

A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura

Regis Pereira Venturin¹

Vânia Aparecida Silva²

Rodrigo Luz da Cunha³

Margarete Marin Lordelo Volpato⁴

Sara Maria Chalfoun⁵

Gladyston Rodrigues Carvalho⁶

Vicente Luiz de Carvalho⁷

Resumo - A cafeicultura brasileira está calcada no acúmulo de conhecimento adquirido por anos de observação e pesquisas e que hoje é usado para ampliar as áreas de produção e melhorar as técnicas de cultivo em atendimento às demandas da sociedade. Com as mudanças climáticas observadas neste último século, teme-se que a necessidade de adaptação ao ambiente seja muito intensa e que haja uma drástica redução nas áreas de produção. Estimativas preveem que a temperatura média do ar no Planeta poderá aumentar entre 2 °C e 5 °C, além de alterações na distribuição da precipitação. Dessa forma, experiências com a cultura do cafeeiro em regiões inaptas de cultivo podem auxiliar no desenvolvimento de modelos que descrevam o comportamento da cultura diante das mudanças climáticas previstas e antecipar os efeitos nas regiões produtoras de café. Atualmente, em Minas Gerais, diversas pesquisas têm sido realizadas visando conhecer os efeitos das alterações climáticas no comportamento dos cafeeiros. Os trabalhos estão concentrados no melhoramento genético do cafeeiro, manejo de pragas e doenças, fisiologia da reprodução, sistemas agroflorestais, manejo da irrigação, conservação dos solos, qualidade da bebida e monitoramento por satélite.

Palavras-chave: Café. Clima. Melhoramento genético.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), as alterações climáticas contribuem para impactos significativos

no meio ambiente, processos biológicos, saúde humana, recursos hídricos, agricultura, biodiversidade, etc., impondo uma série de desafios ao desenvolvimento, com implicações em diversos setores: sociais, econômicos e ambientais, relacionados com a indústria, a agricultura,

o comércio, a segurança e o bem-estar social.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída no ano de 2009 e regulamentada em 2010, oficializou o compromisso voluntário do Brasil, junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mu-

¹Eng^o Agr^o, D. Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: regis@epamig.br

²Eng^a Agr^a, D. Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: vania.silva@epamig.ufla.br

³Eng^o Agr^o, D. Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: rodrigo@epamig.ufla.br

⁴Eng^a Florestal, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: margarete@epamig.ufla.br

⁵Eng^a Agr^a, D. Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: chalfoun@epamig.br

⁶Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: carvalho@epamig.ufla.br

⁷Eng^o Agr^o, M. Sc., Pesq. EPAMIG Sul de Minas/Bolsista BIP FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: vicentelc@epamig.ufla.br

dança do Clima, de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Para o atendimento desse compromisso, foi prevista a elaboração de Planos Setoriais de Adaptação e de Mitigação que devem incluir ações, indicadores e metas específicas de redução de emissões e mecanismos para a verificação do seu cumprimento, assim como estratégias de adaptação para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e antropogênicos diante dos efeitos atuais e esperados da mudança do clima.

Para o setor agrícola - tendo em vista sua extrema vulnerabilidade às mudanças climáticas, bem como o caráter prioritário da produção de alimentos - foi elaborado o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), o qual aponta de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos de redução de emissão de gases de efeito estufa neste setor e define as linhas prioritárias para investimento em pesquisa e desenvolvimento.

O último relatório do IPCC prevê que a produção de alimentos em todo o mundo pode sofrer um grande impacto nas próximas décadas em função das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global. De acordo com os cientistas, o aumento da temperatura ameaça o cultivo de várias espécies agrícolas e, países como o Brasil, começaria a sentir os efeitos já na próxima década (EMBRAPA; UNICAMP, 2008).

O café Arábica foi uma das primeiras espécies avaliadas quanto aos efeitos das mudanças climáticas. Já em 2001, previa-se um deslocamento no zoneamento agroclimatológico do cafeeiro para as regiões mais ao sul das atuais zonas cafeeiras e para altitudes maiores do que as, hoje, observadas. Esses resultados foram reafirmados com as simulações realizadas a partir do quarto relatório do IPCC (IPCC, 2007; EMBRAPA; UNICAMP, 2008). Nesse estudo os pesquisadores estimaram que o aquecimento global deve trazer pre-

juízos de 600 milhões de reais, em 2020, 1,7 bilhão de reais, em 2050, e 2,55 bilhões de reais, em 2070, em um cenário mais otimista. Num cenário mais pessimista, os valores podem chegar a um prejuízo de 882 milhões de reais, 1,6 bilhão de reais e 3 bilhões de reais, respectivamente para os anos de 2020, 2050 e 2070.

Atualmente, com as mudanças climáticas observadas, teme-se que a necessidade de adaptação ao ambiente seja intensa e que, com isso, haja uma drástica redução nas áreas de produção. De acordo com estimativas recentes, a temperatura média do ar no Planeta poderá aumentar entre 2 °C e 5 °C, além de alterações na distribuição da precipitação (IPCC, 2007; MARENGO, 2008).

Tradicionalmente, as regiões consideradas aptas ao cultivo do *Coffea arabica* L. são aquelas que apresentam temperatura média anual entre 19 °C e 22 °C e déficit hídrico inferior a 150 mm anuais. Para o *C. canephora*, esses limites sobem para 22 °C -26 °C de temperatura e déficit hídrico menor que 200 mm anuais.

Para as regiões cafeeiras (*Coffea arabica* L.), Assad et al. (2004) simularam os impactos que um aumento na temperatura média do ar de 1 °C, 3 °C e 5,8 °C e um incremento de 15% na precipitação pluvial teriam no atual zoneamento agroclimático da cafeicultura nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Os resultados indicaram uma redução de área apta para a cultura superior a 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8 °C. Apenas no caso de estimativas de aumento de temperatura de 1 °C, foi verificado um aumento da área apta para a cafeicultura, especialmente no estado do Paraná.

Estudos como estes visam simular mudanças no sistema de produção em função de diferentes cenários de concentração atmosférica de CO₂, temperatura e precipitação anormais em relação às médias históricas. Todavia, deve-se lembrar que essas simulações, apesar de

importantes, não levam em consideração diversos mecanismos adaptativos das plantas em relação ao meio ambiente e nem de técnicas capazes de amenizar os efeitos do clima.

O plantio de café no Brasil veio, ao longo dos anos, migrando de regiões e adaptando-se a diversas condições edafoclimáticas, desde 1727 até a cafeicultura que conhecemos nos dias de hoje. Desde os primórdios dessa exploração agrícola, inicialmente por meio de observações empíricas até as modernas técnicas de pesquisa hoje utilizadas, o que veio sendo construído foi um grande acúmulo de conhecimento usado para ampliar as áreas de produção e melhorar as técnicas de cultivo para atender às demandas da sociedade. Essa gama de conhecimento acumulado deve, neste momento de incerteza, ser extremamente útil na adaptação e consolidação da cultura nas áreas tradicionais ou na adaptação de novas áreas ao cultivo.

Assim, algumas experiências com a cultura do cafeeiro em regiões marginais de cultivo anteciparão o que o aquecimento global pode acarretar nas condições climáticas atuais das regiões produtoras.

O ESTADO DA ARTE

Atualmente, a EPAMIG realiza pesquisas na área de cafeicultura, visando o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para o aumento de produtividade, sob pressões bióticas e abióticas decorrentes das mudanças climáticas atuais e futuras, assegurando o uso sustentável dos recursos naturais.

Suas linhas de pesquisas estão concentradas no melhoramento genético do cafeeiro, manejo de pragas e doenças, fisiologia da reprodução, sistemas agroflorestais, manejo da irrigação, conservação dos solos, qualidade da bebida e monitoramento por satélite. Os trabalhos estão sendo conduzidos em diferentes regiões produtoras, com enfoque para as consideradas marginais e inaptas, como a região Norte e o Vale do Jequitinhonha do estado de Minas Gerais

ou no extremo oposto a região da Serra da Mantiqueira.

MELHORAMENTO GENÉTICO

O melhoramento genético do cafeeiro é uma das áreas de pesquisa que poderá contribuir para atenuar os efeitos das mudanças climáticas na cafeicultura, por meio do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às novas características de clima com alta produtividade, resistência múltipla e com qualidade de bebida compatível com a realidade brasileira.

O Programa de Melhoramento Genético para essa finalidade tem-se concentrado nas regiões consideradas marginais ou inaptas para o cultivo em sequeiro de café.

Atualmente, diversas pesquisas têm sido realizadas em condições de laboratório, casa de vegetação e em campo, utilizando as estruturas das Unidades Regionais, Fazendas Experimentais da EPAMIG, propriedades particulares e universidades. Os trabalhos de campo estão concentrados nas regiões Noroeste, Norte, Vale do Jequitinhonha e Vale do Rio Doce do estado de Minas Gerais e, no extremo oposto, a região da Serra da Mantiqueira.

As primeiras pesquisas com melhoramento para este fim foram iniciadas na década de 1990, utilizando genótipos oriundos do Programa de Melhoramento da EPAMIG, tendo como referência diversos estudos realizados nas regiões Sul, Triângulo e Alto Paranaíba. Os genótipos superiores foram levados para as regiões consideradas marginais para acompanhamento e seleção. Atualmente, encontram-se instalados ensaios em Unaí, Mociminho, Pirapora, Turmalina, Itamarandiba, Capelinha, Aricanduva e Água Boa, Minas Gerais.

Recentes pesquisas realizadas pela EPAMIG têm demonstrado que o café Arábica, sob cultivo irrigado, apresenta capacidade de aclimação às altas temperaturas e baixa umidade relativa da região Semiárida de Minas Gerais. Dados médios de diversos experimentos com a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 indicaram uma

produtividade média de 36,00 sc/ha, já na primeira colheita, realizada aos 28 meses após o plantio do café sob irrigação por aspersão. O rendimento de café em coco para café beneficiado foi de, aproximadamente, 50%, o que é considerado um bom rendimento. De acordo com a classificação do café por peneira, 44,37% dos frutos foram classificados como chato graúdo, e 36,89% como chato médio, o que está de acordo com a característica da cultivar Catuaí IAC 144. O percentual médio de grãos do tipo moca foi de 10,81%. Isto indica que os cafés produzidos nesses sistemas apresentaram uma porcentagem de peneira alta e uma boa granação. Outro indicativo disso é que na análise da porcentagem de frutos chochos, observou-se baixa ocorrência de “lojas vazias”, com uma média de 10%. Assim, os cafeeiros cultivados no Semiárido mineiro apresentaram, aproximadamente, percentual de 90% de frutos bem granados, o que é considerado satisfatório (SILVA et al., 2012).

Apesar de verificada a viabilidade inicial do cafeeiro, o clima no Semiárido de Minas, com altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, favorece a ocorrência de escaldadura e as infestações do bicho-mineiro. No fim da estação seca, verificou-se que a incidência média de escaldadura foi de 25%. Isso ocorre porque há maiores horas de insolação nesse período e, portanto, a irradiância verificada na região pode ser superior àquela necessária para saturar a fotossíntese, acarretando a fotoinibição e o estresse oxidativo. A praga bicho-mineiro possui um ciclo muito reduzido, o que resulta em altas infestações num curto período. Outro fator que favorece a entrada e o início da infestação do bicho-mineiro nas lavouras é o vento, que causa a dispersão dos insetos adultos de uma lavoura (SILVA et al., 2012). Além disso, a maior evaporação da água nas folhas propicia condições favoráveis ao desenvolvimento das lagartas do inseto. Diante disso, para que o *Coffea arabica* tenha um retorno econômico positivo na

região, é imprescindível o controle do bicho-mineiro, pois pode apresentar desfolhas significativas.

IRRIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO DE MATERIAL GENÉTICO

A irrigação é sem dúvida a técnica com maior impacto na mitigação de alterações climáticas. Assim, a adoção de novas tecnologias, como a irrigação, tem ampliado as fronteiras da cafeicultura. No Norte de Minas, por exemplo, onde parte da região é considerada como climaticamente inapta ao cultivo do cafeeiro Arábica, é crescente o número de produtores rurais que investem no agronegócio café. Entretanto, faltam informações técnico-científicas que os subsidiem na tomada de decisões (OLIVEIRA et al., 2011). A adaptação tecnológica do cafeeiro a estas regiões pode servir de antecipação às mudanças climáticas nas regiões cafeeiras tradicionais.

De acordo com Oliveira et al. (2011), embora o método do gotejamento pareça satisfatório, há indícios de que a aspersão gere um microclima que contribua com o desenvolvimento das plantas, especialmente a florada. Buscando respostas para a região Norte de Minas Gerais, município de Jaíba, nas coordenadas geográficas de 15° 20' 18" de latitude Sul, 43° 40' 28" e altitude média de 450 m foi instalado um experimento que avaliou diversas cultivares em dois sistemas de irrigação.

Os resultados mostraram que os sistemas de irrigação não diferiram para o crescimento das plantas, todavia a produção foi em grande parte prejudicada no método de irrigação por gotejamento, conforme pode ser visto no Quadro 1.

A diferença entre as produções obtidas nos dois sistemas fica ainda maior, quando são observadas diferenças de produção, conforme a variedade. Foi encontrada uma variação nas cultivares, com produtividades de 28 sc/ha na irrigação por aspersão, contra 11 sc/ha no gotejamento. Observou-se certa variabilidade genética entre as variedades,

QUADRO 1 - Crescimento e produção do cafeeiro sob dois sistemas de irrigação na região do Jaíba-MG

Método de irrigação	Diâmetro de caule (cm)	Altura de planta (cm)	Ramos plagiotrópicos	Produção média (sc/ha)
Aspersão	2,89 A	106,62 A	46,42 A	15,77 A
Gotejamento	3,34 B	124,84 B	44,83 A	7,66 B

NOTA: Letras seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 1% de significância.

mesmo tendo sido selecionadas em regiões aptas à produção do cafeeiro. Assim, espera-se que tal variabilidade seja maior em populações de plantas não selecionadas, o que pode ser útil diante da necessidade de plantas tolerantes a déficits hídricos ocasionais, como os que já vêm acontecendo nas regiões cafeeiras e tendem a aumentar, segundo as previsões de alterações no clima.

FLORESCIMENTO E MATURAÇÃO DE FRUTOS

No cafeeiro irrigado em região quente, tem-se verificado a falta de sincronização do florescimento, ou seja, plantas ou ramos no início do florescimento e outros com botões florais já bem desenvolvidos. Consequentemente, a maturação dos frutos tem sido muito desuniforme. Encontram-se, no mesmo ramo, grãos secos, verdes, maduros e chumbinhos. Isso tem dificultado a colheita, encarecido o processo, causando pior rendimento de grãos e diminuído a qualidade da bebida. Além disso, tem ocorrido também a diferenciação de gemas reprodutivas em estruturas vegetativas, ou seja, há a formação de folhas ou ramos ao invés de frutos, o que concorre com a produção. Além da falta de sincronização no florescimento, tem ocorrido também abortamento das flores. Esses fatos podem estar associados aos efeitos dos fatores do ambiente, tais como, suprimento de água, temperatura do ar e irradiância, bem como dos resultantes da falta de

uma tecnologia adequada para manejo da irrigação na fase do florescimento do cafeeiro. Diante de tais considerações, a EPAMIG tem projetos para avaliação do efeito do déficit hídrico controlado sobre o florescimento do cafeeiro em região com alta temperatura.

O abortamento de flores também pode ser observado em regiões tradicionais de cultivo, quando ocorrem episódios de altas temperaturas e déficit hídrico durante o abotoamento e a abertura das flores, o que é agravado, se o cafeeiro não estiver bem enfolhado. A formação de flores estrelinhas ou flores anormais também pode ocorrer nessa fase e aumentar as taxas de abortamento das flores. Esses aspectos também têm sido considerados nas pesquisas desenvolvidas pela EPAMIG na busca de genótipos tolerantes a secas e a altas temperaturas.

CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS

O cultivo do café Conilon tem sido considerado uma alternativa para regiões com altas temperaturas, baixa altitude e disponibilidade hídrica restrita. Portanto, a EPAMIG vem realizando pesquisas em parceria com diversas instituições do País, como o Incaper, visando à exploração do potencial do café Conilon na cafeicultura mineira. No Semiárido, existe uma área experimental composta por 23 clones sob sistemas de irrigação por gotejamento e por aspersão. Têm sido realizadas avaliações de capacidade de

sobrevivência, desenvolvimento vegetativo e produtivo para seleção de clones que poderão constituir uma população base de *C. canephora* var. kouillou (Conilon) do programa de seleção recorrente que potencialmente poderá originar variedades clonais específicas para o Semiárido de Minas Gerais. Dados iniciais demonstraram que há variabilidade genética e fenotípica entre os genótipos estudados e que o sistema de irrigação influencia no pegamento das mudas clonais, sendo o sistema por aspersão o que favorece maior pegamento. A primeira produtividade entre os clones, sob sistema irrigado por aspersão variou de 10 a 87 sc/ha. Nos clones de Conilon, apesar da alta infestação de bicho-mineiro, há a manutenção das folhas, o que pode ter reflexo positivo no pegamento da florada, pois a manutenção do enfolhamento evita a incidência direta do sol nas rosetas e, consequentemente, a queima de botões florais e chumbinhos⁸.

Os clones de Conilon estão sendo testados também no Vale do Rio Doce, região que apresenta temperaturas médias anuais de 22 °C a 26 °C, altitudes abaixo de 450 m, um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas, no tempo e no espaço. O cultivo de café na região passa por períodos de seca que podem ser intensos e prolongados. De maneira geral, há variabilidade de comportamento dos clones para produtividade de grãos. A média da primeira produtividade varia de 5,57 a 29,06 sc/ha, porém, no segundo ano foi de 24 a 142 sc/ha, representando uma média geral de 51,53 sc/ha no primeiro biênio.

Em diversos outros locais de Minas Gerais, o programa de melhoramento de *C. canephora* da EPAMIG, realiza também atividades de introdução de germoplasma; seleção de plantas individuais com testes clonais e hibridação intra e interpopulacional, todas conforme esquema de seleção recorrente recíproca, que preconiza a exis-

⁸Pesquisa em andamento de Vânia Aparecida Silva, pesquisadora da EPAMIG Zona da Mata, Viçosa, MG, set. 2013.

tência dos subgrupos heteróticos ‘Conilon’ e ‘Robusta’⁹.

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA TOLERANTES À SECA

O Programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro da EPAMIG vem desenvolvendo pesquisas em diversas regiões do Estado, caracterizadas por regime de chuvas, definido pela escassez, irregularidade, concentração das precipitações pluviométricas, período de temperaturas mais elevadas e altas taxas de evapotranspiração. A avaliação de genótipos de café Arábica nessas regiões vem propiciando a identificação de materiais com potencial tolerância à seca, pois alguns genótipos de café vêm-se destacando perante os demais, quanto à produtividade e ao vigor em condições de seca.

Atualmente, paralelo ao melhoramento convencional, tem sido realizada a fenotipagem para tolerância à seca de genótipos selecionados. A fenotipagem é reconhecida mundialmente como um desafio científico e prático, portanto, está sendo abordada por equipes multidisciplinares, envolvendo competências nas áreas de modelagem, climatologia, fitotecnia, fisiologia vegetal, bioquímica, estatística, genética, biotecnologia e melhoramento. Esta rede de pesquisa que integra o Consórcio de Pesquisa Café troca informações e experiências, além de colaborar na avaliação de materiais de interesse comum, visando o desenvolvimento de cultivares.

É importante ressaltar que os genótipos desenvolvidos pela EPAMIG também possuem resistência à ferrugem, o que acarreta uma diminuição do custo de produção e dos riscos ao meio ambiente e aos trabalhadores rurais, por deixar de aplicar fungicidas para o controle da doença. Atualmente, dez genótipos previamente

selecionados em campo, encontram-se em fase de fenotipagem fisiológica e posterior genotipagem para análise de diversidade genética. A perspectiva de disponibilizar cultivares mais tolerantes à seca tem o potencial de diminuir perdas ocasionadas por frequentes veranicos nas regiões cafeeiras. Além disso, como a água para a irrigação pode-se tornar extremamente escassa no futuro próximo, qualquer iniciativa em manter a produtividade sem a utilização dos recursos hídricos é importante do ponto de vista econômico e ambiental.

BANCO DE GERMOPLASMA

O Banco de Germoplasma da EPAMIG, localizado na Fazenda Experimental de Patrocínio (FEPC), no município de Patrocínio, é composto por 1.327 acessos, sendo que estes, principalmente de *C. arabica*, contam com muitas cultivares e mutantes, além de valioso material coletado na Etiópia, representando formas silvestres espontâneas e subespontâneas de *C. arabica*. Além disso, no Banco de Germoplasma de Minas Gerais, outras espécies dos gêneros *Coffea*, tais como *C. canephora*, *C. racemosa* e *C. dewevrei* e híbridos interespecíficos, encontram-se representadas por uma ou mais variedades ou introduções. Os acessos foram coletados em diversas regiões do mundo, incluindo Etiópia (centro de diversidade dessa espécie), e é considerado como um dos maiores e mais importantes bancos de germoplasma do Brasil.

Os acessos de café conservados nesse germoplasma são uma das maiores fontes de recursos genéticos a ser conhecidos e explorados pelos Programas de Melhoramento de Café, tanto em Minas Gerais como em outros estados do Brasil, visto que a EPAMIG colabora e promove intercâmbio de materiais vegetais com diversos parceiros no País, dos quais vale destacar a Embrapa, a UFV, a Ufla, o IAC e o Iapar.

Um dos passos mais importantes no estudo da diversidade genética das su-

bamostras é o conhecimento detalhado de cada indivíduo no que se refere à sua constituição genotípica e fenotípica, utilizando marcadores moleculares, descritores morfológicos, fisiológico e qualidades agronômicas.

ARBORIZAÇÃO EM CAFEZAIS

Apesar da pouca tradição do cultivo de café em sistemas arborizados no Brasil, algumas pesquisas mostram a possibilidade de esta prática alcançar êxito em determinados locais do País, principalmente naqueles onde as condições ambientais não são ideais ao cafeeiro.

Em climas quentes, tropicais ou equatoriais, a arborização promoveu a redução da temperatura ambiente, e a florada dos cafeeiros ficou menos sujeita ao abortamento, à ocorrência de “estrelinhas” e desapareceram os problemas da seca de ponteiros (DAMATTA et al., 2007). Por outro lado, regiões com temperatura média anual abaixo 17 °C a 18 °C limitam a cafeicultura econômica. Além disso, a ocorrência de geadas, mesmo que esporádicas, pode limitar fortemente o sucesso da cafeicultura manejada a pleno sol. Em trabalhos conduzidos por Valentini et al. (2010), com seringueira e coqueiro-anão como sombreamento, observou-se uma diminuição de temperatura média nos dias mais quentes do verão e do outono, em até 3 °C e 2 °C, respectivamente, e a temperatura mínima do ar elevou-se em até 2 °C.

A arborização em cafeeiros, além de alterar o microclima, o que é estratégico para mudanças climáticas, e apresentar efeitos benéficos sobre o solo, também influencia nos processos fisiológicos do cafeeiro. Apesar da possibilidade de uma diminuição na produção de café, esta pode ser compensada pelo incremento na qualidade de bebida do café arborizado. A melhoria na qualidade do café deve-se ao atraso e sincronismo no amadurecimento dos frutos, possibilitando o acúmulo ade-

⁹Informações fornecidas por Antonio Alves Pereira, pesquisador da EPAMIG Zona da Mata, Viçosa, MG, set. 2013.

quado de açúcares, o qual torna os frutos maiores e mais moles (DAMATA et al., 2007) e com melhor qualidade da bebida, agregando valor ao produto.

A escolha das espécies arbóreas a ser utilizadas no sistema agroflorestal é de suma importância e tem grande peso na determinação do sucesso ou falha do sistema. Os resultados de um experimento conduzido pela EPAMIG na Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso (FESP), em São Sebastião do Paraíso, MG, com cafeeiros sombreados com diversas espécies de leguminosas arbóreas, demonstraram que o ambiente com cafeeiros arborizados apresentou elevação das temperaturas mínimas, o que representa uma proteção na ocorrência de geadas e menor variação térmica do ar (BALIZA et al., 2013). Em noites de geada, as temperaturas das folhas dos cafeeiros arborizados permanecem entre 1 °C e 4 °C mais elevadas que cafeeiros a pleno sol (CARAMORI; LEAL; MORAIS, 1999).

Nessa mesma área de estudo, Reis, Zacarias e Alvarenga (2007), ao monitorarem pragas do cafeeiro, encontraram uma interação entre a espécie de sombra e o ataque de bicho-mineiro no cafeeiro. O monitoramento realizado durante quatro anos mostrou que, sob influência de *Leucaena leucocephala*, o ataque do bicho-mineiro raramente atingia o nível de dano econômico, quando comparado às outras espécies de sombra. No ano em que foi realizada uma poda drástica nas espécies de sombra, o nível de dano da praga foi atingido mais cedo e sem a tendência observada nos anos anteriores. Essa experiência nos induz a especular quais associações positivas podem ainda ser exploradas nos cultivos conjuntos de café e espécies de sombra.

DOENÇAS DO CAFEIRO

A ocorrência e a severidade das doenças dependem do trinômio hospedeiro, ambiente e patógeno e sua interação, o que pode ser afetado, até certo ponto, por intervenções causadas pelo homem, as quais podem ser positivas ou negativas. Dessa forma, mudanças climáticas têm

modificado o comportamento das doenças que incidem sobre os cafeeiros, alterando, consequentemente, a ordem de importância destas, exigindo uma concentração de esforços no sentido da mitigação dos fatores desse desequilíbrio.

Doenças que incidem sobre o cafeeiro, tais como ferrugem, cercosporiose, mancha-de-phoma, mancha-aureolada e espécies de *Colletotrichum*, têm sido objeto de pesquisas, para seu conhecimento e controle. As informações acumuladas sobre essas doenças contribuíram para um melhor diagnóstico no campo, com a identificação dos agentes etiológicos envolvidos na queda dos níveis de qualidade e de produtividade, por exemplo, as causas de queda e mumificação de frutos e seca de ramos.

Complementando o uso das ferramentas que permitem a aplicação de modelos matemáticos na simulação de cenários futuros diante de alterações climáticas, o estabelecimento de ensaios regionais permite que a EPAMIG, por meio de sua rede de Fazendas Experimentais, localizadas nas principais regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais, estabeleça as novas curvas padrões de desenvolvimento das doenças, relacionando-as com os eventos climáticos e alterações no hospedeiro, reproduzindo resultados de forma mais precisa, tendo em vista a multiplicidade de fatores envolvidos nos patossistemas.

A ferrugem, doença causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, considerada até o momento o maior desafio representado pelo dano potencial da doença para a cafeicultura brasileira a partir de sua constatação, no estado da Bahia em 1970, exigiu mobilização das instituições de pesquisa, pois representava grave ameaça para a cultura. A EPAMIG, a partir de um amplo programa de pesquisas, obteve resultados por meio de uma rede de ensaios, instalada a partir de 1972 em suas Fazendas Experimentais, a qual possibilitou a determinação de curvas de progresso da doença em diferentes regiões do Estado, algumas delas com observações por períodos superiores a 20

anos (CARVALHO; CHALFOUN, 1998). Seleção de produtos, dosagens e épocas de controle possibilitam o manejo da doença dentro dos princípios de sustentabilidade. Tais resultados apresentaram impactos sociais, ambientais e econômicos altamente positivos.

Recentemente, Chalfoun, Pereira e Xavier (2008), ao estudarem uma série histórica de dados sobre a ferrugem, em São Sebastião do Paraíso, MG, verificaram dois padrões de desenvolvimento dessa doença em função de variações climáticas. Com base nas curvas de progresso da ferrugem, observaram que o atraso do início da estação chuvosa e a ocorrência de temperaturas elevadas no início do verão foram os principais fatores responsáveis pelo atraso na fase de atividade intensa do patógeno, fazendo com que o ponto de inflexão da curva de progresso da doença se deslocasse para alguns meses mais tarde (janeiro ou fevereiro), em relação à curva padrão de evolução da doença, onde esse ponto de inflexão ocorre nos meses de novembro ou dezembro. Tal mudança na ocorrência da doença passou a ser denominada “ocorrência tardia da ferrugem”, o que determinou alterações nas estratégias de controle. Esses autores concluíram que o estabelecimento da época para o início da aplicação de medidas de controle químico da doença, com base em calendários, deve ser utilizado com cautela e preferencialmente realizado com base no monitoramento da ocorrência da doença, tendo em vista as variações climáticas ocorridas nos últimos anos.

MONITORAMENTO DA DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS CAFEIRAS

Os impactos das mudanças climáticas em sistemas cafeeiros não estão relacionados apenas com a produtividade, mas com aspectos socioeconômicos de comunidades rurais que dependem de condições edafoclimáticas naturais para seu sustento direto e indireto. Pode-se dizer que as mudanças

climáticas representam a principal ameaça à integridade desse sistema em Minas Gerais, compondo um problema socioeconômico-ambiental de grandes dimensões sendo, em curto espaço de tempo, um dos grandes desafios a ser superados. Diante dessa perspectiva, os pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento da EPAMIG Sul de Minas, Lavras, MG, em parceria com pesquisadores da Embrapa Café e outros colaboradores desenvolvem pesquisas relacionadas com o monitoramento e avaliação das mudanças do uso da terra, buscando compreender a dinâmica espaço temporal do sistema de produção de café em Minas Gerais e relacioná-la a eventos e alterações climáticas.

Para exemplificar essas pesquisas selecionou-se uma área monitorada pela EPAMIG, na região de Machado, Sul de Minas. O estudo da dinâmica espaço temporal do sistema de produção de café dessa área tem sido realizado desde o ano 2000. A área caracteriza bem a cafeicultura sul-mineira e contempla desde relevos mais planos a relevos mais acidentados. A região produz cafés de alta qualidade e cafés orgânicos e possui médios e pequenos produtores de base familiar. Foram selecionados os anos 2000 e 2007 para estudar a dinâmica do uso e ocupação das terras e avaliar sua relação com a variação do clima. Para realizar essa avaliação foram utilizadas imagens de satélite, sistema de informação geográfica e metodologia descrita em Vieira et al. (2007).

Essa análise revelou que a cafeicultura de Machado vem sendo renovada. A Figura 1 apresenta os mapas de uso da terra nos anos 2000 e 2007. A quantificação das diferentes classes de uso da terra mapeadas nos anos avaliados está exposta no Quadro 2. De 2000 a 2007, as áreas de café em produção tiveram aumento de, aproximadamente, 8%. De fato, dos anos estudados, o de 2000 possui a maior quantidade de café em formação, indicando uma renovação do parque da região. Muitos produtores têm renovado seus cafezais e realizado diferentes esquemas de poda, a fim de alcançar maior

produtividade ou racionalizar os custos de colheita. A distribuição das áreas cafeeiras em relação ao meio físico, especialmente à altitude, também variou no espaço. Nota-se que 4% das áreas plantadas abaixo de 850 m migraram para maiores altitudes, como apresentado no Quadro 3. Essas variações estão relacionadas com a escolha de áreas com clima mais adequado à produção de bebida de melhor qualidade.

O conhecimento do uso da terra é indispensável para a análise dos processos agrícolas e ambientais e para o desenvolvimento sustentado, que deve ter como base planejamentos criteriosos subsidiados por estudos do meio físico e de sua dinâmica evolutiva. O mapeamento, a quantificação de áreas agrícolas e a determinação das variáveis do meio físico são imprescindíveis para qualquer ação de planejamento, tendo como foco as mudanças climáticas e suas consequências socioeconômicas para a cafeicultura de Minas Gerais. Nesses estudos, as geotecnologias serão cada vez mais utilizadas.

MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO DE ÁREAS CAFEIIRAS COM O USO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Variações do clima caracterizadas por episódios de seca ou distribuição irregular de chuvas têm sido observadas com frequência em áreas cafeeiras de Minas Gerais. Tais condições associadas com extremos de temperatura causam estresse hídrico que altera as propriedades ópticas das folhas dos cafeeiros e os padrões de refletância do dossel, detectáveis por técnicas de sensoriamento remoto. Considerando esses aspectos, os dados espectrais relacionados com a refletância de áreas cafeeiras são convertidos em índices de vegetação, os quais podem ser empregados como indicadores de deficiência hídrica das plantas. Com base nesse conhecimento, estudos têm sido realizados desde o ano 2007 por pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento da EPAMIG Sul de Minas, em Lavras, MG.

Com o objetivo de avaliar a relação entre o índice de vegetação espectral – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e variáveis meteorológicas, foram monitoradas áreas cafeeiras no município de Três Pontas, MG, no período de janeiro 2008 a dezembro de 2010. Foram realizadas análises de balanço hídrico climatológico (BH), sendo considerado o valor da Capacidade de Água Disponível (CAD) 100 mm. Para a análise do índice de vegetação espectral foram usadas imagens NDVI do sensor MODIS do satélite TERRA. Para o período de tempo estudado foram analisadas 72 imagens. Na etapa seguinte, analisaram-se as relações entre as variáveis meteorológicas coletadas e estimadas, os valores de NDVI e as fases fenológicas de cafeeiros descritas por Camargo e Camargo (2001) e Meireles et al. (2009), que se resumem em: Fase I – vegetação e formação de gemas florais; Fase II – indução e maturação das gemas florais; Fase – III – floração e expansão dos frutos; Fase IV – granação dos frutos; Fase V – maturação dos frutos; Fase VI – repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

No Gráfico 1 é apresentado a relação entre precipitação, o NDVI e as fases fenológicas dos cafeeiros, nos anos 2008, 2009 e 2010, em Três Pontas, MG. Nota-se que o NDVI apresentou valor máximo de 83% (abril de 2008 – final do período chuvoso) e mínimo de 50% (setembro de 2010 – final do período seco). No ano 2008, observou-se o maior valor de déficit hídrico em setembro, 25 mm, e valor do NDVI mínimo de 51%. Os cafeeiros monitorados encontravam-se nas fases maturação das gemas florais (II) e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (VI) e o déficit hídrico não prejudicou a produção. No ano de 2009, não houve déficit hídrico, e o NDVI mínimo, de 67%, ocorreu em setembro. No ano 2010, o déficit hídrico foi acentuado. Observou-se o maior valor em setembro, 36 mm, relacionado com o valor do NDVI mínimo de 50%. Os cafeeiros monitorados encontravam-se nas fases de maturação das

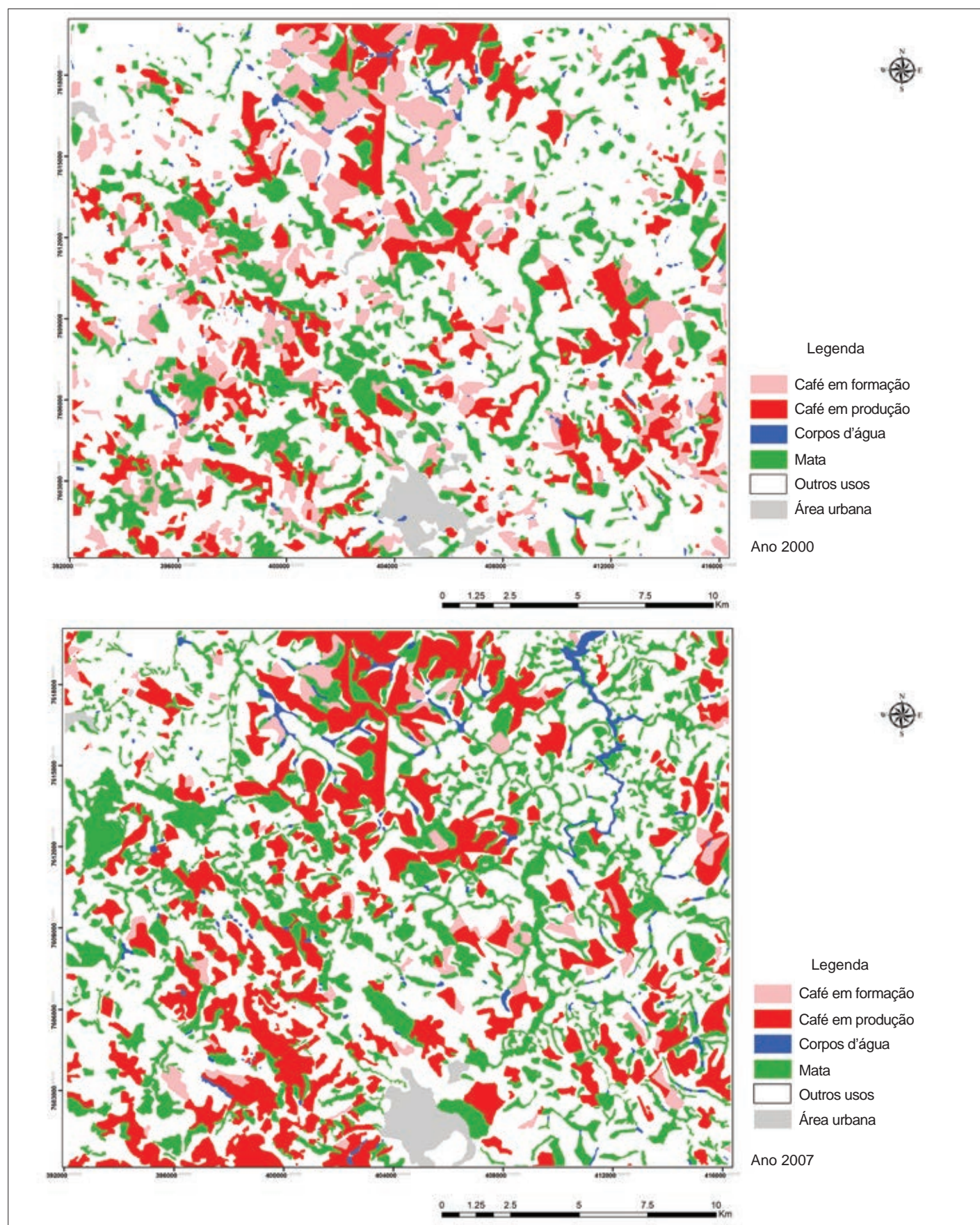


Figura 1 - Mapa de uso da terra/ocupação da terra na área de estudo selecionada na região de Machado, MG, nos anos 2000 e 2007

FONTE: EPAMIG Sul de Minas - Laboratório de Geoprocessamento.

QUADRO 2 - Quantificação do uso/ocupação da terra em porcentagem do total da área de estudo selecionada na região de Machado, Sul de Minas Gerais

Classe de uso/ocupação da terra	Total da área de estudo (%)	
	Ano 2000	Ano 2007
Café em produção	14	22
Café em formação/renovação	12	3
Mata	15	21
Corpos d'água	1	1
Outros usos	57	52
Área urbana	1	1

QUADRO 3 - Quantificação de áreas de café por classe de altitude em área de estudo selecionada na região de Machado, Sul de Minas Gerais

Classe de altitude (m)	Área de café (%)	
	Ano 2000	Ano 2007
<850	15	11
850-900	49	51
900-950	15	16
950-1000	9	9
1000-1050	6	7
1050-110	4	4
>1100	2	2

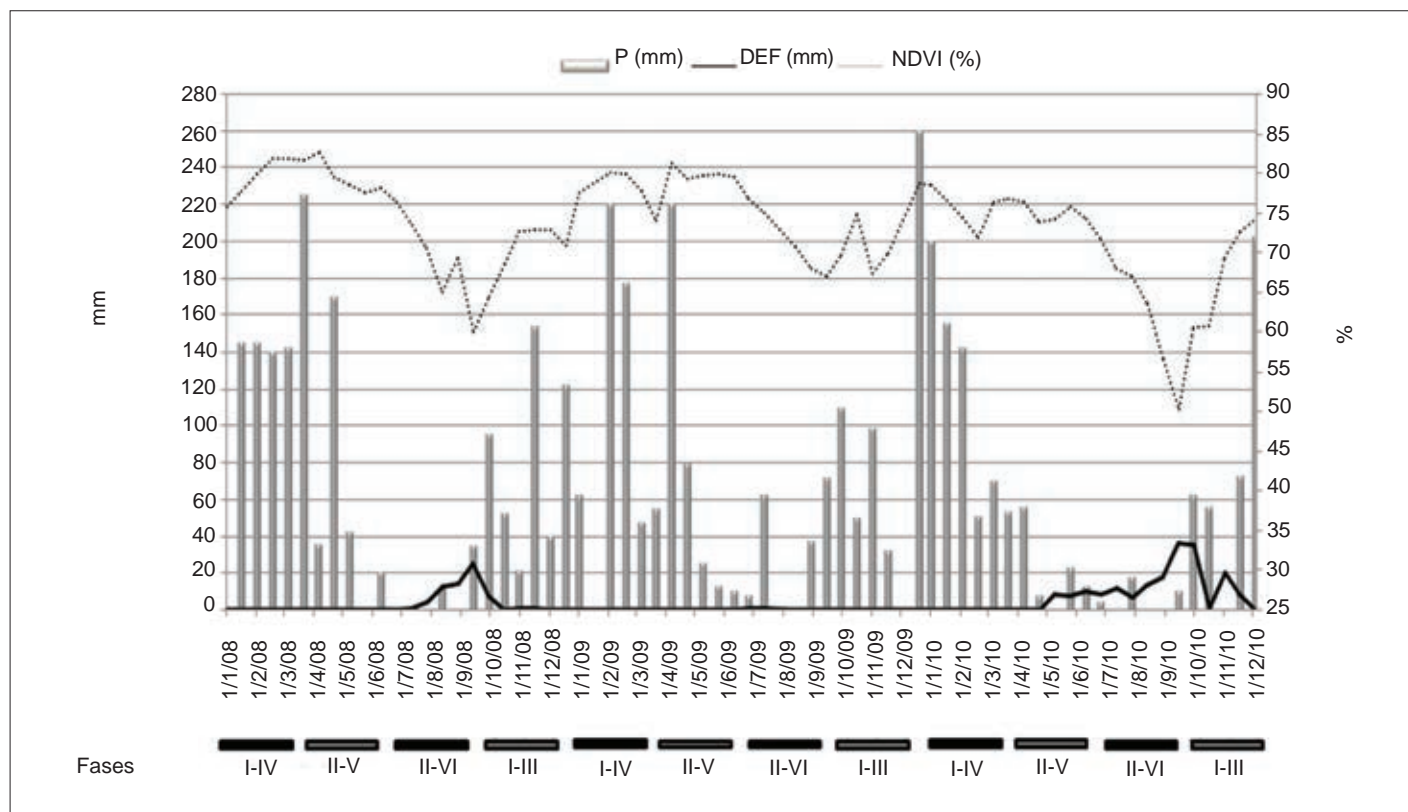


Gráfico 1 - Variação da precipitação (P), do déficit hídrico (DEF), do NDVI e das fases fenológicas dos cafeeiros, nos anos 2008, 2009 e 2010 - Três Pontas, MG

gemas florais (II), repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (VI), e o déficit hídrico estendeu-se até o início das fases I e III, sem prejuízo à florada.

Após análise da dinâmica temporal das variáveis climáticas e espectrais foram realizadas correlações entre os valores de NDVI das áreas cafeeiras e as variáveis meteorológicas. Os resultados mostraram boa correlação entre o NDVI e o déficit hídrico ($r = -0,7224$). Posteriormente, modelos estatísticos desenvolvidos demonstraram que valores de NDVI menores que 70% podem representar áreas cafeeiras com deficiência hídrica.

As mudanças climáticas previstas pelo IPCC estão sendo intensamente discutidas e relacionadas com os eventos climáticos externos. Por este motivo, é de fundamental importância o desenvolvimento de tecnologias que visem o monitoramento dos cafeeiros e a sua relação com a dinâmica de desenvolvimento associada às variações climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EPAMIG por meio de seus Programas de Pesquisa espera contribuir na prevenção dos impactos das mudanças climáticas atuais e futuras na cafeicultura de Minas Gerais; na qualidade dos sistemas cafeeiros produtivos; bem como aumentar a capacidade de monitoramento das áreas cafeeiras; ofertar tecnologias e produtos que permitam ao produtor rural manter sua competitividade, renda, para que se adapte aos novos padrões climáticos, com redução do impacto ambiental negativo; coletar dados agrônômicos e micrometeorológicos que serão usados para melhor entendimento dos impactos das mudanças climáticas na cafeicultura de Minas Gerais.

A convivência com o aumento da temperatura mundial exigirá esforços de todas as áreas de conhecimento da cafeicultura, todavia, aquele já adquirido deverá ser preponderante na atenuação dos efeitos das alterações climáticas sobre as áreas cafeeiras, fornecendo subsídios para que a cafeicultura brasileira continue sustentável e produtiva. Ainda assim, novas pesquisas

devem ser estimuladas e desenvolvidas para encontrar soluções aos desafios vindouros.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), ao Consórcio Pesquisa Café, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco do Nordeste e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café) pelo auxílio financeiro na condução dos trabalhos citados neste artigo.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, D.A. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- BALIZA, L.F. et al. Parâmetros meteorológicos em cafeeiros arborizados com aleias de leguminosas e a pleno sol, em São Sebastião do Paraíso, MG. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 10., 2013, Belo Horizonte. **Resumos expandidos...** Belo Horizonte: EPAMIG, 2013. 1 CD-ROM.
- CAMARGO, A.P. de; 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.
- CARAMORI, P.H.; LEAL, A.C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.195-200, 1999.
- CARVALHO, V.D. de; CHALFOUN, S.M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. Cafeicultura: tecnologia para produção, Belo Horizonte, v.19, n.193, p.27-35, 1998.
- CHALFOUN, S.M.; PEREIRA, M.C.; XAVIER, E.P. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem do cafeeiro, *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. nas últimas décadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AÇUCAR, 34., 2008, Caxambu. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2009. v.1, p.259-260.
- DAMATTA, F.M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.19, n.4, p.485-510, out./dez. 2007.

EMBRAPA; UNICAMP. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. [Brasília], 2008. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/titulos-avulsos/aquecimento-global.pdf>>. Acesso em: set. 2013.

IPCC. Summary for policymakers. In: IPCC. **Climate change 2007: the physical sciences basis**. Paris, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em: ago. 2013.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, 2008.

MEIRELES, E.J.L. et al. Café. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.351-372.

OLIVEIRA, P.M. de et al. Desenvolvimento de cafeeiros no Norte de Minas Gerais sob dois sistemas de irrigação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2011. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/4091/309.pdf?sequence=2>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

REIS P.R.; ZACARIAS, M.S.; ALVARENGA, M.I.N. Influência de aleias de leguminosas arbóreas na infestação de bicho-mineiro em cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.

SILVA, V.A. et al. Sistemas intercalares com abacaxizeiro como alternativa de renda durante a formação de cafezais irrigados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, v.10, p.1471-1479, out.2012.

VALENTINI, L.S. de P. et al. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.1005-1010, dez. 2010.

VIEIRA, T.G.C. et al. Geotechnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the state of Minas Gerais in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v.2, n.2, p.142-149, jul./dez. 2007