in relation to the branches with few fruits during low productive years. The intermediate levels of shading, 50 to 70%, solar radiation, anticipated the development of buds from the plants grown under full sun in years of high production, the opposite occurred in the low productive years. The percentage of undifferentiated buds between irradiance treatments varied more than the percentage of reproductive buds, indicating that the radiation intensity has a greater effect in the early stages of floral differentiation.

Key words: Bud anatomy, reproductive development, phenology, flowering.

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro possui folhas opostas, em cujas axilas ocorrem zonas meristemáticas. Diversas divisões anticlinais e periclinais ocorrem nas camadas abaixo do dermatogênio, originando os primórdios de gemas. Esses primórdios de gemas podem se

diferenciar em estruturas vegetativas, como os ramos, ou em estruturas reprodutivas, formando as inflorescências. Portanto, a transformação do meristema vegetativo em meristema floral é um reflexo das mudanças fisiológicas da planta, e o “ápice” floral, corresponde a uma modificação ontogenética do “ápice” vegetativo (ESAU, 1959).

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café.

²Pesquisadora Científica, M. Sc., Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento do Jardim Botânico/IAC, Campinas-SP, rachelqv@iac.sp.gov.br

³Pesquisador Científico, Dr., Centro de Pesquisa e desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica/IAC, Campinas, SP, fahl@iac.sp.gov.br

⁴Pesquisadora Científica Voluntária, Dra., Centro de Pesquisa e desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica/IAC, Campinas, SP, Bolsista do CBP&D/Café, carelli@iac.sp.gov.br

As gemas florais de *Coffea arabica* L. se desenvolvem principalmente nos ramos laterais denominados plagiotrópicos, crescidos na estação anterior e, com menor frequência nos ramos ortotrópicos. As gemas originam os botões florais, de pedúnculos curtos, formando um conjunto compacto recoberto por um cálculo formado por dois pares de bractéolas, o qual denomina-se glomérulo (DEDECCA, 1957). Nas axilas de cada folha aparecem de quatro a cinco glomérulos (MOENS, 1968), raramente em maior número, sendo esses protegidos por estípulas interpeciolares.

O processo de floração no cafeeiro abrange várias etapas como a indução, iniciação, diferenciação, crescimento e desenvolvimento, dormência e antese (BARROS; MAESTRÍA; COONS, 1978; WORMER; GITUANJA, 1970). Cada uma dessas etapas é influenciada pelas condições ambientais e por fatores endógenos da planta. Dentre os fatores ambientais os mais importantes são a radiação, a temperatura e a disponibilidade de água e, dependendo da fase de desenvolvimento do cafeeiro, um desses fatores atua no controle do ciclo vegetativo ou reprodutivo da planta (BARROS; MAESTRÍA; COONS, 1978; CAMAYO-VÉLEZ et al., 2003; MAJEROWICZ; SÖNDAHL, 2005; MOENS, 1968; RENA; MAESTRI, 1986; WORMER; GITUANJA, 1970).

A radiação é um fator importante na floração e produção do cafeeiro pela influência que exerce na síntese de fotoassimilados e no balanço hormonal. Apesar dessa importância, são poucas as informações e, as existentes, são divergentes entre os autores como Cannell (1972), Carelli et al. (1999), Castillo e Lopez (1966), Fahl et al. (1994), Gutiérrez e Meinzer (1994), Kumar e Tieszen (1980), Morais et al. (2003), Nunes, Bierhuizen e Ploegman (1968) e Yamaguchi e Friend (1979). Segundo Carelli et al. (1999), a divergência entre os trabalhos pode ser atribuída à diferenças de clima (temperatura, radiação e disponibilidade de água), idade da planta, densidade de plantio e outros fatores.

O cafeeiro no Brasil foi selecionado em condições de pleno sol e apresenta alta plasticidade morfológica e fisiológica. Plantas desenvolvidas sob alta radiação, possuem um espessamento foliar promovido principalmente pela expansão das células do mesófilo e também, um aumento na massa foliar

específica e no número de estômatos por unidade de área foliar (FAHL et al., 1994; MORAIS et al., 2004; VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992) e também, altas produções. O crescimento da parte aérea, que ocorre durante todo o período chuvoso, proporciona o crescimento dos ramos em cujos nós irão se desenvolver os botões florais que definirão a produção do ano seguinte. Assim, nos anos de grande produção, os frutos em crescimento são um forte dreno, absorvendo a maior parte da atividade metabólica da planta, reduzindo o desenvolvimento vegetativo (CANNEL, 1985; MAJEROWICZ; SÖNDAHL, 2005; MORAIS et al., 2006).

Diversos estudos sugerem que o cultivo do cafeeiro ocorra sob condições intermediárias de sombreamento, de modo que a produção seja homogênea ao longo de vários anos (BAGGIO; CARAMORI; ANDROCIOLI FILHO, 1997; MATIELLO; ALMEIDA, 1991). O conhecimento do efeito de diferentes níveis de radiação sobre o desenvolvimento floral do cafeeiro possibilitaria definir os níveis de sombreamento ou a densidade de plantio para maximizar o desenvolvimento, a produção e a sustentabilidade do cafeeiro. Isso porque a frutificação depende de uma floração adequada, e o conhecimento do processo de indução e desenvolvimento de estruturas reprodutivas é fundamental para a obtenção de alta produtividade.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a morfologia externa e interna durante as etapas do processo de floração em *C. arabica*, cultivada em campo, sob quatro diferentes regimes de radiação, visando contribuir para o conhecimento do processo de floração do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram realizados com a cultivar Catuaí Vermelho IAC 81, da espécie *Coffea arabica* L., de 6 anos de idade, plantada no espaçamento 3,2 x 0,65 m, no município de Rio Claro, SP (latitude 22°41' S, longitude 47°56' W e 625 m de altitude). Foram utilizados quatro níveis de radiação, 30, 50, 70 e 100%, obtidos por meio do uso de telas plásticas denominadas sombrite, com as respectivas capacidades de retenção de radiação solar. As plantas permaneceram 18 meses sob os tratamentos, antes do início das avaliações. A condução da cultura foi realizada nas condições ideais de adubação, calagem

e de tratos culturais recomendados para seu desenvolvimento (RAIJ et al., 1997).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições. E cada parcela, foi constituída por uma linha, composta por cinquenta plantas úteis.

As coletas do material vegetal para caracterização da morfologia interna e externa das gemas florais, nas diferentes fases de desenvolvimento, foram efetuadas entre fevereiro a setembro, com intervalos de 20 dias, totalizando vinte coletas, nos anos de 2005 e 2006. Todas as avaliações foram realizadas em ramos plagiotrópicos localizados na face da planta voltada para o norte. A cada coleta, foram retirados dois ramos da região mediana de cinco plantas, aleatoriamente, por nível de radiação, que possuíam frutos na sua base, originados da floração do ano anterior.

Os 3°, 4° e 5° nós de cada ramo, contados a partir do 1° nó desenvolvido na estação de crescimento (2° ano de produção), foram fixadas em formaldeído-ácido acético-álcool etílico 50% (JOHANSEN, 1940) e submetidas a vácuo por 48 horas. Posteriormente, os nós foram desidratados em série alcoólica-etflica, incluídos em parafina e seccionados longitudinalmente em micrótomo rotativo manual, a 10 µm. As lâminas foram coradas com safranina-azul de alcian, montadas em adesivo Permout e analisadas com o auxílio de um microscópio óptico acoplado a uma câmera de captura de imagens.

A porcentagem de gemas indiferenciadas e reprodutivas foi estimada a partir do somatório das observações realizadas nas duas axilas foliares dos 3°, 4° e 5° nós amostrados de cada ramo, totalizando 60 observações por coleta de cada tratamento.

A morfologia externa dos nós foi caracterizada em cinco estádios, com o auxílio de um microscópio estereoscópico, segundo a escala de classificação de Camayo-Vélez e Arcila-Pulgarín (1996), adaptada a partir da escala de Moens (1968): estágio 1- nó indiferenciado, apresentam as estípulas aderidas aos ramos e ausência de engrossamento na axila foliar; estágio 2- nós com estípulas engrossadas na região da axila foliar; estágio 3- nós com gemas que ultrapassam as estípulas, botões florais indiferenciados de coloração esverdeada, cobertos por estípulas e presença de mucilagem de cor amarronzada no ápice; estágio 4- nós com botões

verdes diferenciados e em estado latente, menores que 1cm e, estágio 5- nós com botões florais maiores que 1cm, de coloração branca e em estágio de desenvolvimento avançado próximo à antese.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo Tukey, a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da caracterização da morfologia externa e interna de gemas florais, no ano de 2005, indicam que a formação das gemas indiferenciadas teve início em fevereiro nos quatro regimes de radiação em que os cafeeiros se desenvolveram. Observou-se que, nas plantas cultivadas sob condições extremas de luz (30 e 100%), havia uma porcentagem de 40% de gemas indiferenciadas e, naquelas expostas a 50% e 70% de luz, apenas 13 e 33%, respectivamente (Figura 1).

Nas condições intermediárias de radiação, as gemas indiferenciadas atingiram o seu pico no início do mês de abril e, a partir desse mês foram se diferenciando em gemas reprodutivas. Entretanto, no nível de luz mais sombreado (30%) e a pleno sol, a porcentagem de gemas indiferenciadas aumentou até o final de abril e, somente a partir dessa data começou a diferenciação. Até o final de julho, todas as gemas eram reprodutivas, com exceção das plantas desenvolvidas a pleno sol, que apresentaram gemas indiferenciadas até o final de agosto. É importante ressaltar que o ano de 2005 foi de alta produção, que exerce alto poder de dreno de carboidratos, principalmente nas plantas expostas a pleno sol, como tem sido demonstrado por Cannell (1970), Cannell e Kimeu (1971), Carelli, Fahl e Magalhães (1989) e Vaast et al. (2006).

No mês de fevereiro de 2006, observou-se uma porcentagem maior de gemas indiferenciadas em todos os níveis de radiação, praticamente o dobro do observado na mesma época do ano anterior. As plantas desenvolvidas nos níveis intermediários de radiação (50 e 70%) apresentaram porcentagens maiores de gemas indiferenciadas, 83 e 97% respectivamente, em comparação àquelas desenvolvidas a pleno sol e a 30% de radiação. A diferenciação para gemas reprodutivas iniciou-se no mês de abril, em maior proporção nas plantas crescidas a 30% de luz e, a partir do final desse mês, a porcentagem de gemas reprodutivas foi aumentando em todos os níveis de radiação. Em maio,

60-70% das gemas eram reprodutivas em todas as condições de radiação, atingindo o seu pico, no final do mês de julho. Nessa época, quase todas as gemas haviam se desenvolvido em botões florais e, no final de setembro, as flores já haviam perdido as suas corolas. No ano de 2006, na base dos ramos havia poucos frutos, por ser um ano de baixa produção e, conseqüentemente, com a maior disponibilidade de nutrientes, houve uma antecipação na diferenciação floral. Segundo Wormer e Gituanja (1970) existe uma relação entre o ciclo reprodutivo e o ciclo vegetativo do cafeeiro, influenciados por diferentes condições da planta, como a idade, estado nutricional, produção, condições ambientais. Majerowicz e Söndahl (2005) compararam o desenvolvimento floral em ramos sem frutos (primeira produção) e com frutos (segunda produção) e verificaram que, nos ramos sem frutos, a diferenciação das gemas florais ocorreu nos meses de março/abril e, nos ramos com frutos em maio, indicando que a diferenciação floral é fortemente influenciada pela presença dos frutos em desenvolvimento.

A diferenciação das gemas ao longo de 2006 foi em parte semelhante entre os quatro níveis de radiação, ao contrário do ano de 2005, em que as cultivadas a pleno sol apresentaram um atraso na diferenciação floral (Figura 1). O pico máximo de gemas reprodutivas foi coincidente nos dois anos de estudo, porém, houve uma antecipação na indução e diferenciação floral em 2006, em relação ao ano anterior, a qual pode ser visualizada na Figura 2.

É interessante observar na Figura 1, que as diferenças entre os quatro regimes de radiação são maiores na fase de gemas indiferenciadas. Na fase reprodutiva, as plantas desenvolvidas a pleno sol (100% radiação) apresentaram diferenças quando comparadas com as demais condições de radiação, não só na porcentagem de gemas, mas também na época de desenvolvimento dessas, que foi posterior em 2005 e anterior em 2006.

Ao contrário dos resultados obtidos nesse trabalho, Morais et al. (2008) não observaram diferenças no desenvolvimento floral entre o cafeeiro cultivado a pleno sol e os tratamentos sombreados. Porém, nesse trabalho, as plantas permaneceram 18 meses sob as telas de sombrite antes de ser iniciado o estudo e, no de Morais et al. (2008), as plantas foram sombreadas durante um período muito curto, de abril a outubro, não abrangendo a totalidade do

período efetivo da indução floral, compreendido entre janeiro-fevereiro a final de julho.

A morfologia externa e interna na região do nó, no período de fevereiro a setembro de 2005 foi apresentada na Figura 3 e, observou-se que, no mês de fevereiro, havia o estádio 1 (Figura 3.1) e o estádio 2 (Figura 3.4). O estádio 1 caracterizou-se por ausência de gemas e grande quantidade de tricomas (Figura 3.2) e primórdios de gemas (Figura 3.3); enquanto que no estádio 2, haviam 2 a 3 primórdios de gemas não diferenciadas (Figura 3. 5 e 6), sendo a mais desenvolvida, aquela mais próxima do eixo do ramo e assim sucessivamente.

Nos meses de março e abril também observaram-se os estádios 1 (Figura 3.8, 15 e 22) e 2 (Figura 3.10, 18 e 26). O estádio 1 possuía 2 primórdios de gemas (Figura 3.9) e o estádio 2, de três a quatro primórdios ainda indiferenciados (Figura 3.11, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25 e 27), ou em início de diferenciação no final de abril (Figura 3.28).

O mês de maio de 2005 caracterizou-se pelo início da diferenciação das gemas reprodutivas. A maioria dos nós se encontravam no estádio 2, com as gemas ainda indiferenciadas (Figura 3. 30 e 31); porém algumas ultrapassavam as estípulas (Figura 3.29) e apresentavam duas expansões laterais que iriam se transformar no segundo par de brácteas (Figura 3.32), ou, no início do desenvolvimento do botão floral (Figuras 3.33 a 35).

A diferença entre gemas indiferenciadas e diferenciadas é que as primeiras caracterizam-se por possuir um ápice cônico, rodeado por primórdios de brácteas e por estípulas (Figura 3.14). Quando as células da região central e lateral começam a sofrer várias divisões periclinais, resultando numa expansão lateral da base e achatamento da superfície externa (Figura 3.28), inicia-se a diferenciação para gemas reprodutivas, sendo que essas expansões laterais irão originar o segundo par de brácteas e o pedicelo da futura inflorescência (Figura 3.32 e 3.38).

No mês de junho, a frequência de gemas reprodutivas aumentou, predominando o estádio 2 (Figura 3.36 e 39). Os botões florais em desenvolvimento, já apresentavam o início da diferenciação das sépalas e pétalas (Figura 3.37 e 38) e, alguns possuíam todos os verticilos florais desenvolvidos (Figura 3. 40, 41 e 42).

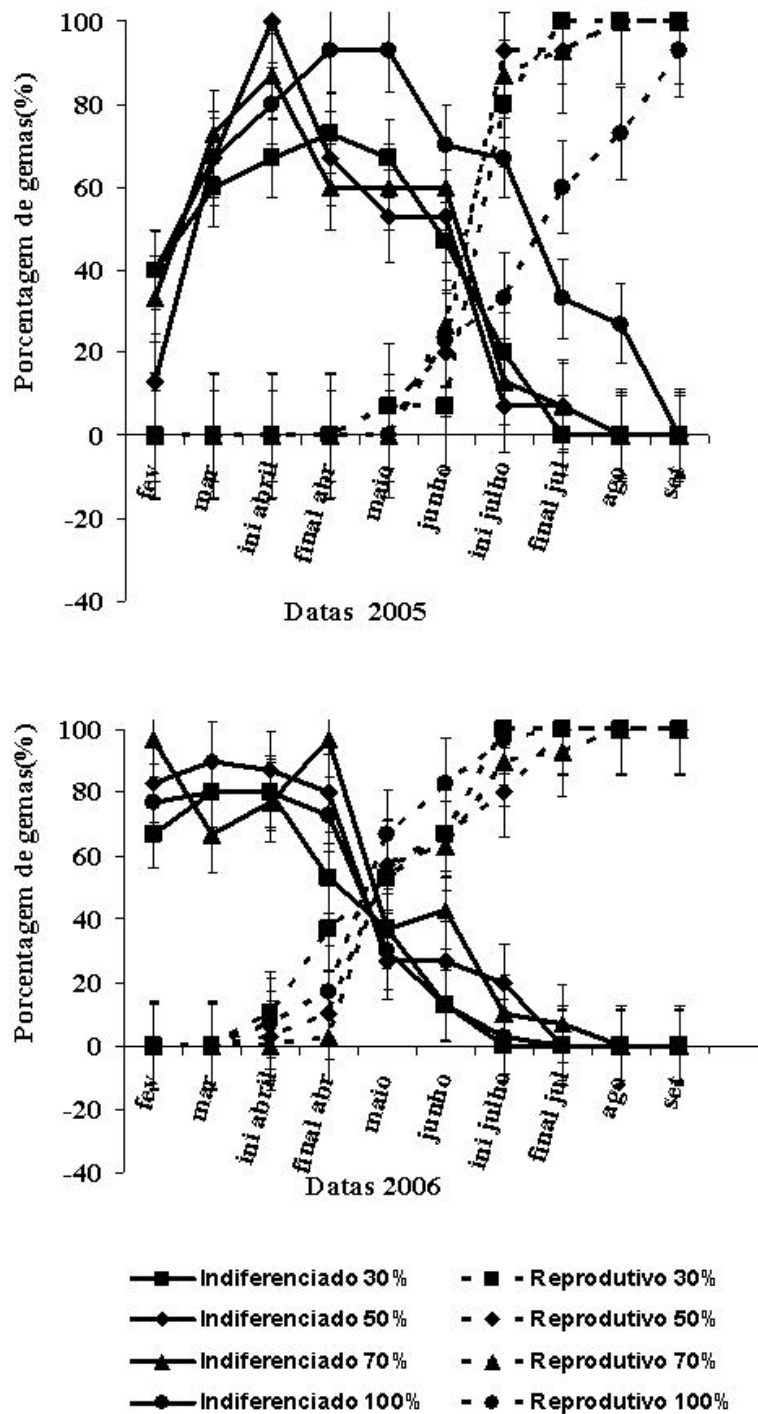


Figura 1 – Comparações entre as gemas indiferenciadas (traço contínuo) e reprodutivas (traço descontinuo) de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho IAC 81, nos anos de 2005 e 2006, sob diferentes níveis de radiação solar (30, 50, 70 e 100%). As barras representam o erro padrão da média.

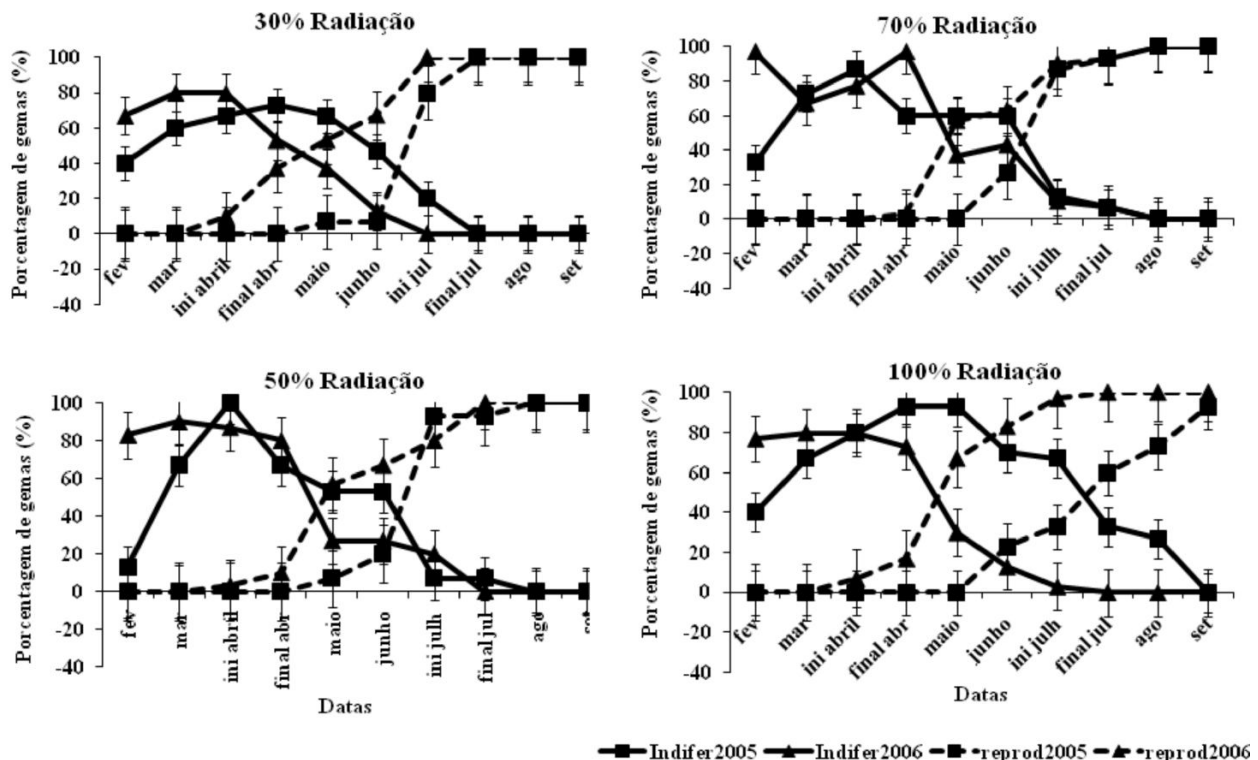


Figura 2 – Comparações entre os anos de 2005 e 2006, das gemas indiferenciadas (traço contínuo) e reprodutivas (traço descontínuo) de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho IAC 81, desenvolvidas sob quatro níveis de radiação solar (30, 50, 70 e 100%). As barras representam o erro padrão da média.

No início do mês de julho, a maioria dos botões florais no estágio 3 (Figura 3.43), haviam se diferenciado em sépalas, pétalas, androceu e gineceu (Figura 3.44, 45, 46, 48 e 49). Os primórdios florais nas axilas do primeiro par de brácteas (indicado pelas setas), já caracterizavam o início de desenvolvimento da inflorescência (Figura 3.45, 46 e 48), com numerosos tricomas no interior das brácteas e das estípulas (setas na Figura 3.44). Até o final desse mês, as gemas ultrapassavam as estípulas e eram cobertas por uma mucilagem marrom (Figuras 3. 50 a 53) e, todos os verticilos diferenciados (Figura 3. 54 a 56).

O estágio 4 pode ser observado no mês de agosto (Figura 3. 57, 59 e 61), exceto nas plantas desenvolvidas a pleno sol, que permaneceram no estágio 3. Os botões eram verdes e latentes, com estruturas semelhantes às observadas em julho (Figura 3. 58 e 60), ou mais desenvolvidos (Figura 3. 62 e 63). Na Figura 3.62 e 68 pode ser visualizado os

óvulos anátropos, no ovário ínfero, bilocular e com um disco nectarífero na base. O estilete, bifurcado em dois lobos estigmáticos e com papilas nas epidermes internas, pode ser visualizado na Figura 3.69, em corte transversal. As anteras, ao redor do estilete, eram envoltas, externamente, pelas pétalas.

Botões de coloração branca e próximos à antese, foram visualizados no mês de setembro, estágio 5 (Figura 3. 64, 66 e 67). As inflorescências, totalmente desenvolvidas, eram envoltas por um cálculo formado por dois pares de bractéolas, lanceoladas e triangulares. Geralmente, três a quatro gemas de inflorescências formavam-se nas axilas das folhas e com quatro a cinco flores, em cada inflorescência. As flores possuíam cálice rudimentar formado por cinco sépalas, persistentes no fruto (Figura 3. 70). Cinco pétalas brancas formavam a corola, sendo unidas até a região mediana e contorcidas no ápice para a esquerda (disposição imbricada).

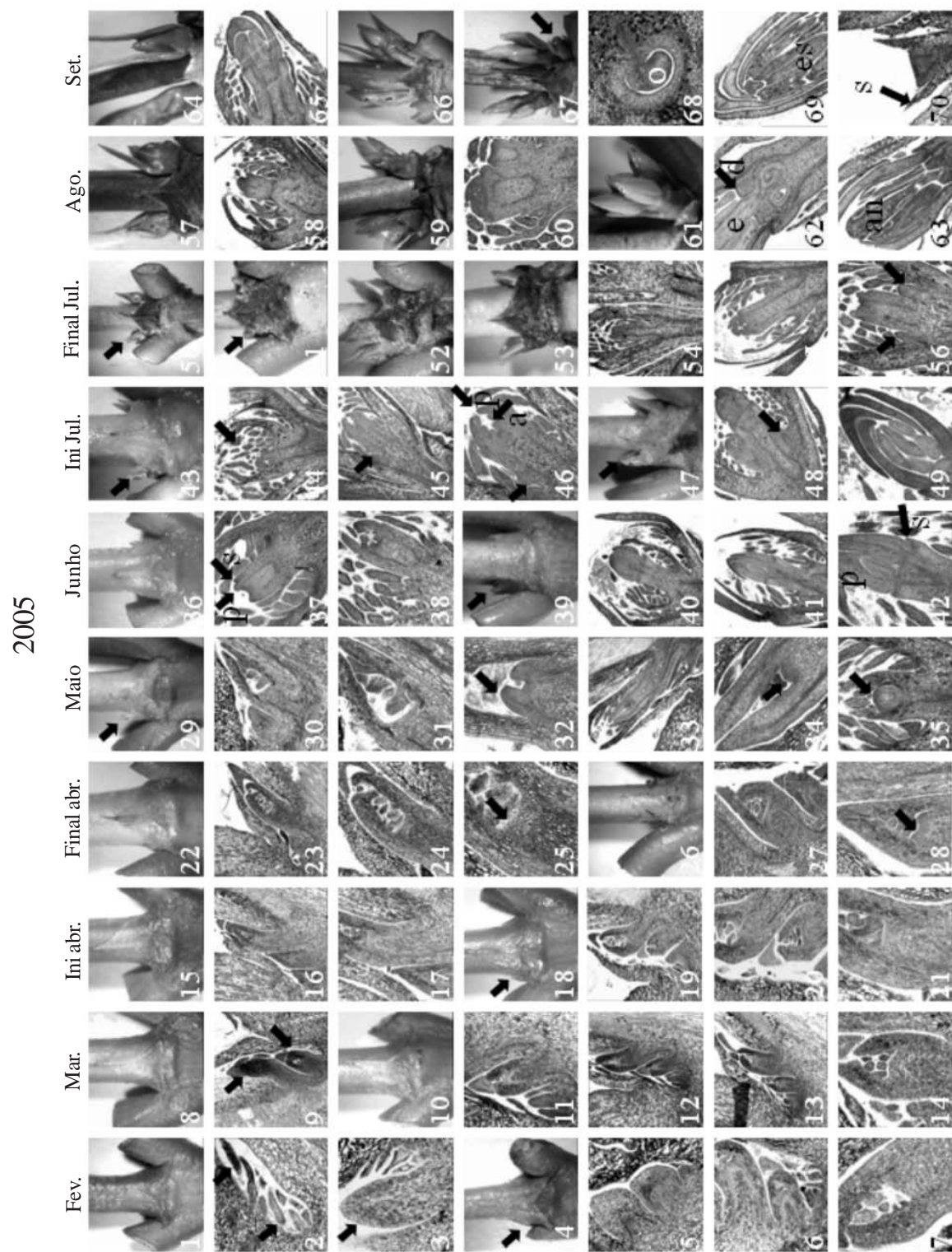


Figura 3 – Morfologia externa e interna da região do nó de ramos plagiotrópicos de *Coffea arabica* L. cv. Catuai Vermelho IAC 81, dos diferentes estádios de desenvolvimento floral, durante o período de fevereiro a setembro de 2005. As setas indicam as estruturas em desenvolvimento. a= androceu; an= antera; d= disco nectarífero; e= estilete; es= estigma; o= ovário; p= pétala; s= sépala.

Na Figura 4, visualiza-se a morfologia externa e interna na região do nó, no período de fevereiro a setembro de 2006. Nesse ano, embora tenha havido uma antecipação do desenvolvimento das gemas florais, observou-se no mês de fevereiro, axilas foliares no estágio 1 com ausência de gemas (Figura 4.2) e com um a quatro primórdios de gemas no estágio 2 (Figura 4: 3 a 7). No mês de março, haviam nós no estágio 1 (Figura 4.8), com gemas indiferenciadas (Figura 4.9 e 11), porém a maioria se encontrava no estágio 2 (Figura 4.10), com algumas gemas mais maduras, que já apresentavam expansões laterais do segundo par de brácteas (Figura 4.12 a 14).

No início de abril de 2006, as gemas começavam a se diferenciar em gemas reprodutivas (Figura 4.17, 19 e 20), nos estádios 2 (Figura 4.15) e 3 (Figura 4.18 e 21). Ao final do mês, os nós permaneceram nesses estádios (Figura 4.22), havendo um aumento na frequência de gemas reprodutivas, cujo desenvolvimento pode ser visualizado na Figura 4. 23 a 28.

No mês de maio, quando 60 a 70% das gemas eram reprodutivas, observou-se que nos nós do estágio 3 (Figura 4. 29), as gemas mais desenvolvidas estavam se diferenciando em inflorescência (Figura 4.31 a 35). Na Figura 4.34 é possível visualizar a diferenciação das sépalas, pétalas e o androceu mais internamente e, na Figura 4.35, o gineceu em desenvolvimento (seta).

Quase todas as gemas ultrapassavam as estípulas no mês de junho (Figura 4.36), sendo a maior parte delas reprodutiva. A sequência de desenvolvimento da inflorescência na Figura 4. 37 a 42, indica o desenvolvimento da sépala (seta) e da pétala na Figura 4. 38. Mais internamente à pétala, temos o androceu e no centro, o gineceu (Figura 4. 39 e 40). As pétalas formadas podem ser observadas na Figura 4. 41 e na Figura 4. 42, um glomérulo com 5 botões florais, sendo o mediano com gineceu diferenciado.

No início de julho, os nós no estágio 3 (Figura 4. 43, 45 e 46), apresentavam a anatomia das gemas semelhante ao mês anterior. A mucilagem marrom presente nos botões florais dessa fase foram indicadas por setas na Figura 4.45 e 46.

No final de julho, algumas inflorescências apresentavam botões florais nos estádios 3 e 4, isso é, botões recobertos com mucilagem e botões verdes,

respectivamente (Figura 4.50), enquanto que em outras, mais desenvolvidas, apenas o estágio 4 (Figura 4. 52 a 54). Na Figura 4. 52 e 53, visualizou-se o segundo par de brácteas (seta), opostas às já existentes. As pétalas envolvendo os cinco estames e o estilete na região central, seccionado na região do estigma, foram observados no corte transversal do botão floral desenvolvido (Figura 4. 55). Os estames consistiam-se de um filamento cilíndrico curto com uma antera bilocular na extremidade, com quatro sacos polínicos contendo grãos de pólen (Figura 4. 56).

Em agosto, observaram-se várias fases de desenvolvimento dos botões florais e também aqueles que já haviam perdido a sua corola (Figura 4.57 a 60). Na Figura 4. 61 pode ser visualizado o ovário ínfero, com um estilete com estigma bifido (Figura 4.62), com tricomas papilosos e, rodeado pelos estames. Na Figura 4. 63, no ovário bicarpelar, observou-se um óvulo anátropo em cada lóculo. No mês de setembro, haviam botões do estágio 5 de coloração branca (Figura 4. 64 a 66), e botões mais jovens (estádio 3), ou mais maduros (Figura 4.68).

Os tricomas das flores do cafeeiro, denominados coléteres, secretam uma substância pegajosa, que consiste de uma mistura de terpenos e mucilagem (FAHN, 1982), que foram apresentados, em maior aumento, na Figura 4.47 e 70.

No período de junho a agosto do ano de 2005 e de maio a agosto de 2006, verificou-se que, numa mesma inflorescência, ocorreram diferentes estádios de desenvolvimento floral. Isso porque as gemas florais se diferenciavam, uma a uma, em tempos diferentes, numa mesma inflorescência. Essas diferenças ocorriam também entre inflorescências de uma mesma axila foliar, entre diferentes posições nos nós de um ramo, entre ramos de uma planta e entre plantas. Por isso, na fase de maturação do fruto, são observados diferentes estádios (verde, verde-cana, cereja, passa e seco) na mesma axila foliar, ramos e plantas. Para uniformizar a floração seria necessário que os botões mais maduros permanecessem em dormência até que todos os botões mais jovens atingissem a diferenciação de seus verticilos e, na fase da antese, após as chuvas, todas as flores abrissem ao mesmo tempo, ou seja, um controle da floração entre o terceiro e quinto estágio.

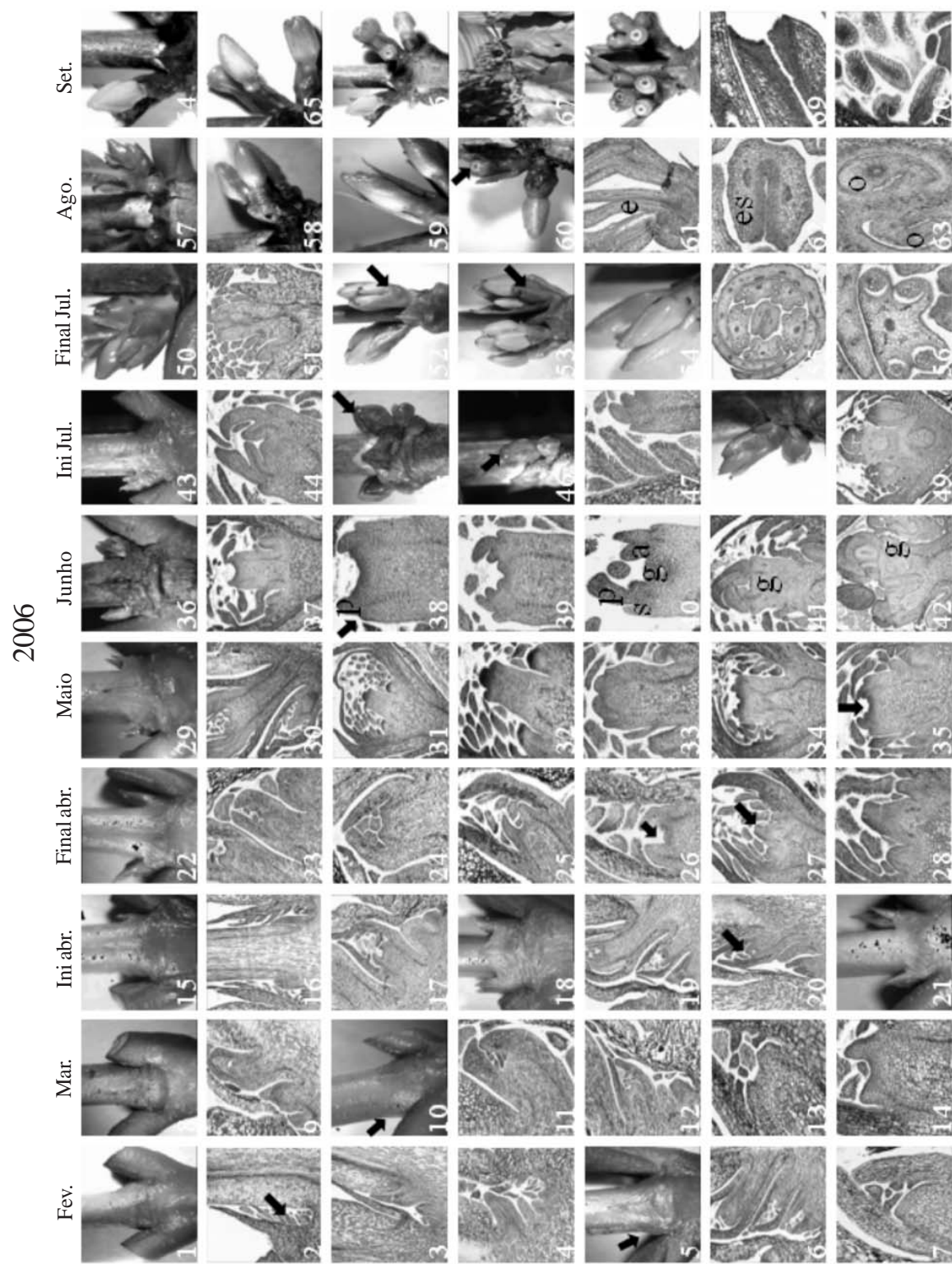


Figura 4 – Morfologia externa e interna da região do nó de ramos plagiotrópicos de *Coffea arabica* L. cv. Catuai Vermelho IAC 81, dos diferentes estádios de desenvolvimento floral, durante o período de fevereiro a setembro de 2006. As setas indicam as estruturas em desenvolvimento. a= androceu; an= antera; e= estilete; es= estigma; g= gineceu; o= ovário; p= pétala; s= sépala.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos objetivando-se sincronizar a floração do cafeeiro, porém, nenhum deles foi conclusivo para o entendimento do mecanismo de controle da floração do cafeeiro. O controle por meio do uso de reguladores vegetais revelou que o ácido giberélico (GA_3) quebrou a dormência dos botões florais e, segundo Alvim (1958), foi mais efetivo quando aplicado sobre plantas sujeitas anteriormente à deficiência hídrica. Por outro lado, Schuch, Fuchigami e Nagao (1990) consideraram que o efeito foi maior quando o GA_3 era aplicado sobre botões florais maiores do que 4 mm (estádio 3).

Gopal, Venkataraman e Rathna (1975) sugeriram que a goma mucilaginoso de coloração marrom das gemas florais do estágio 3, possuíam características químicas de substâncias promotoras e inibidoras de desenvolvimento floral. Sugeriram ainda, que essa goma possuía também um papel no controle da transpiração. Gopal e Venkataraman (1976) observaram que, após a ocorrência de chuvas na primavera e durante o processo de entumescimento dos botões florais, ocorria uma redução no conteúdo das substâncias inibidoras, concomitante com um aumento das substâncias promotoras.

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam que a radiação apresentou um efeito maior nas fases iniciais do desenvolvimento floral, isso é, até o final do mês de abril, com maiores diferenças entre as porcentagens de gemas indiferenciadas, nos quatro tratamentos. Porém, ao longo do processo, apenas as plantas cultivadas a pleno sol, no ano de 2005, apresentaram um atraso nas fases de desenvolvimento em relação às demais condições de radiação. Sugere-se que esse atraso no desenvolvimento tenha sido influenciado pela menor relação fonte-dreno do cafeeiro, como foi observado por Majerowicz e Söndahl (2005).

Diversos autores como Cannel (1985), Fahl, Carelli e Magalhães (1992), Morais et al. (2006) e Vaast et al. (2006), afirmam que os cafeeiros desenvolvidos sob alta radiação apresentam maior produtividade e, que as variações nas produções, gerando o efeito da bienalidade da produção, devem-se principalmente, à competição entre as fases vegetativas e reprodutivas pelos metabólitos

disponíveis dentro da planta. Portanto, no ano de 2005, a base dos ramos apresentava uma alta produção de frutos, resultando numa baixa disponibilidade de carboidratos para o desenvolvimento do ápice, conduzindo a um atraso na indução e intensidade da produção de gemas. Ao contrário, no ano de 2006, com a existência de poucos frutos na base dos ramos, houve um maior desenvolvimento do ápice, ocorrendo como consequência, a antecipação das gemas reprodutivas no cultivo a pleno sol. Além disso, as diferenças entre os quatro níveis de radiação foram menores nesse ano.

O sombrite atuou apenas como controlador da intensidade de radiação incidente sobre as plantas, não interferindo na sua qualidade e fotoperíodo. Franco (1940) e Piringer e Borthwick (1955) demonstraram que o cafeeiro apresentou um comportamento de plantas de dia curto, com fotoperíodo crítico em torno de 13 a 14 horas. Considerando-se essa hipótese, nas condições experimentais, o cafeeiro estava “fotoperiodicamente” induzido, no período de janeiro/fevereiro a outubro.

Nas Figuras 1 e 2 observou-se que, nos períodos de março a maio de 2005 e de fevereiro ao final de abril de 2006, a porcentagem de gemas indiferenciadas manteve-se mais ou menos constante. Esses períodos coincidem com as fases de formação do endosperma e de acúmulo de matéria seca dos frutos. Como os ramos estudados foram naqueles com frutos em desenvolvimento, nesse período havia uma competição entre os assimilados que estavam se deslocando para os frutos e para as gemas florais. No período seguinte, quando houve a diferenciação para gemas reprodutivas, os frutos estavam na fase de maturação, com baixo consumo de assimilados, de modo que as gemas florais dispunham de altas concentrações desses nutrientes para o seu desenvolvimento.

A fase em que os botões param o seu crescimento é chamada de período de dormência. Segundo Gopal, Venkataraman e Rathna (1975), as reações metabólicas ficam suspensas durante esse período. O fator responsável pela quebra da dormência dos botões florais tem sido investigado e diverge entre a água, temperatura, luz, hormônios, dentre outros. Browning, Hoad e Gaskin (1970) atribuem 75% do processo de dormência dos botões florais ao ácido abscísico.

Após um período de dormência, que coincide com a estação seca, os botões reiniciam o seu crescimento, aumentando o seu comprimento, matéria seca e fresca, indicando uma mobilização de água, nutrientes e assimilados (BARROS; MAESTRÍA; COONS, 1978). Nessa fase, os tecidos condutores também aumentam, e com o aumento do lúmen dos elementos de vasos do xilema nos pedicelos, aumenta também o fluxo de seiva nos botões florais (CRISOSTO; GRANTZ; MEINZER, 1992). Esses autores observaram que o pedicelo das gemas florais verdes (estádio 3), apresentavam tecidos vasculares primários (metafloema e metaxilema), e que somente a partir do estágio 4, com botões verdes, começava o crescimento em espessura (crescimento secundário), com adição de novas camadas de xilema e floema a partir do câmbio vascular, formando um cilindro contínuo. Eles atribuíram que a maior resposta das flores à irrigação, deve-se à presença desses tecidos vasculares secundários, os quais possuem células de elementos de vasos com um lúmen maior, e conseqüentemente, mais aptos para o transporte de água, nutrientes e substâncias promotoras de desenvolvimento. Eles também sugeriram que o sucesso parcial obtido por Alvim (1958) e Schuch et al. (1990) com a aplicação de ácido giberélico como reguladores, para promover a quebra da dormência e antese das flores na fase de botões verdes, foram favorecidos pela presença desses tecidos vasculares secundários.

É muito difícil determinar qual é o fator determinante de cada estágio do desenvolvimento floral. Embora diversos trabalhos tenham sido desenvolvidos em diferentes regiões, nenhum deles foi conclusivo. Este trabalho reforça a idéia de que a radiação influencia no desenvolvimento floral e, muito provavelmente, dois ou mais fatores estão envolvidos no processo de floração.

4 CONCLUSÕES

Os níveis intermediários de sombreamento anteciparam o desenvolvimento das gemas no ano de alta produção, ocorrendo o inverso no ano de baixa produção.

Ramos de cafeeiro de ano de alta produção, com um grande número de frutos na base, apresentam um atraso na diferenciação das gemas florais em relação aos ramos com poucos frutos, de anos de baixa produção.

A radiação possui um efeito maior nas fases iniciais do desenvolvimento floral do *C. arabica*.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café), pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, P. T. Estímulo de la floración del café por aspersiones con ácido giberélico. **Turrialba**, San José, v. 8, n. 2, p. 64-72, 1958.

BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 37, p. 111-120, 1997.

BARROS, S. R.; MAESTRÍA, M.; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: a review. **Journal of Coffee Research**, Balehonnur, v. 8, n. 2/3, p. 29-73, 1978.

BROWNING, G.; HOAD, G. V.; GASKIN, P. Identification of abscisic acid in flower buds of *Coffea arabica* L. **Planta**, Berlin, v. 94, p. 213-219, 1970.

CAMAYO-VÉLEZ, G. C.; ARCILA-PULGARIN, J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 47, n. 3, p. 121-139, 1996.

CAMAYO-VÉLEZ, G. C. et al. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 54, n. 1, p. 35-49, 2003.

CANNELL, M. G. R. Contribution of carbohydrates from vegetative laterals of the growth of fruits on the bearing branches of *Coffea arabica*. **Turrialba**, San José, v. 20, p. 15-19, 1970.

_____. Photoperiodic response of mature trees of arabica coffee. **Turrialba**, San José, v. 22, p. 198-206, 1972.

_____. Physiology of the coffee crop. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. p. 108-134.

CANNELL, M. G. R.; KIMEU, B. S. Uptake and distribution of macro-nutrients in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals Applied Biology**, London, v. 68, p. 213-230, 1971.

- CARELLI, M. L. C. et al. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 63-68, 1999.
- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; MAGALHÃES, A. C. Assimilação de nitrato durante o desenvolvimento reprodutivo de plantas de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 59-64, 1989.
- CASTILLO, Z. J.; LOPEZ, A. R. Nota sobre el efecto de la luz en la floración del cafeto. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 17, n. 2, p. 51-60, 1966.
- CRISOSTO, C. H.; GRANTZ, D. A.; MEINZER, F. C. Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). **Tree Physiology**, Victoria, v. 10, p. 127-139, 1992.
- DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. variedade *Typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 315-366, 1957.
- ESAU, K. **Anatomía vegetal**. Barcelona: Omega, 1959. 729 p.
- FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; MAGALHÃES, A. C. Assimilação de carbono e nitrogênio em folhas de café. **Turrialba**, San José, v. 42, p. 523-527, 1992.
- FAHL, J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Chicago, v. 69, p. 161-169, 1994.
- FAHN, A. **Anatomia vegetal**. Madrid: Pirámide, 1982. 599 p.
- FRANCO, C. M. Fotoperiodismo em cafeeiro *Coffea arabica* L. **Revista do Instituto de Café**, São Paulo, v. 27, n. 164, p. 1586-1542, 1940.
- GOPAL, N. H.; VENKATARAMANAM, D. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions: V., growth-substance content during flower bud enlargement and anthesis. **Turrialba**, San José, v. 26, n. 1, p. 74-79, 1976.
- GOPAL, N. H.; VENKATARAMANAM, D.; RATHNA, N. G. N. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions: IV., some physical properties and chromatographic assay of a gum-like substance exuded by flower buds. **Turrialba**, San José, v. 25, n. 4, p. 410-413, 1975.
- GUTIÉRREZ, M. V.; MEINZER, F. C. Carbon isotope discrimination on photosynthetic gas exchange in coffee hedgerows during canopy development. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 21, p. 207-219, 1994.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea Arabica*: I., effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, p. 13-19, 1980.
- MAJEROWICZ, N.; SÖNDAHL, M. R. Induction and differentiation of reproductive buds in *Coffea arabica* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 247-254, 2005.
- MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Sistemas de combinação de café com seringueira, no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17., 1991, Varginha. **Anais...** Rio de Janeiro: MARA/Embrapa, 1991. p. 112-114.
- MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. **Turrialba**, San José, v. 18, n. 3, p. 209-233, 1968.
- MORAIS, H. et al. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.
- _____. Desenvolvimento de gemas florais, florada, fotossíntese e produtividade de cafeeiros em condições de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 465-472, abr. 2008.
- _____. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 763-770, maio 2006.
- _____. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 4, n. 6, p. 863-871, 2004.

- NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee: I., effects of light, temperature and CO₂ concentrations on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 17, p. 93-103, 1968.
- PIRINGER, A. A.; BORTHWICK, H. A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San José, v. 5, p. 72-77, 1955.
- RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. (Boletim técnico do IAC/FUNDAQ, 100).
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 13-85.
- SCHUCH, U. K.; FUCHIGAMI, L. H.; NAGAO, M. A. Gibberellic acid causes earlier flowering and synchronizes fruit ripening of coffee. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 9, p. 59-64, 1990.
- VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea Arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, p. 197-204, 2006.
- VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 4, p. 99-105, 1992.
- WORMER, T. M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering of *Coffea arabica* L. in Kenya. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 6, n. 2, p. 157-170, 1970.
- YAMAGUCHI, T.; FRIEND, D. J. C. Effect of leaf age and irradiance on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 13, p. 271-278, 1979.