



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GISELLY APARECIDA ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES
CAFEEIRAS NO NORTE DO PARANÁ**

Londrina
2010

GISELLY APARECIDA ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES
CAFEEIRAS NO NORTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina

Co- Orientador: Dr. Paulo Henrique Caramori

Londrina
2010

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A553c Andrade, Giselly Aparecida.

Caracterização ecofisiológica de espécies cafeeiras no norte do Paraná /
Giselly Aparecida Andrade. – Londrina, 2010.
87 f. : il.

Orientador: Cristiane de Conti Medina

Co-orientador: Paulo Henrique Caramori.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2010.

Inclui bibliografia.

1. Café – Ecofisiologia – Teses. 2. Café – Condições hídricas – Teses.
3. Mudanças climáticas – Teses. 4. Café – Cultivo – Paraná. – Teses. I.
Medina, Cristiane de Conti. II. Caramori, Paulo Henrique. III. Universidade
Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 633.73

GISELLY APARECIDA ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES CAFEEIRAS
NO NORTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Cristiane de Conti Medina – UEL

Dr. Fábio Suano de Souza – IAPAR

Dra. Heverly Moraes – IAPAR

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri – UEL

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva –
UEL

Prof. Dr. Adilson Luiz Seifert – UEL

Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães – UEL

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina
Orientadora
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 12 de março de 2010.

A Jesus Cristo, meu amigo e salvador,
aos meus pais, Geraldo e Cida, e
minhas irmãs, Viviane e Vanessa,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque minha história é nada sem o Teu amor.

Aos meus pais, Geraldo e Cida, pelo amor incondicional.

Às minhas irmãs, Viviane e Vanessa, por me darem motivos pra sentir muita saudade de conviver diariamente com vocês.

À minha orientadora, Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina e ao Dr. Paulo Henrique Caramori, meu co-orientador, pela valiosa ajuda, orientação e amizade.

Ao Dr. Fábio Suano de Souza e à Dra. Heverly Moraes, pelos bons momentos que passamos nestes quatro anos e pela disposição em me ensinar.

À Geovanna Cristina Zaro e aos colegas da área de Agrometeorologia, do Laboratório de Ecofisiologia e do Laboratório de Biotecnologia do Instituto Agronômico do Paraná, pela fundamental ajuda.

Aos meus “afilhados” Leonardo, Mirian e Felipe, meus anjinhos.

Aos meus parentes Mota e Andrade, por serem minha “Grande família” e por tudo que vivemos juntos.

Aos meus amigos de trabalho, de orações, de estudos e de vida, minha vida é bem melhor por ter vocês.

À Weda, secretária da pós, pela disposição em me ajudar.

Ao Instituto Agronômico do Paraná e seus funcionários, por possibilitarem a realização deste trabalho e meu desenvolvimento profissional durante toda a minha formação.

À Universidade Estadual de Londrina, pela formação pessoal e profissional durante estes dez inesquecíveis anos.

À Capes pelo apoio financeiro.

E a todas as pessoas que indiretamente colaboraram na elaboração dessa tese.

Obrigada!

“A vida é fruto da decisão de cada momento. Talvez seja por isso, que a idéia de plantio seja tão reveladora sobre a arte de viver.

Viver é plantar. É atitude de constante semeadura, de deixar cair na terra de nossa existência as mais diversas formas de sementes. Cada escolha, por menor que seja, é uma forma de semente que lançamos sobre o canteiro que somos. Um dia, tudo o que agora silenciosamente plantamos, ou deixamos plantar em nós, será plantaçoão que poderá ser vista de longe...

Para cada dia, o seu empenho. A sabedoria bíblica nos confirma isso, quando nos diz que "debaixo do céu há um tempo para cada coisa!"

Hoje, neste tempo que é seu, o futuro está sendo plantado. As escolhas que você procura, os amigos que você cultiva, as leituras que você faz, os valores que você abraça, os amores que você ama, tudo será determinante para a colheita futura.

Felicidade talvez seja isso: alegria de recolher da terra que somos, frutos que sejam agradáveis aos olhos!

Infelicidade, talvez seja o contrário.

O que não podemos perder de vista é que a vida não é real fora do cultivo. Sempre é tempo de lançar sementes... Sempre é tempo de recolher frutos. Tudo ao mesmo tempo. Sementes de ontem, frutos de hoje. Sementes de hoje, frutos de amanhã! “

(Pe. Fábio de Melo, SCJ)

ANDRADE, Giselly Aparecida. **Caracterização ecofisiológica de espécies cafeeiras no norte do Paraná**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RESUMO

O estudo do comportamento fisiológico das espécies vegetais é essencial para subsidiar programas de melhoramento visando ampliar a tolerância a estresses ambientais. Este enfoque torna-se ainda mais importante nesta fase pela qual passa o planeta, em que se prevêem mudanças climáticas significativas, que poderão alterar as áreas de cultivo das espécies e variedades de plantas. Assim os objetivos deste trabalho foram caracterizar ecofisiologicamente cafeeiros das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* no norte do Paraná, através de suas trocas gasosas e relações hídricas, quantificar a concentração de macronutrientes e carboidratos de reserva das espécies e verificar a possibilidade de cultivo de *C. canephora* no estado do Paraná. Os cafeeiros avaliados pertencem à coleção de espécies de café do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina – PR e têm aproximadamente 20 anos, sendo que as plantas de *C. arabica* e *C. canephora* foram recepidas após as geadas de 2000. As leituras e coletas foram realizadas mensalmente, de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008, aleatoriamente, em quatro plantas de cada espécie. Para a medição de fotossíntese, condutância estomática e transpiração, utilizou-se uma câmara LICOR modelo LI6200 e as avaliações das relações hídricas foram feitas através de psicrômetros de termopar. As determinações analíticas foram efetuadas conforme método utilizado pelo laboratório de solos do IAPAR e as quantificações de açúcares totais, açúcares redutores e amido, foram feitas segundo a metodologia de Somogyi-Nelson. Os resultados foram submetidos à análise de componentes principais e à comparação de médias com Teste de Tukey a 5% de probabilidade. As espécies não apresentaram estresse hídrico mesmo nos períodos de menor precipitação. A espécie *C. racemosa* se destacou por sua elevada capacidade fotossintética mesmo em condições hídricas menos favoráveis. A variação genética influenciou nas diferenças entre o conteúdo de nutrientes entre as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*. A maior concentração de carboidratos de reserva ocorreu no período do inverno, quando o metabolismo das plantas diminuiu. A espécie *C. dewevrei* apresentou as maiores concentrações de açúcares redutores e totais e a espécie *C. racemosa* a maior concentração de amido. Para o zoneamento agroclimático de *C. canephora* foi utilizado o banco de dados climáticos históricos do IAPAR e considerados os parâmetros encontrados na literatura. Os resultados indicaram que, para o clima atual, partes das regiões noroeste e oeste são aptas ao cultivo de *C. canephora*. Sob cenários de aquecimento global, considerando o regime de precipitação inalterado, a área apta ao cultivo se amplia, justificando estudos com esta espécie no estado do Paraná.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. *Coffea arabica*. *Coffea canephora*. *Coffea dewevrei*. *Coffea racemosa*. Trocas gasosas. Relações hídricas. Zoneamento agroclimático.

ANDRADE, Giselly Aparecida. **Ecophysiological characterization of coffee species in northern Parana, Brazil**. 2010. 88 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

ABSTRACT

The knowledge of the physiological behavior of plant species is essential to support breeding programs aimed at increasing tolerance to environmental stresses. This approach becomes even more important at this stage experienced by the planet, when significant climate changes are predicted, which may change suitable areas of crop species and varieties of plants. Thus the objectives of this study were to characterize physiologically plants of the species *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* and *Coffea racemosa* in the north of Paraná, through their gases exchanges and water potentials, to quantify the concentration of nutrients and carbohydrate reserves and to verify the possibility of cultivation of *C. canephora* in the state of Parana. The evaluated plants belong to the collection of coffee species from the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in Londrina - PR and have about 20 years. The plants of *C. arabica* and *C. canephora* were pruned after the frosts of 2000. Readings and samples were collected monthly from December 2007 to November 2008 at random, from four plants of each species. For measurements of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration, we used a camera model LICOR LI6200 and assessments of water status were made by thermocouple psychrometers. The analytical determinations were performed according to the method used in the soil laboratory of IAPAR and levels of total sugars, reducing sugars and starch were made following the method of Somogyi-Nelson. The results were submitted to principal component analysis in the STATISTICA software, and the comparisons of means were made with the Tukey test at 5% probability, using the program SISVAR. The first two principal components explained 78.76% of the variability. The species showed no water stress even in periods of low rainfall. The species *C. canephora* showed greater stability in water relations and *C. dewevrei* greater stability in gas exchange during the study period. The species *C. racemosa* stands out for its high photosynthetic capacity even in less favorable water conditions, a trait of high interest for genetic improvement of commercial species aiming adaptation to climate changes. Genetic variation influenced the differences in nutrient content between the species *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* and *C. racemosa*. The highest concentration of reserve carbohydrates occurred during the winter, when plant metabolism decreases. The species *C. dewevrei* showed the highest concentrations of reductor and total sugars and *C. racemosa* had the highest concentration of starch. For the agroclimatic zoning of *C. canephora*, the historical meteorological database of IAPAR was analyzed, and the criteria were based on parameters published in the literature. The results indicated that for the current climate, parts of northwestern and western regions are suitable for the cultivation of *C. canephora*. Under global warming scenarios, considering the rainfall regime unchanged, the area suitable for cultivation expands, justifying studies with this species in the state of Parana.

Keywords: Climate change. Coffee. Gas exchange. Water relations. Agroclimatic zoning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 O CAFEIEIRO	12
2.1.1 Coffea Arabica L.....	13
2.1.2 Coffea Canephora Pierre.....	14
2.1.3 Coffea Dewevrei DeWild. et Dur.....	16
2.1.4 Coffea Racemosa Lour.....	17
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	18
2.2.1 Causas e Consequências.....	18
2.2.2 Influência das Mudanças Climáticas na Produção Cafeeira do Brasil.....	20
2.3 INFLUÊNCIA DE ALTAS TEMPERATURAS NAS TROCAS GASOSAS E NO POTENCIAL HÍDRICO DOS CAFEIROS	22
2.4 NUTRIENTES E CARBOIDRATOS NO CAFEIEIRO	24
2.5 ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO	26
2.6 REFERÊNCIAS	28
3 ARTIGO A – TROCAS GASOSAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE QUATRO ESPÉCIES CAFEIIRAS	36
RESUMO	36
ABSTRACT.....	36
INTRODUÇÃO	37
MATERIAL E MÉTODOS	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
Relações Hídricas na Folha	42
Trocas Gasosas e Eficiência do Uso de Água	45
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	52
4 ARTIGO B – MACRONUTRIENTES, GLICOSE, SACAROSE E AMIDO PRESENTES EM FOLHAS DE QUATRO ESPÉCIES CAFEIIRAS	56

RESUMO	56
ABSTRACT.....	56
INTRODUÇÃO	57
MATERIAL E MÉTODOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	68

**5 ARTIGO C – ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DE COFFEA
CANEPHORA NO ESTADO DO PARANÁ E IMPACTOS DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....72**

RESUMO	72
ABSTRACT.....	72
INTRODUÇÃO	73
MATERIAL E MÉTODOS	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS.....	81

6 CONCLUSÕES GERAIS83

7 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO85

APÊNDICE.....86

APÊNDICE A.....87

1 INTRODUÇÃO

O café tem grande representatividade no cenário agrícola brasileiro e mundial, destacando-se como um dos principais produtos agrícolas de exportação e agregando considerável volume de recursos à balança comercial brasileira. A área cafeeira no Brasil, safra de 2010, foi de 2.315.521 hectares, com estimativa de produção total (café arábica e canéfora) entre 45,89 e 48,66 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado (CONAB, 2010).

A cultura cafeeira sofre forte influência do clima. As temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18°C a 22°C para a espécie *Coffea arabica*, e entre 22°C a 26°C para *Coffea canephora* (CAMARGO, 1985; SANTINATO et al., 1996). Temperaturas extremas provocam redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro, pois impedem a ação de enzimas, além de promoverem o fechamento estomático, e quando associadas à seca no período de floração favorecem o abortamento floral, diminuindo a produtividade (DRINNAN; MENZEL, 1995).

Com o advento das Mudanças Climáticas e Aquecimento Global, existe a expectativa de aumento entre 1,8°C a 4°C na temperatura média anual do planeta nos próximos cem anos (IPCC, 2007). A não ser que sejam tomadas providências, esse quadro irá afetar negativamente a cultura cafeeira no que se refere à produtividade, qualidade e distribuição da área de cultivo. Para mudar ou mitigar este cenário, devem ser implementadas rapidamente práticas que reduzam a emissão de gases poluentes na atmosfera, como a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, redução das queimadas, adoção de práticas conservacionistas com sistemas de estoque de carbono eficientes e utilização de fontes de energia alternativas e limpas. Além disso, recomenda-se a adoção de outras práticas como a adaptação das plantas a estes novos cenários climáticos, utilizando variedades tolerantes a altas temperaturas e à seca.

O gênero *Coffea* engloba várias espécies cafeeiras, nas quais é possível identificar diversas características comercialmente desejáveis. A espécie *C. arabica* apresenta a melhor qualidade de bebida, sendo por isso, mundialmente a mais cultivada. A *C. canephora* tem alto potencial produtivo, uniformidade de maturação, rusticidade, tolerância a temperaturas mais elevadas e alta quantidade

de sólidos solúveis. O *C. dewevrei* é resistente ao agente da ferrugem, a alguns nematóides e ao bicho mineiro. *C. racemosa* apresenta tolerância à seca e dormência em condições desfavoráveis. O estudo detalhado da fisiologia dos processos que geram essas características desejáveis é importante para se ter um maior número dessas características em uma única espécie e variedade.

O conhecimento das trocas gasosas e relações hídricas e suas correlações com as condições climáticas vigentes ao longo de um determinado período do ciclo de cada espécie, é fundamental para identificar, compreender e caracterizar o funcionamento do processo fotossintético das espécies mais tolerantes às altas temperaturas e ao estresse hídrico. Esse conhecimento é importante para desenvolver espécies potencialmente produtivas e adaptadas às mudanças climáticas globais. Os macronutrientes e carboidratos de reserva são elementos essenciais à produção e qualidade da bebida. O estudo desses elementos ao longo de um determinado período do ciclo da cultura, é essencial para caracterizar as diferenças de concentrações e deslocamento desses compostos em determinados estádios de desenvolvimento da planta em cada espécie. Isso fornecerá subsídios para selecionar plantas mais produtiva e com qualidade de bebida superior.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: caracterizar fisiologicamente cafeeiros das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* no norte do Paraná, através de suas trocas gasosas e potenciais hídricos; quantificar a concentração de macronutrientes e carboidratos de reserva das espécies; e verificar a possibilidade de cultivo de *C. canephora* no estado do Paraná, para o clima atual e nos cenários previstos pelo IPCC.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CAFEIEIRO

O cafeeiro pertence ao gênero *Coffea*, o principal da família das Rubiáceas, compreendendo cerca de cem espécies. Duas dessas espécies apresentam valor econômico, *Coffea arabica*, aproximadamente 70% da produção mundial, e *Coffea canephora*, aproximadamente 30% da produção mundial, (BARROS et al., 1995; MATIELLO et al., 2002). No Brasil, o café arábica representa 72,49% da produção total, tendo o estado de Minas Gerais como maior produtor com 66% (18,97 milhões de sacas beneficiadas). O *C. canephora* (robusta) participa com 10,75 milhões de sacas beneficiadas (27,51%) e o estado do Espírito Santo se destaca como maior produtor, com 70,3% representando 7,55 milhões de sacas de café beneficiado (CONAB, 2009). Porém, outras espécies como *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, entre outras, são de grande importância nos programas de hibridação e de melhoramento genético, para transferência de alelos responsáveis por características agrônomicas desejáveis, relacionadas principalmente à tolerância à seca e resistência a pragas e doenças, para as duas espécies produzidas comercialmente (CARVALHO, 1946; KRUG; CARVALHO, 1951).

A cultura do café teve grande influência na colonização e no desenvolvimento do Brasil, ocupando posição de destaque no cenário econômico e social do país, que é o maior produtor e exportador de café no mundo (FONSECA, 1999).

2.1.1 *Coffea arabica* L.

São considerados como centro de origem da espécie *Coffea arabica*, as florestas das regiões de Jimma e Kaffa, na Etiópia, e o platô de Boma, no Sudão. Estas regiões apresentam clima ameno em função da altitude, que varia de 1600 a 2000 m. A temperatura do ar oscila entre 17 e 20°C e as chuvas anuais variam entre 1500 e 1800mm, bem distribuídas, com um período seco definido de quatro a cinco meses (WRIGLEY, 1988; CARVALHO, 1988).

As temperaturas médias anuais indicadas para *C. arabica* estão entre 18 e 22°C, sem grandes variações sazonais (CAMARGO, 1985). Estudos comprovam que temperaturas extremas prejudicam o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo desta espécie (FRANCO 1956; FRANCO, 1960; CAMARGO; SALATI, 1967). Temperaturas acima de 30°C, por um período prolongado, causam danos nas folhas e se ocorrerem na fase de florescimento, podem provocar abortamento dos botões florais e má formação de flores. Em regiões com temperatura média anual acima de 23°C o desenvolvimento dos frutos e a maturação são antecipados, com perdas na qualidade (CAMARGO, 1985). O cafeeiro também se mostra pouco tolerante ao frio. Temperatura das folhas próxima a -2°C provoca início de danos nos tecidos (CAMARGO; SALATI, 1967), e temperaturas foliares entre -3 e -4°C provocam danos severos e morte dos tecidos (FERRAZ, 1968).

Analisando as necessidades hídricas do cafeeiro, Camargo (1977) estabeleceu os limites para o cultivo de *Coffea arabica* L. com base no déficit hídrico anual, definindo áreas aptas para o cultivo sem irrigação aquelas com deficiência hídrica anual inferior a 150 mm e inaptas com déficit hídrico anual superior a 200 mm. As perdas na produção cafeeira em decorrência da deficiência hídrica estão relacionadas com o estágio de desenvolvimento da planta. Camargo (1985) analisando dados de balanço hídrico adaptado de Thornthwaite e Mather (1955), em várias regiões produtoras do Brasil, menciona que a produção econômica do cafeeiro arábica suporta deficiências de até 150 mm anuais quando a estação seca coincide com a maturação e a colheita; mas durante o período de frutificação, deficiências anuais superiores a 100 mm podem ocasionar quebras na produtividade.

O cafeeiro arábica leva dois anos para completar o ciclo fenológico. Camargo e Camargo (2001) esquematizaram as fases fenológicas desta espécie para as condições tropicais do Brasil. No primeiro ano formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, durante os meses de dias longos. Em janeiro, quando os dias começam a se encurtar, as gemas vegetativas axilares são induzidas por fotoperiodismo em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984). Em abril, depois do equinócio de março, com os dias curtos com menos de 13 horas de luz efetiva, intensifica-se a indução das gemas foliares para gemas florais, que começam a se desenvolver (PIRINGER; BORTHWICK, 1955). Essas gemas florais vão amadurecendo e, quando maduras, entram em dormência e ficam prontas para a antese, quando ocorre um aumento substancial do potencial hídrico nas gemas dormentes. O choque hídrico, causado por chuva ou irrigação, é o principal fator para desencadear a florada (CAMARGO; CAMARGO, 2001). O acentuado aumento da umidade relativa do ar, mesmo que os cafeeiros não recebam chuva diretamente, poderá também provocar a florada (CAMARGO; FRANCO, 1981). O segundo ano fenológico inicia-se com a florada e formação dos chumbinhos, que precede a expansão dos grãos até atingir o tamanho normal. Em seguida ocorre a granação dos frutos e a fase de maturação. Finalmente advém a senescência, morte dos ramos plagiotrópicos terminais e a conhecida auto-poda. Na primavera do ano civil seguinte brotam novos ramos vegetativos, que se transformam em reprodutivos, permitindo nova produção, defasada no ano seguinte (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

2.1.2 *Coffea canephora* Pierre

A espécie *Coffea canephora* (café Robusta) é originária da África, de uma região que abrange a faixa ocidental, centro-tropical e subtropical do continente africano, especificamente da Guiné à República Democrática do Congo, na costa oeste do continente. É adaptada a regiões quentes e úmidas, e a áreas baixas da floresta tropical (CHARRIER; BERTHAUD, 1985). Foi introduzida no Brasil por volta do ano de 1920, no Estado do Espírito Santo, com as primeiras sementes sendo plantadas no município de Cachoeiro de Itapemirim. Porém, só começou a ser

explorada em escala comercial a partir de 1960 (MATIELLO; ALMEIDA, 1997), onde é cultivado em regiões com menor altitude, normalmente abaixo de 500 metros, e temperaturas mais elevadas, com média anual entre 22° e 26° C (MATIELLO, 1991).

Evangelista et al. (2002), consideraram para fins de zoneamento agroclimático, regiões com deficiência hídrica inferior a 200 mm como aptas, de 200 a 400 mm, marginais, e superiores a 400 mm, inaptas ao cultivo desta espécie em áreas sem irrigação.

O café canefora produz uma bebida de sabor e aroma pouco acentuados, com maior teor de cafeína e sólidos solúveis. Por esse motivo, é utilizado no preparo dos cafés solúveis e na composição de “blends” (misturas com café arábica torrado e moído), podendo participar com até 30 % do produto final (MATIELO, 1998). A planta atinge de 2 a 5 metros de altura e é bem diferente do arábica. A floração é rápida e acontece de 2 a 3 vezes por ano, a partir de gemas seriadas localizadas aleatoriamente nas axilas das folhas de ramos laterais que se formaram na estação de crescimento do ano corrente, de forma que a floração depende estreitamente do crescimento dos ramos plagiotrópicos (BARROS et al., 1978). Os seus frutos são vermelhos e esféricos.

O *C. canephora* tem despertado grande interesse entre os melhoristas por seu alto potencial produtivo, tolerância a temperaturas mais elevadas, grande rusticidade e maior quantidade de sólidos solúveis totais, em comparação à *C. arabica*. Essas características tornam a espécie muito desejada pelas indústrias e estimula a adoção de estratégias de melhoramento, baseadas na transferência de genes para outras espécies (FERREIRA et al., 2005).

Segundo Charrier e Berthaud (1988), os programas de melhoramento de *C. canephora* ambicionam a melhoria de várias características, prioritariamente, a produtividade, a estabilidade de produção em diferentes ambientes e a qualidade da produção. Características do fruto, tais como: uniformidade de maturação, aumento do tamanho dos grãos, conversão entre café cereja e beneficiado, teor de sólidos solúveis totais, redução da porcentagem de grãos mocas e teor de cafeína, também devem ser consideradas. Quanto às características gerais das plantas, geralmente, são selecionadas as de porte mais baixo e arquitetura mais compacta, adequadas ao adensamento e com maior tolerância às principais doenças, às pragas, e à seca.

2.1.3 *Coffea dewevrei* DeWild. et Dur.

Originária da África Central, a espécie *Coffea dewevrei* é filogeneticamente próxima a *Coffea liberica*, nativa da África Ocidental. Devido às semelhanças entre essas espécies, alguns autores (LEBRUN, 1941; CHARRIER; BERTHAUD, 1985), consideram *C. dewevrei* como uma variedade de *C. liberica*. No entanto, estudos quimiotaxonômicos (LOPES, 1984), indicam diferenças entre essas duas espécies, que, assim, devem ser mantidas separadamente, como considerou Carvalho e Monaco (1967).

Os cafeeiros desta espécie atingem de 8 a 10 metros de altura, as folhas são grandes e coriáceas. Florescem abundantemente em várias épocas do ano e as flores ocorrem em quatro a cinco inflorescências densas por axila foliar, com uma a cinco flores por inflorescência, auto-incompatíveis. A maturação dos frutos é lenta, de cerca de um ano; os frutos são ovóides, curto-pedunculados, com discos grandes, salientes e avermelhados. O mesocarpo é pouco aquoso e o endocarpo bastante espesso. As sementes são, em geral, afiladas em uma das extremidades e apresentam película prateada aderente e endosperma amarelado. O número total de flores produzidas é bastante grande; a produção anual é elevada com média de sementes do tipo moca em torno de 20% (CARVALHO et al., 1990a). Apresenta resistência ao agente da ferrugem, a alguns nematóides (FAZUOLI, 1981) e ao bicho-mineiro (MEDINA FILHO et al., 1977b), porém, é suscetível, na região de origem, a traqueomicose, moléstia causada pelo fungo *Gibberella xyarioides* (KRUG; POERCK, 1968), e ao ataque pela saúva *Ata sexdens* (CARVALHO; MONACO, 1967), principalmente quando novas. Há informações de que é tolerante a baixas temperaturas (CRAMER, 1957).

Carvalho et al. (1990b), observaram que o *C. dewevrei* tem bebida de qualidade muito ruim, quando comparada com *C. arabica*, espécie tomada como padrão de qualidade, e que na mistura com a *C. arabica* ocorre uma redução na qualidade da bebida na mesma proporção em que há um aumento na quantidade de *C. dewevrei*. Apesar disso, quando misturado até 23% com *C. arabica* de bebida boa, não provoca grandes alterações na qualidade. Este fator e sua altura contribuem para que esta espécie seja pouco cultivada, embora seja rústica, de

produção elevada e apresente características de resistência a algumas pragas e moléstias.

2.1.4 *Coffea racemosa* Lour.

A espécie *Coffea racemosa* é originária de regiões de Moçambique, ocupando áreas de savanas semi-áridas sujeitas a consideráveis períodos de estiagem. Tem sistema radicular profundo, folhas decíduas, flores auto estéreis e frutos maduros de cor escura, rápido desenvolvimento e com maturação precoce (CHEVALIER, 1947).

Seu florescimento é anual, dando-se entre os meses de Setembro a Outubro, com o desenvolvimento muito rápido de seus frutos (CHEVALIER, 1947) e (BRIDSON, 1982).

Segundo Bridson (1982) esta espécie é muito polimórfica, especialmente com relação à forma, tamanho e número de lobos da corola. Suas folhas variam muito quanto à textura e tipo de domácias.

Em testes de qualidade de bebida realizados por Carvalho et al., (1990), com descendentes de diversos cruzamentos, *C. racemosa* x *C. arabica* obteve-se bebida de qualidade superior, o que se mostrou muito interessante devido à *C. racemosa* apresentar resistência ao ataque do bicho mineiro e à seca (MEDINA, 1977b). O fato de entrar em dormência em condições desfavoráveis ao crescimento também pode condicionar maior tolerância a baixas temperaturas, fator importante para as condições de cultivo do sudeste e sul do Brasil.

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

2.2.1 Causas e Consequências

A atmosfera terrestre é constituída de gases que são relativamente transparentes à radiação solar de onda curta, mas interceptam uma parcela significativa da radiação de ondas longas emitidas pela superfície do planeta. Assim a atmosfera funciona como uma estufa, retendo parte do calor essencial à vida na forma como se desenvolveu na terra. O aquecimento adicional da superfície terrestre por esse processo é chamado de efeito estufa (XAVIER; KERR, 2004).

Gases atmosféricos que retêm, relativamente, pouca radiação solar, enquanto absorvem com maior eficiência a radiação emitida pela superfície da Terra, são chamados de gases estufa. Os mais importantes têm ocorrência natural e são o vapor de água, dióxido de carbono, ozônio, metano e óxido nitroso (CONTI, 2005). Há uma grande preocupação quanto aos riscos de sua intensificação e aos seus reflexos sobre o clima do planeta, devido às atividades antropogênicas. Existem fortes evidências de que alterações no efeito estufa estejam causando mudanças climáticas globais (IPCC, 2007).

O aquecimento do planeta vem sendo observado desde a Revolução Industrial, sendo que os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem, principalmente, ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos, principalmente, à agricultura (IPCC, 2007). Uma grande fonte de metano é a fermentação entérica dos ruminantes (XAVIER; KERR, 2004).

As atividades industriais do Brasil contribuem pouco para as emissões mundiais de carbono, mas a extensão do desmatamento na Amazônia, cerca de 15.000 km² por ano, coloca o país entre os dez maiores emissores mundiais deste gás (GOLDEMBERG, 2000). Segundo Le Quéré et al. (2009), 12% das emissões totais de carbono para a atmosfera advêm das alterações no uso do solo, sendo o desmatamento tropical responsável pela maior parte deste total. Até 2007 cerca de 16% da área originalmente coberta por florestas na Amazônia brasileira haviam sido desmatados (ALMEIDA, 2009).

Preocupados com esses efeitos, a OMM (Organização Meteorológica Mundial) e a UNEP (United Nations Environment Programme), criaram em 1988 o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), com o objetivo de emitir periodicamente relatórios de avaliação sobre a ciência das mudanças climáticas, impactos, vulnerabilidade e formas de adaptação dos sistemas biológicos e físicos a essas mudanças, além de identificar meios de reduzir a emissão e concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (ASSAD et al., 2004).

Segundo o IPCC (2007), o aumento de temperatura global nos últimos 150 anos foi de $0,76^{\circ}\text{C}$. Quanto à precipitação, um aumento significativo foi observado na parte leste da América do Norte e da América do Sul, no norte da Europa e no norte e centro da Ásia. Observou-se que o clima ficou mais seco no Sahel, no Mediterrâneo, no sul da África e em partes do sul da Ásia. As causas muito prováveis dessas variações são de ordem antropogênica.

Por meio de modelos matemáticos baseados em dados registrados nos oceanos, biosfera e atmosfera, está previsto um aumento entre $1,8^{\circ}\text{C}$ e 4°C na temperatura média global até o final do século XXI (IPCC, 2007).

O clima é um conceito abstrato e complexo que envolve dados de temperatura, umidade, tipos e quantidade de precipitação, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação solar, tipo de nuvens e a área que cobrem, bem como outros fenômenos do tempo como nevoeiro, tempestades, geadas e as relações entre eles, o que torna a previsão por modelos matemáticos ainda incerta (XAVIER; KERR, 2004).

Com o aquecimento global, espera-se cenário de clima mais extremo com secas, inundações, ondas de calor mais freqüentes, elevação do nível dos oceanos; furacões mais intensos e mais freqüentes também poderão ser sentidos, assim como o derretimento das geleiras (SALATI et al., 2004). A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas (ASSAD et al., 2004).

Para o Brasil, Nobre (2001) considera que as conseqüências mais significativas são o aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos, tais como: secas, inundações,

penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais e granizo. Além da intensificação da variabilidade climática associada a eventos El Niño/La Niña em função do aumento do efeito estufa. O previsto aumento do nível médio do mar poderá trazer conseqüências para os ecossistemas e populações humanas nas áreas costeiras e nas áreas ribeirinhas que sofrem a influência das marés.

Com a elevação das temperaturas, segundo Thomas et al. (2004), considerando o cenário mais otimista, 18 espécies vegetais estarão ameaçadas de extinção até o ano de 2050. O Brasil, com sua dimensão continental, possui uma considerável heterogeneidade climática, tipos de solo e topografia. Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas, pode-se admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menor a aptidão da região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Culturas tolerantes a altas temperaturas provavelmente serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis a geadas, com o aumento do nível térmico decorrente do aquecimento global, passarão a apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento de vegetações (ASSAD et al., 2004).

2.2.2 Influência das Mudanças Climáticas na Produção Cafeeira do Brasil

Nas plantas, o aumento da temperatura, dentro de limites específicos para cada espécie, é diretamente proporcional à atividade fotossintética. As reações catalisadas enzimaticamente podem ser aceleradas, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado à tolerância das plantas ao calor (BIETO; TALON, 1996).

Para a espécie *Coffea arabica* as temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18°C e 22°C (CAMARGO, 1985; PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001). Temperaturas entre 28°C e 33°C provocam redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro arábica (DRINNAN; MENZEL, 1995).

A espécie *Coffea canephora* tem sua temperatura média anual ótima entre 22°C e 26°C e, segundo Santinato et al. (1996) temperaturas inferiores a 18 e 22°C para as espécies de café arábica e canéfora, respectivamente, favorecem a exuberância vegetativa e baixa diferenciação floral, com conseqüentes baixos níveis de produtividade, além de sintomas típicos de “crestamento” foliar no período de inverno, associados a ventos dominantes. Os mesmos autores afirmaram, ainda, que temperaturas superiores a 23 e 26°C, para as espécies de café arábica e canéfora, respectivamente, associadas à seca na época do florescimento, podem favorecer o abortamento floral e a formação de flores “estrelinhas”, diminuindo consideravelmente a produtividade.

Marengo (2001) observou que o número de frentes frias relacionadas às geadas intensas no Sul do Brasil diminuiu com o decorrer do tempo, havendo uma tendência de invernos mais quentes. Apesar disso, entre os anos de 1882 e 2000, foram identificadas 42 geadas prejudiciais ao cafeeiro, na região Sul e Sudeste, com 35% dos eventos provocando perdas na produção. Conforme Caramori et al. (2001), Pinto et al. (2001) e Sediyaama et al. (2001), para efeito do zonenamento do café, a temperatura mínima tolerável sem causar danos às folhas está entre 0°C a 1°C. No caso do zoneamento de riscos climáticos para o café no Brasil, apenas são consideradas em condição de financiamento da lavoura as regiões que apresentam risco de geada igual ou inferior a 25%, ou seja, 75% de chances de que a temperatura mínima seja igual ou superior a 1°C. Para efeito de abortamento de flores, o mesmo zoneamento considera como tolerável a temperatura média mensal até 24°C.

Assad et al. (2004), relataram o impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café arábica no Brasil e concluiu que, se comprovados os cenários preconizados pelos modelos do IPCC e considerando aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C na temperatura média anual do globo, o cultivo do café arábica nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos, se mantidas as condições genéticas e fisiológicas das atuais variedades. No caso de Goiás, Minas Gerais e São Paulo, a restrição ao cultivo atingirá mais de 95% da área dos estados, inviabilizando praticamente a cultura do cafeeiro nessas regiões. Nos cenários estudados, o deslocamento da produção será para áreas montanhosas, de difícil manejo, onde temperaturas médias anuais abaixo de 23°C ainda serão observadas. No estado de Minas Gerais, o cultivo se restringirá

a 28 municípios (em 2001 foram contabilizados 702 municípios produtores de café) e, no estado de São Paulo, o cultivo será restrito a nove municípios (no ano de 2001 foram contabilizados 455 municípios produzindo café); no estado de Goiás, considerando o aumento de até 3°C, o cafeeiro será considerado cultura de alto risco, mesmo com a irrigação exercendo a função de suprimento de água e regulador térmico. No estado do Paraná haverá um deslocamento da área produtiva para a região Sul; mesmo assim, com o aumento de 5,8°C na temperatura média anual haverá uma forte redução das áreas aptas para o cafeeiro, saindo de 70,4% (situação atual) para 25,2%; com o aumento previsto de chuvas (15%), a cultura do café no Paraná poderá apresentar problemas de qualidade de bebida, sendo este também um fator restritivo para a cultura.

Em todos os casos, o aumento de temperatura acentuará o abortamento de flores, fator restritivo para manutenção da produtividade do cafeeiro. Pezzopane et al. (2007) também verificaram alta porcentagem de grãos moca, associada a fatores ambientais adversos, principalmente altas temperaturas, na florada e no início da frutificação.

Esses cenários podem ser contornados se forem rapidamente implementadas práticas mitigadoras, que permitam aumentar o seqüestro de carbono, reduzindo o efeito estufa, ou através do melhoramento de plantas para adaptá-las aos estresses ambientais.

2.3 INFLUÊNCIA DE ALTAS TEMPERATURAS NAS TROCAS GASOSAS E NO POTENCIAL HÍDRICO DOS CAFEIROS

A fotossíntese é um dos processos primeiro e mais largamente afetado por extremos de temperatura (BAUER et al., 1985). Reduções na atividade fotossintética podem ter diferentes causas: danos na estrutura dos cloroplastos e estômatos (DRAKE; SALISBURY, 1972); alterações na frequência, padrão de distribuição dos estômatos (PUMA; HUNER, 1985) e resistência estomática (IZHAR; WALLACE, 1967); redução na translocação de fotoassimilados e acúmulo de amido nos cloroplastos (BAUER et al., 1985), ou mudança da atividade das enzimas fotossintetizantes (HÄLLGREN et al., 1991).

Com o aumento da temperatura a atividade carboxilase da enzima Rubisco tende a ser desfavorecida quando comparada à oxigenase (BERRY; BJÖRKMAN, 1980; HÄLLGREN et al., 1991). De acordo com Jordan e Ogren (1984), a razão entre as solubilidades do dióxido de carbono e do oxigênio diminui devido ao maior decréscimo na solubilidade do dióxido de carbono. A fotossíntese é afetada ainda pelo aumento na resistência do mesófilo foliar ao movimento do CO₂ (VU; YELENOSKY, 1987), também favorecendo a atividade oxigenase da Rubisco (BERRY; BJÖRKMAN, 1980).

Em ambientes ou períodos quentes, as plantas apresentam menor abertura estomática como um mecanismo para evitar a desidratação excessiva, mesmo em solos com boa disponibilidade hídrica (RIBEIRO; MACHADO, 2007). Essa menor condutância estomática pode ocasionar menor disponibilidade de substrato para as reações de carboxilação (JONES, 1998). Reduções na assimilação de CO₂ observadas em folhas de cafeeiros sob alta radiação têm sido associadas com temperatura foliar, as quais, acima de 25°C provocam o fechamento dos estômatos (NUNES et al., 1968; KUMAR; TIESZEN, 1980). Fahl et al. (1994) observaram que a alta radiação não diminuiu a fotossíntese em folhas de cafeeiros quando a temperatura na câmara de assimilação de CO₂ foi mantida até 25°C.

Temperaturas foliares de até 40°C foram registradas em café por DaMatta (2004), condição em que a fotossíntese líquida é reduzida, em função de limitações estomáticas e do aumento substancial da respiração e da fotorespiração, além da possibilidade de ocorrência de danos diretos à maquinaria fotossintética causados pelas altas temperaturas.

Fatores climáticos como luz e temperatura interagem para definir um nível ótimo propício para o processo fisiológico, sendo que sua ação depende do estado hídrico e nutricional da planta. De todos os recursos que as plantas precisam para o crescimento, a água é o mais limitante para a produtividade agrícola, visto ser essencial aos diversos processos metabólicos das plantas, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento. Uma das primeiras respostas das plantas à deficiência hídrica é o fechamento dos estômatos, que causa a diminuição da difusão de CO₂ para o mesófilo foliar e a queda na fotossíntese (SOUZA et al., 2001).

Com a elevação da temperatura, ocorre também aumento na demanda evapotranspirativa, provocando maior deficiência hídrica. A interação entre

a demanda evaporativa da atmosfera, potencial de água no solo, distribuição do sistema radicular e processos fisiológicos revela o estado energético de água na planta (CLARK; HILER, 1973). Expansão foliar, abertura estomática e outros processos associados à fotossíntese são diretamente afetados pela redução do potencial de turgescência da folha, pois a capacidade da planta em manter a turgescência foliar é uma grande adaptação ao déficit hídrico (JONES; TURNER, 1978).

2.4 NUTRIENTES E CARBOIDRATOS NO CAFEIEIRO

O suprimento de nutrientes na relação solo-planta é afetado pelas propriedades físico-químicas do solo e pela distribuição do sistema radicular (VALARINI, et al. 2005). No entanto, segundo FURLANI (2002), as características de seletividade e capacidade de absorção de nutrientes, assim como a morfologia das raízes, são controladas geneticamente.

Em cafeeiros, Catani e Moraes (1958) constataram que, com o aumento da idade há uma maior absorção de nitrogênio, potássio e cálcio e menor de fósforo e magnésio, e que entre dois e meio e três e meio anos de idade, as exigências minerais da cultura duplicam, devendo-se isso quase exclusivamente ao início da produção de grãos. Segundo Malavolta et al. (2002), as flores constituem um forte dreno de nutrientes e têm, em relação às folhas e ramos, teores mais elevados. Esse fato sugere que o suprimento de nutrientes, para atender a demanda do cafeeiro, deve iniciar-se, ainda na fase de pré-floração, período em que os elementos minerais devem estar no solo prontos para serem absorvidos (VALARINI et al., 2005).

Hiroce (1981) demonstrou que durante a formação do fruto houve um decréscimo na concentração foliar dos principais macronutrientes. A folha, após sua expansão, exporta nutrientes resultantes da degradação de compostos celulares, como fotoassimilados e elementos minerais móveis, para frutos e raízes, que funcionam como drenos, podendo causar até a queda da folha (CALBO, 1989). De acordo com Rena et al. (1983), o depauperamento do cafeeiro ocorre devido à excessiva mobilização de nutrientes pelos frutos, resultado da grande carga e

pequena razão folha/fruto, característicos da espécie. Essa demanda de nutrientes continua em ano de baixa produção, sendo direcionada principalmente, para o crescimento de ramos plagiotrópicos e para a formação de novos ramos, folhas e raízes que vão substituir o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes (MALAVOLTA et al., 2002).

Carvalho (1985) menciona que se o amido de reserva fosse utilizado totalmente pelos frutos, isso representaria somente 7% da matéria seca total e não seria suficiente para suprir a demanda do crescimento vegetativo por mais de sete semanas. Por isso, o autor sugere que o mais importante à produção é a capacidade fotossintética corrente da planta, processo dependente da área foliar e da taxa de fotossíntese líquida. Supõe também que a carência de carboidratos seja uma das principais causas da seca de ramos em café, porém, não consideraram o teor de amido nas folhas e ramos como uma boa variável para se relacionar com o vigor do cafeeiro, já que, em *C. arabica*, nem sempre se relacionou com a seca de ramos (CARVALHO et al., 1993). Por outro lado, Chaves Filho e Oliveira (2008) consideram os carboidratos armazenados em tecidos como gemas, folhas, ramos, caules e raízes, importantes fontes de energia e de compostos metabólicos, que podem ser utilizados durante o desenvolvimento da planta, principalmente nas fases que exigem um rápido crescimento vegetativo e reprodutivo. Os autores acrescentam que essas fases poderiam não acontecer se dependessem, exclusivamente, da fotossíntese corrente.

Segundo Kays (1991), os carboidratos são os constituintes bioquímicos mais abundantes nos vegetais, que além de importantes fontes de energia, compõem a parte estrutural das células. O teor de carboidratos não-estruturais nas plantas controla processos como o crescimento de folhas, caule e raiz; atividade cambial; desenvolvimento reprodutivo; sistema de defesa contra patógenos e herbívoros, além de muitos outros (KOZLOWSKI, 1992). Os açúcares predominantes nos grãos do café são os não-redutores, principalmente a sacarose (MENDONÇA et al., 2007). Estes são responsáveis pela origem da cor marrom do café durante o processo de torração, além de grande efeito no aroma do produto final (CARVALHO et al., 1990).

O açúcar redutor é definido pela oxidação de um carbono anomérico de um açúcar, por um íon férrico ou cúprico, como a glicose. Isto ocorre apenas com a forma linear que existe na solução em equilíbrio com as formas cíclicas. Quando o

carbono anomérico de um resíduo de açúcar está envolvido em uma ligação glicosídica, como de dois monossacarídeos para formar um dissacarídeo, ele não pode assumir a forma linear e, portanto, torna-se um açúcar não-redutor, como a sacarose (LENINGHER et al., 1995).

Em espécies perenes as reservas são importantes para reduzirem os efeitos da variação sazonal do suprimento de energia no metabolismo da planta (SYVERTSEN; LLOYD, 1994).

2.5 ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

A utilização do zoneamento agroclimático iniciou-se na década de setenta como macros levantamentos em que se realizavam estudos de potencial de implantação de uma determinada espécie vegetal. Já existem zoneamentos em micro escala, para um determinado município, podendo abranger uma propriedade (ASSAD; SANO, 1998). O enfoque é na determinação dos riscos climáticos em fases críticas das culturas, considerando os fatores determinantes da produtividade agrícola como geadas, secas, excesso de chuvas. Santos (1999), o considerou uma tarefa de fundamental importância na organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da agricultura, possibilitando a indicação de áreas com maior ou menor potencial para as mais variadas culturas agrícolas.

Para realizar os zoneamentos é necessário conhecer os tipos de clima da região fazendo levantamentos por área. Estes fatores definem as aptidões agrícolas, encontradas em diferentes faixas da região estudada. O zoneamento exige informações climáticas baseadas, principalmente, na ocorrência de chuvas, na temperatura e nas exigências climáticas das culturas agrícolas (SANTOS, 1999).

Para a cultura do café é extremamente importante o conhecimento das condições climáticas de determinada região, visto que a delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do meio físico e biológico para a região, além de identificar áreas com condições homogêneas para o desenvolvimento de atividades e gerenciamento dos recursos naturais nela existentes (EVANGELISTA et al., 2002).

De acordo com Sedyama et al. (2001), o zoneamento agrícola de uma região deve ser constantemente atualizado visando obter maiores informações sobre as condições climáticas das culturas selecionadas. Há necessidade, portanto, da organização de banco de dados mais completos e consistentes, bem como a utilização de métodos mais modernos e sofisticados no delineamento dos limites climáticos para o atendimento à adaptabilidade de novas variedades.

Com base nas exigências térmicas e hídricas do cafeeiro, Camargo (1974) elaborou um mapa de zoneamento climático da cultura do café no Brasil. Sob o ponto de vista hídrico, o estado do Paraná não apresenta nenhuma restrição (CARAMORI et al., 2001). Os impedimentos são de natureza térmica, tendo sido traçada a isoterma de 17°C de temperatura média anual como limite para o cultivo do cafeeiro, abaixo da qual as áreas são inaptas devido à ocorrência severa de geadas (CAMARGO, 1974).

Os trabalhos de zoneamento da cultura do café no Brasil foram desenvolvidos, considerando-se aspectos macroclimáticos e a análise dos fatores térmico e hídrico. Por exemplo, Camargo (1977) estabeleceu faixas térmicas para o cultivo do café arábica, indicando uma área inapta com temperaturas médias anuais superiores a 23°C e inferiores a 17°C, uma área marginal com temperaturas de 17 a 18°C e 22 a 23°C e uma área apta com temperaturas médias anuais de 18 a 22°C. Regiões com temperatura média anual inferior a 18°C, em geral, têm o período de dormência das gemas florais retardado e o desenvolvimento dos frutos mais lento, o que faz com que o período de maturação seja coincidente com novo florescimento, dificultando a colheita.

Caramori et al. (2001) realizaram o zoneamento atual da cultura do café arábica no Paraná, com base nos riscos de geadas, que é o único fator climático limitante. As áreas com frequência de geadas inferiores a 25% (1 a cada 4 anos) foram consideradas aptas ao cultivo, representando o norte do Paraná e englobando todas os municípios onde tradicionalmente se cultivou o café.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. **Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia legal por meio de imagens Landsat/TM**. INPE, 2009.
- ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA- SPI/Embrapa Cerrados, 1998.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JR., J.; ÁVILA, A. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil . **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.39, p.1057-1064, 2004.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: a review. **Journal of Coffee Research**, Chikmagalur, v.8, n.2-3, p.29-73, 1978.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v.36, n.1, p.1-19, 1995.
- BAUER, H.; WIERER, R.; HATHEWAY, W. H.; LARCHER, W. Photosynthesis of *Coffea arabica* after chilling. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.64, p.449-454, 1985.
- BERRY, J.; BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.31, p. 491–543, 1980.
- BIETO, J.A.; TALON, M. **Fisiologia y bioquímica vegetal**. Madrid: Interamericana; McGraw-Hill, 1996. p.537-553.
- BRIDSON, D. M. **Studies in Coffea and Psilanthus (Rubiaceae subfam. Cinchonoideae) for part 2 of Flora of Tropical East África: Rubiaceae**. Kew. Bulletin, v. 36, p. 817-859. 1982.
- CALBO, A.G. Senescência em folhas e migração de solutos. In: SODEK, L.; CASTRO, P.R.C.; NEVES, M. C. P. REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p.123-134.
- CAMARGO, A. P. Clima. In: **Cultura de café no Brasil**. Manual de recomendações. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1974. p.20-35.
- _____. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.13-26, 1985.

_____. Zoneamento de aptidão climática para a cafeicultura de arábica e robusta no Brasil. In: **Fundação IBGE, recursos, meio ambiente e poluição**. 1977. p.68-76.

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.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; SALATI, E. Determinación de la temperatura letal para hojas de café en noches de heladas. **Café**, Lima, v.3, n.8, p.12-15, 1967.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.486-494, Número especial Zoneamento Agrícola. 2001.

CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie Arábica. **Separata dos Boletins da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, n. 226-230, 1946.

_____. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds). **Coffee: agronomy**. London: Elsevier. 1988. p.129-165.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C.; TEIXEIRA, A. A.; GUERREIRO FILHO, O. Aproveitamento do café Excelsa (*Coffea dewevrei*) em misturas com o café Arábica (*C. arabica*). **Bragantia**, Campinas, p.335-343, 1990 (a).

CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Genetic relationships of selected *Coffea* species. **Ciência e Cultura**, São Paulo, p.151-165, 1967.

CARVALHO, A.; TEIXEIRA, A. A.; FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O. G. Qualidade da bebida em espécies e populações derivadas de híbridos interespecíficos de *Coffea*. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 2, p.281-290, 1990b.

CARVALHO, C. H. S.; RENA, A. B.; PEREIRA, A. A.; CORDEIRO, A. T. Relação entre produção, teores de N, P, K, Ca, Mg, amido e a seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.665-673, 1993.

CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.33, n.1, p.45-52, 1958.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: Clifford MN and Willson KC (eds) *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of beans and beverage*. **Croom Helm**, London, 1985. p 13-47.

_____. Principles and methods in coffee plant breeding: *Coffea canephora* Pierre. In: CLARK, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee agronomy**. London: Elsevier, 1988. p.167-195.

CHAVES FILHO, J. T.; OLIVEIRA, R. F. Variação sazonal do amido armazenado em ramos plagiotrópicos do cafeeiro. **Estudos**, Goiânia, v. 35, n. 1/2, p. 85-102, jan./fev. 2008.

CHEVALIER, A. **Les caféiers du globe**: systématique des caféiers et faux-caféiers, maladies et insectes nuisibles. Paris: Paul Lechevalier, 1947. Fascicule III.

CLARK, R. N.; HILER, E. A. Plant measurements as indicators of crop water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 4, p. 466-9, jul./ago. 1973.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Café**. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2_levantamento_2009.pdf >
Acesso em: 4 nov. 2009.

_____. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Café**. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/5cafe_10.pdf>. Acesso em: fev. 2010.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 70-75. 2005.

CRAMER, P. J. S. **A review of literature of coffee research in Indonesia**. Turrialba, Costa Rica: Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1957. (Miscellaneous publication, 15).

DA MATTA, F. M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: MATSUMOTO, S. N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Salvador: Uesb, 2004. p.87-118.

DRAKE, B. G.; SALISBURY, F. B. After effects of low and high temperature pretreatment on leaf resistance, transpiration, and leaf temperature in *Xanthium*. **Plant Physiology**, v. 50, p. 572-575, 1972.

DRINNAN, J. E.; MENZEL, C. M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v.70, p.25-34, 1995.

EVANGELISTA A. W. P.; CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.445-452, 2002.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; VEJA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, London, v.69, n.1, p.161-169, 1994.

FAZUOLI, L.C. Resistance of coffee to the root-knot nematode species *Meloidogyne exigua* and *M. incognita*. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA PROTECTION DES CULTURES TROPICALES, 1981, Lyon. **Resumes...** Lyon: Fondation Scientifique de Lyon et du Sud.-Est, 1981. p.57.

FERRAZ, E. C. **Estudo sobre o momento em que a geada danifica as folhas do cafeeiro**. 1968. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERREIRA, A.; CECON, P. R.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; SILVA, M. F.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1189-1195, 2005.

FONSECA, A. F. A. **Análises biométricas em café Conilon (*Coffea canephora* Pierre)**. 1999. 121f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FRANCO, C. M. Descoloração em folhas de cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, Campinas, v.15, n.13, p.131-135, 1956.

_____. Estrangulamento do caule do cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, Campinas, n.19, p.515-521, 1960.

FURLANI, A. M. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In: BATAGLIA, O. C.; MEDINA, C. L.; BOARETO, A. E. CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CAFÉ. **Resumos...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. p. 1-13.

GOLDEMBERG, J. Mudanças climáticas e desenvolvimento. **Estudos Avançados**. v. 14, n. 39, p. 77-83. 2000.

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

HÄLLGREN, J. E.; STRAND, M.; LUNDMARK, T. Temperature stress. In: RAGHAVENDRA, A.S. (ed). **Physiology of trees**. New York John Wiley & Sons, 1991. p. 301-335,

- HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN J. A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (SUIÇA). 1981. p.117 – 137.
- IPCC. **Mudança do clima 2007**: base das ciências físicas. Disponível em: <http://www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf> Acesso em: nov. 2009.
- IZHAR, S. E.; WALLACE, D. H. Studies of the physiological basis for yield differences. III. Genetic variation in photosynthetic efficiency of *Phaseolus vulgaris* L. **Crop Science**, v. 7, p. 457-460, 1967.
- JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.49, p. 387-398, 1998.
- JONES, M. M.; TURNER, N. C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficit. **Plant Physiology**, Maryland, v. 61, n. 1, p. 122-126, jan. 1978.
- JORDAN, D. B.; OGREN, W. L. The CO₂/O₂ specificity of ribulose, 1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. Dependence on ribulosebisphosphate concentration, pH and temperature. **Planta**, v. 161, p. 308-313, 1984.
- KAYS, E. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: V. N. Reinhold, 1991.
- KOZLOWSKI, T. T. Carbohydrates sources and sinks in wood plants. **The Botanical Review**, New York, v. 58, n.2, p.107-222, abr./jun.1992.
- KRUG, C. A.; CARVALHO, A. The Genetics of Coffea. **Advances in Genetics**, v. 4, p. 127-158, 1951.
- KRUG, C. A.; POERCK, R. A. **World coffee survey**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1968.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*: effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.16, n.1, p.13-19, 1980.
- LE QUÉRE, C.; RAUPACH, M. R.; CANADELL, J. G.; MARLAND, G.; BOPP, L.; CIAIS, P.; CONWAY, T. J.; DONEY, S. C.; FEELY, R. A.; FOSTER, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GURNEY, K.; HOUGHTON, R. A.; HOUSE, J. J.; HUNTINGFORD, C.; LEVY, P. E.; LOMAS, M. R.; MAJKUT, J.; METZL, N.; OMETTO, J. P.; PETERS, G. P.; PRENTICE, I. C.; RANDERSON, J. T.; RUNNING, S. W.; SARMIENTO, J. L.; SCHUSTER, U.; SITCH, S.; TAKAHASHI, T.; VIOVY, N.; VAN DER WERF, G. R.; WOODWARD, F. I. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature GeoSciences**. 2009.

LEBRUN, J. **Recherches morphologiques et systématiques sur /les ceféiers du Congo**. Bruxelles: Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belga, 1941.

LENINGHER, A. L., NELSON, D. L., COX, M. M. 1995. **Princípios de bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Savier.

LOPES, C. R. Estudos sobre as relações filogenéticas entre algumas espécies de *Coffea*. 1984. 171f. **Dissertação** (Livre-Docencia) – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Botucatu.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 7, p.1017-1022, 2002.

MARENGO, J. A. Impactos das condições climáticas e da variabilidade e mudanças do clima sobre a produção e os preços agrícolas: ondas de frio e seu impacto sobre a cafeicultura nas regiões sul e sudeste do Brasil. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. Cap.4, p.97-123.

MATIELLO, J. B. **Café conilon**: como plantar, tratar, colher, preparar e vender. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998.

_____. Clima e solos para o cafeeiro. In: **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: *Globo*, 1991. Cap. 2, p. 26-39.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Variedades de café**: como escolher, como plantar. Rio de Janeiro: MAA: SDR: PROCAFÉ: PNFC, 1997.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.

MEDINA FILHO, H. P.; CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Melhoria do cafeeiro: XXXVII. Observações sobre a resistência do cafeeiro ao bichomineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 36, p. 131-137, 1977.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G.; BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et BR. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, mar./abr. 2007.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. **Parecerias Estratégicas**, v. 12, p. 239-258. 2001.

NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v.17, p.93-102, 1968.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B.; CARMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana prata anã. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.527- 533, 2007.

PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, Número especial: Zoneamento Agrícola, p. 495-500. 2001.

PIRINGER, A. A.; BORTHWICK, H. A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San Jose, v. 5, n. 3, p. 72-77, 1955.

PUMA, L. C. V.; HUNER, N. P. A. Morphological, anatomical, and molecular consequences of growth and development at low temperature in *Secale cereale*. **American Journal of Botany**, v. 72, p. 1290-1306, 1985.

RENA, A. B.; PEREIRA, A. A.; BARTHOLO, G. F.; Teor foliar de minerais, conteúdo caulinar de amido e o depauperamento de algumas progênies de cafés resistentes à ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEÍREIRA, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...**Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p.169-170.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, p. 393-411, 2007.

SALATI, E.; SANTOS, A. A.; NOBRE, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. Disponível em: <www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: 25 jun. 2004.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore Agrícola e Comércio Ltda., 1996.

SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do Itapemirim, ES**. 1999. 59 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal Viçosa, 1999.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, Número especial: Zoneamento Agrícola. p. 501-509, 2001.

SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops**. Boca Raton: CRC Press, 1994. v. 2, p. 65-99.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, C. Y.; ERASMUS, B. F. N.; SIQUEIRA, M. F. de; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARVELD, A. S.; MIDGLEY, G. F.; MILLES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, T. A.; PHILLIPS, L. O.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, p. 145-148, 2004.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 61-67, 2005.

VU, J. C. V.; YELENOSKY, G. Photosynthetic characteristics in leaves of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown under high and low temperature regimes. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 27, p. 279-287, 1987.

WRIGLEY, G. **Coffee**. New York: Longman Scientific e Technical, 1988.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. A análise do efeito estufa em textos para-didáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, p. 325-349, dez. 2004.

3 ARTIGO A: TROCAS GASOSAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE QUATRO ESPÉCIES CAFEEIRAS

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* quanto às suas trocas gasosas e relações hídricas, no período de um ano, com a finalidade de fornecer suporte ao melhoramento genético destas espécies, na busca de sua adaptação às mudanças climáticas. Com o aquecimento global estão previstos aumentos entre 1,8 °C e 4 °C na temperatura média global até o final do século XXI, com impactos significativos nos ecossistemas. O café, que possui duas espécies de interesse no mercado internacional, *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta) poderá ser severamente afetado. Outras espécies sem valor comercial como *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa* poderão ser de grande importância nos programas de hibridação e de melhoramento genético das cultivares atuais, buscando ampliar a tolerância a condições climáticas desfavoráveis. Foram avaliados cafeeiros pertencentes à coleção de espécies de café do Instituto Agrônomo do Paraná localizada em Londrina, PR. As leituras de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foram realizadas mensalmente, em dias sem nuvens, no período de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008, em quatro plantas de cada espécie, utilizando-se uma câmara LICOR modelo LI6200. Para a avaliação das relações hídricas foram utilizados psicrômetros de termopar. Os resultados foram submetidos à análise de componentes principais. As espécies não apresentaram estresse hídrico mesmo nos períodos de menor precipitação. A espécie *C. canephora* apresentou maior estabilidade nas relações hídricas durante o período avaliado. A espécie *C. racemosa* se destacou por sua elevada capacidade fotossintética mesmo durante o inverno, o que a torna interessante para o melhoramento genético das espécies comerciais, visando adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: *Coffea arábica*. *Coffea canephora*. *Coffea dewevrei*. *Coffea racemosa*. Fotossíntese. Mudanças climáticas.

GAS EXCHANGE AND WATER POTENTIAL OF FOUR SPECIES OF COFFEA

Abstract

The objective of this study was to characterize gases exchange and water relations of *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* and *Coffea racemosa* in the period of one year, in order to gain knowledge to support breeding programs of these species, seeking adaptation to climate change. The IPCC (Intergovernmental Panel

on Climate Change) predicts an increase between 1.8 ° C and 4 ° C in the average global temperature by the end of this century, with significant impacts on the ecosystems. Coffee has two species of interest in the international market, *Coffea arabica* L. (Arabica) and *Coffea canephora* Pierre (robusta coffee) may be severely affected. Other species of non commercial value as *Coffea racemosa* and *Coffea dewevrei* may be importante in breeding programs and genetic improvement of cultivars seeking to increasing tolerance to adverse climate conditions. Coffee trees were evaluated from the collection of species coffee of the Agronomic Institute of Paraná located in Londrina, PR, Brazil. The readings of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were carried out monthly, in cloudless days from December 2007 to November 2008, in four plants chosen at random of each species, using a camera model LICOR LI6200. Thermocouple psychrometers were used for the evaluation of water relations. Plants were sampled randomly in the field and the results were submitted to principal components analysis with the software Statistica 5.0. The first two components explained 78.76% of data variability. The species showed no water stress even in periods of low rainfall. The species *C. canephora* showed higher stability in water relations and *C. dewevrei* had higher stability in gas exchange during the study period. The species *C. racemosa* was noted for its high photosynthetic capacity even in less favorable water conditions, showing that it is an important source for breeding of commercial species, in order to adapt to climate change.

Keywords: *Coffea arabica*. *Coffea canephora*. *Coffea dewevrei*. *Coffea racemosa*. Gas Exchange. Water relations.

Introdução

O cafeeiro pertence ao gênero *Coffea*, família *Rubiaceae*, formado por cerca de 100 espécies. Das espécies cultivadas apenas duas apresentam interesse no mercado internacional, *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta). Cerca de 70% do café comercializado no mundo é o arábica, que no Brasil corresponde a aproximadamente 80% do café plantado (BARROS et al., 1995; MATIELLO et al., 2002). Porém, outras espécies como *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, entre outras, são de grande importância nos programas de hibridação e de melhoramento genético, para transferência de alelos responsáveis por características agrônômicas desejáveis, relacionadas principalmente à tolerância à seca e resistência a pragas e doenças, para as duas espécies produzidas comercialmente (CARVALHO, 1946; KRUG; CARVALHO, 1951).

Com o aquecimento global, espera-se eventos climáticos mais extremos, com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes (Salati et al.,

2004). A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas (ASSAD et al., 2004).

Nas plantas, o aumento da temperatura aceleram as reações catalisadas enzimaticamente, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado à tolerância das plantas ao calor (BIETO; TALON, 1996). No caso do cafeeiro da espécie *Coffea arabica*, temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18°C e 22°C. A ocorrência freqüente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985; PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001).

A regulação da fotossíntese nos cafeeiros é influenciada pela temperatura, luminosidade, nutrição e estado hídrico da planta. A tensão hídrica pode afetar a fotossíntese de várias formas, provocando fechamento dos estômatos, aumento da resistência estomática, diminuição da atividade enzimática e acúmulo de amido nas células do mesófilo (FOURNIER, 1988). Pesquisas desenvolvidas por Nunes et al. (1968) em *C. arabica*, mostraram que a fotossíntese diminui em temperaturas acima de 24°C, aproximando-se de zero a 34°C.

Temperaturas entre 28 °C e 33 °C provocam uma redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro (DRINNAN; MENZEL, 1995). Previsões da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, relatam que a cultura do café será uma das mais afetadas com o aquecimento global. A produção atual, que é de, aproximadamente, 30 milhões de sacas, poderá diminuir em 2100 para 2,4 milhões de sacas, um prejuízo em torno de US\$ 375 milhões (EMBRAPA, 2008). A preservação do meio ambiente e a adaptação por meio do melhoramento genético, com variedades resistentes a altas temperaturas e à seca, e a introdução de novas culturas, são medidas que devem ser adotadas.

O objetivo do trabalho foi caracterizar as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, quanto as trocas gasosas e as relações hídricas no período de um ano, afim de fornecer subsídios para o melhoramento genético das espécies, buscando a adaptação destas às mudanças climáticas.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina, PR, (altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). Foram avaliados cafeeiros das espécies *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, pertencentes à coleção de espécies de café do Instituto Agrônomo do Paraná, com aproximadamente 20 anos. As leituras de fotossíntese foram realizadas entre as nove e as onze horas da manhã, em folhas desenvolvidas do terço médio de quatro plantas de cada espécie, escolhidas ao acaso, na primeira semana de cada mês, de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008, preferencialmente em dias de céu claro, sem nebulosidade e após ocorrência de chuva, para que as plantas não estivessem hidricamente estressadas. Utilizou-se um sistema portátil de fotossíntese, modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Foram avaliadas as taxas de fotossíntese líquida (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s ; $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e a transpiração (E ; $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). A partir desses valores também foi avaliada a eficiência do uso de água (EUA), que consiste na relação A/E .

Para a avaliação das relações hídricas foram utilizados psicrômetros de termopar (modelo C-30, Wescor, Inc., Logan, Ut, U.S.A.) acoplados a um datalogger (Campbell Scientific, Inc., Logan, Ut, U.S.A., modelo CR-7). A cada dia de leitura, discos foliares de aproximadamente 2 cm^2 , de quatro plantas de cada espécie, foram dispostos nos psicrômetros. O datalogger foi programado para que as leituras fossem efetuadas a cada dez minutos até que o equilíbrio da pressão de vapor na câmara fosse verificado. A microvoltagem fornecida pelo sistema foi convertida em potencial da água (MPa) em função de prévia calibração dos sensores com soluções de cloreto de sódio. Após a obtenção do potencial total da água (Ψ_t), os sensores foram imersos durante quatro minutos em nitrogênio líquido e as leituras retomadas para obtenção do potencial osmótico (Ψ_s). O cálculo do potencial de pressão foi realizado através de $\Psi_t - \Psi_s$.

Os valores médios de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, potencial hídrico total e potencial de pressão foram submetidos à análise de componentes principais utilizando o programa STATISTICA 5.0. Trata-se de um

método multivariado que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais, pertencentes a indivíduos ou populações, em um novo conjunto de variáveis, de dimensão equivalente, chamados componentes principais. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, construído de maneira a explicar o máximo da variabilidade total dessas variáveis originais e não-correlacionados entre si (STRAPASSON et al., 2000). Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficientes de correlação que variam de -1 até $+1$. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo. Autovalor é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados. Existe um autovalor para cada componente (GOMES et al., 2004). Matematicamente, o processo de extrair mais eixos pode ir até o número de eixos ou componentes igualar-se ao número de variáveis, porém os eixos posteriores vão contribuir cada vez menos para explicar os dados (KENT; COKER, 1992). Na maioria dos estudos, como no caso presente, usam-se apenas os dois primeiros eixos, considerados suficientes para explicar os dados e pela facilidade de interpretação de um gráfico em duas dimensões.

A técnica dos componentes principais tem a vantagem adicional de avaliar a importância de cada caractere estudado sobre a variação total disponível entre os acessos avaliados, possibilitando o descarte dos caracteres menos discriminantes, por já estarem correlacionados com outras variáveis ou pela sua invariância (DAHER et al., 1997).

Os dados de temperaturas mensais máximas, médias, mínimas e o balanço hídrico de Londrina (figura 3.1), foram obtidos junto ao Instituto Agronômico do Paraná, em Londrina – PR.

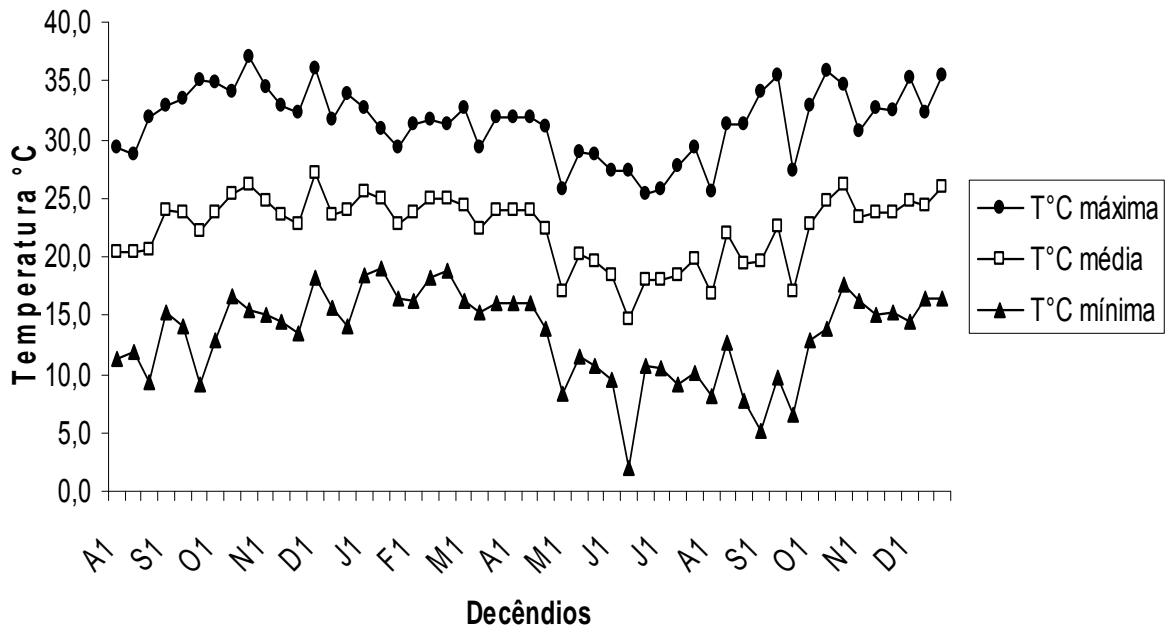


Figura 3.1 – Valores de temperaturas máximas, médias e mínimas decendiais do ar (°C), entre Agosto de 2007 e Dezembro de 2008 em Londrina, PR.

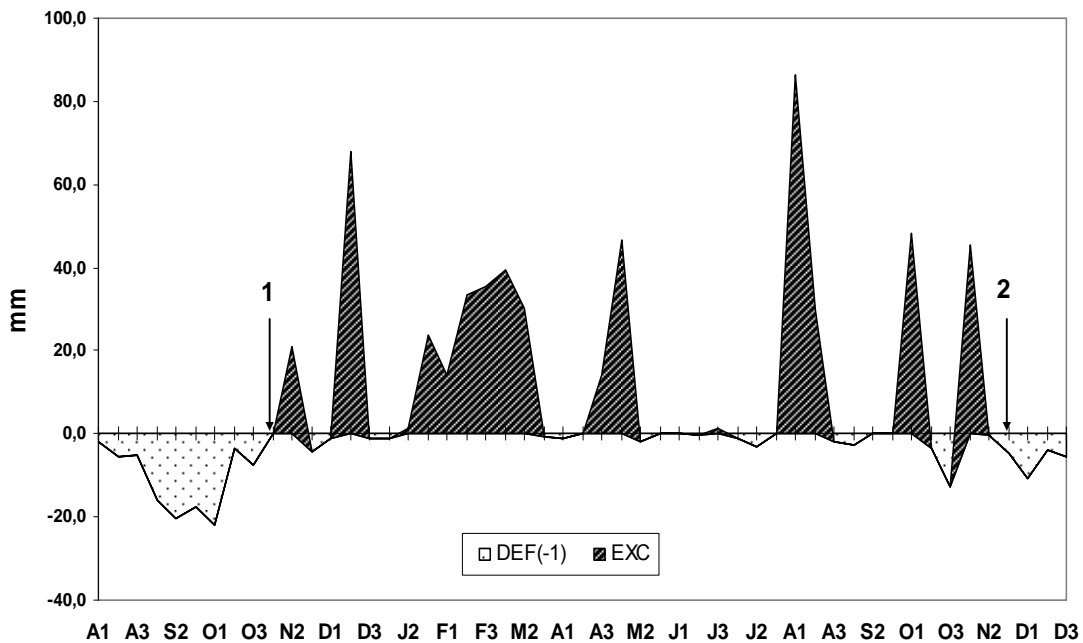


Figura 3.2 – Balanço hídrico da cidade de Londrina, PR, nos decêndios entre agosto de 2007 e dezembro de 2008, para a cultura do café, capacidade de água disponível= 125 mm. (1 = início do experimento e 2 = final do experimento)

Houve um déficit hídrico prolongado antes do início da coleta de dados, agosto a outubro de 2007, mas no período analisado observa-se que a disponibilidade hídrica para as plantas foi satisfatória (Figura 3.2). Após o encerramento das coletas de dados iniciou um novo período de deficiência hídrica.

Resultados e Discussão

Relações Hídricas na Folha

Os valores de potencial de pressão indicam que, durante o período avaliado, as plantas não sofreram estresse hídrico (Figura 3.3.), pois, tais valores positivos indicam turgidez nas células, ou seja, houve pressão na parede celular do conteúdo citoplasmático, o qual é constituído em sua essência por água. No mês de agosto de 2008, foi obtido o menor valor de potencial pressão, de -0,069 MPa em *C. racemosa*. No entanto tal valor não repercutiu em sintomas de deficiência hídrica pelas plantas (murcha foliar), por ser um valor muito próximo a zero. O potencial pressão é considerado o melhor indicador do estado hídrico da planta, pois tem relação direta com a expansão celular.

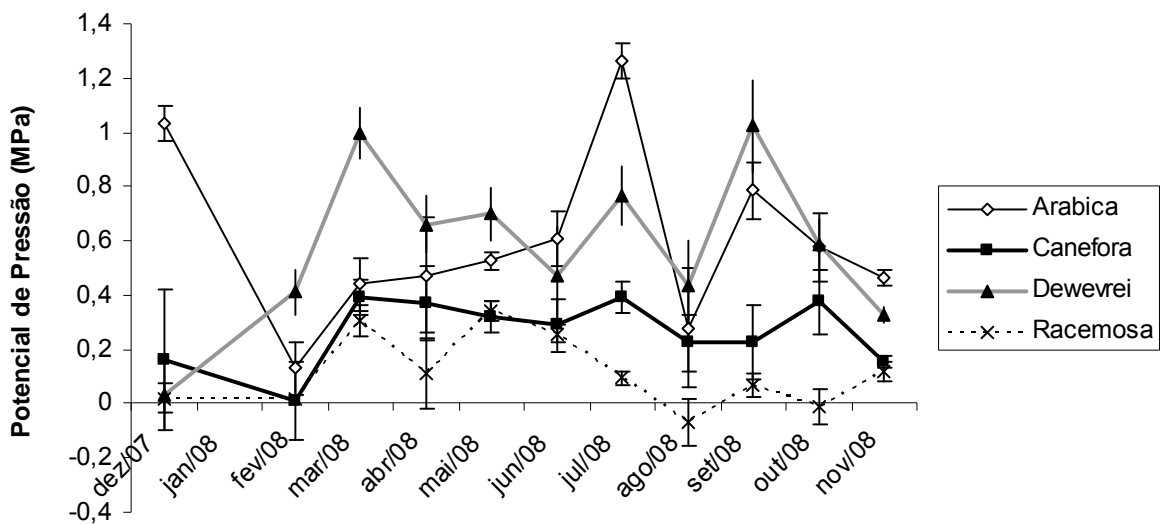


Figura 3.3 – Potencial de pressão (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

O potencial hídrico total esteve entre -0,69 e -2,34 MPa (Figura 3.4). Tal resultado, aparentemente elevado, é comum nas horas de demanda atmosférica mais elevada. A velocidade de perda de água por transpiração pelas folhas é maior que a velocidade de absorção de água pelas raízes, causando um déficit hídrico temporário nas plantas. Tal situação é mais comum em momentos pós-estresse, como a colheita, por exemplo, quando as plantas tendem a aumentar a taxa fotossintética, que é um sinal metabólico, enzimático e hormonal para suprir a necessidade de recuperação pós estresse mais agravante. Kumar e Tieszen (1980b) encontraram em cafeeiros arábica, valores de potencial hídrico em torno de -1,5 MPa a -1,8 MPa nos horários de maior demanda evaporativa da atmosfera (das 11 a 15 horas), mesmo não havendo restrições de água no solo. Segundo estes autores essa faixa alta de potencial hídrico pode ser prejudicial ao cafeeiro, pois contribui para a redução da fotossíntese líquida já que é um início de uma situação de estresse que pode se agravar se a demanda atmosférica e a absorção hídrica radicular deficitária perdurarem por muito tempo, afetando assim, a produção da cultura. Porém, a fotossíntese, neste caso, não foi prejudicada, muito provavelmente devido ao não prolongamento da alta demanda atmosférica e absorção de água pela raiz.

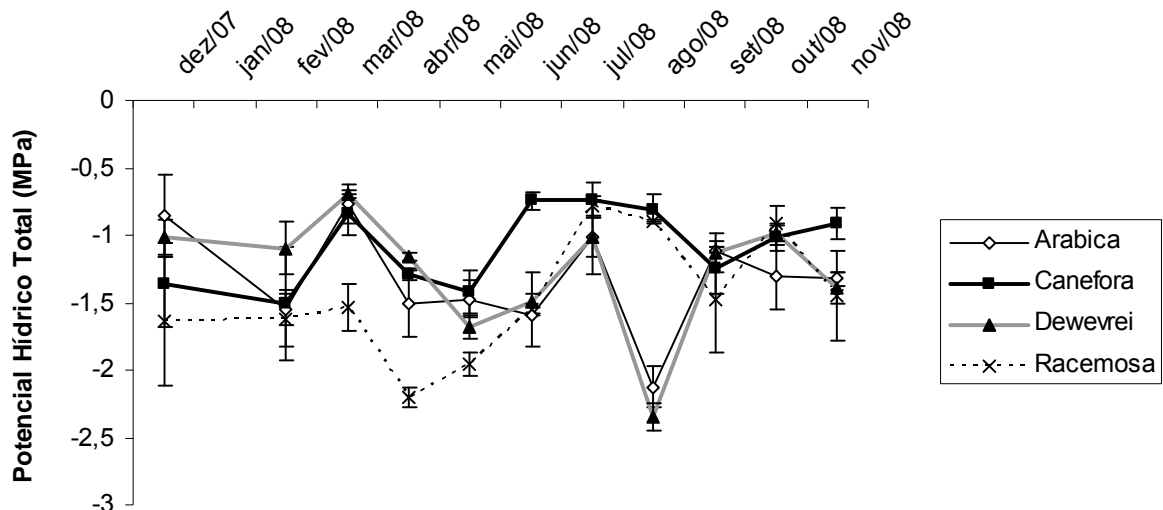


Figura 3.4 – Potencial Hídrico Total (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

A similaridade do comportamento entre potencial hídrico total e potencial osmótico (Figura 3.5), mostra que não houve ajustamento osmótico, e associados aos valores positivos de potencial de pressão, indicam que não houve estresse hídrico significativo para se afirmar que as variações nas trocas gasosas tenham sido influenciadas pela quantidade de água. Como forma de tolerância em casos de deficiência hídrica severa, as plantas promovem o influxo de água, através do acúmulo de solutos na célula, que reduz o potencial osmótico, em processo denominado ajustamento osmótico (ZHANG et al., 1992). De acordo com Chaves Filho (2000), a importância da manutenção do turgor nas células consiste na continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese.

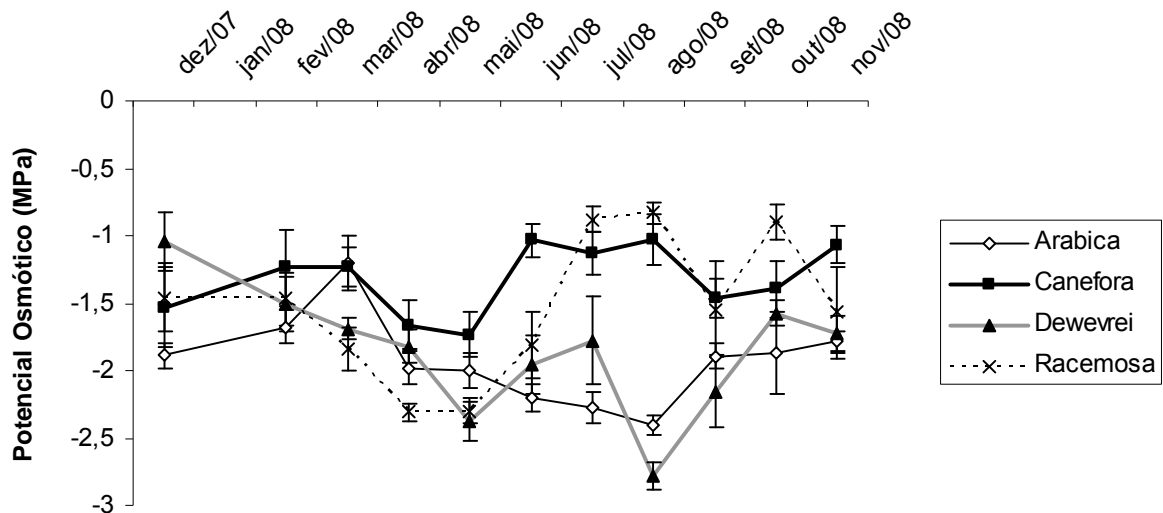


Figura 3.5 – Potencial Osmótico (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

Os potenciais hídrico total (Figura 3.3), osmótico (Figura 3.4) e de pressão (Figura 3.5) do *C. canephora* se mantiveram estáveis mesmo nos meses com baixa intensidade de chuvas. A maior quantidade e melhor distribuição de raízes secundárias, características desta espécie, podem proporcionar maior tolerância à seca, uma vez que em períodos de deficiência hídrica no solo, normalmente existe maior disponibilidade de água em níveis mais profundos,

possibilitando melhor suprimento de água e minerais para as plantas (ALFONSI et al. 2005).

Durante os meses mais chuvosos, dezembro de 2007 a março de 2008, os valores de potencial hídrico total das quatro espécies se mantiveram superiores a -1,6 MPa. Oliveira et al. (2006), encontraram ao meio dia, valores próximos a -3 MPa em cafeeiros arábica em monocultivo, não observando diferença entre as estações seca e chuvosa. Em fevereiro, as espécies canéfora e racemosa atingiram valores nulos de potencial de pressão, o que indica perda de turgor celular, porém, se recuperaram nos meses seguintes, não chegando ao ponto de ficarem hidricamente estressadas. Com a diminuição da precipitação nos meses de abril e maio houve também uma redução do potencial hídrico. Em junho e julho, apesar da deficiência hídrica, o potencial hídrico se elevou e voltou a cair em agosto, principalmente em *C. arabica* e *C. dewevrei*, que atingiram valores inferiores a -2 MPa.

Em agosto houve um grande volume de chuvas (Figura 3.2.), elevando os valores de potencial hídrico total em setembro de todas as espécies avaliadas, que se mantiveram entre -1,1 e -1,4 MPa até o mês de novembro. Em outubro houve um aumento do potencial hídrico total e do potencial osmótico da espécie racemosa, porém, os solutos que garantiram esses valores não foram suficientes para evitar a perda de água pela célula, que apresentou potencial de pressão a 0,01 MPa.

Trocas Gasosas e Eficiência do Uso de Água

Para avaliar, simultaneamente, as variáveis: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, potencial hídrico total e potencial pressão, e caracterizar as espécies, seus valores médios foram submetidos à análise de componentes principais (CP). Pode-se observar que o primeiro componente (CP1) é responsável por 53,46% da variabilidade entre as amostras e o segundo componente (CP2) explica mais 25,30%, totalizando 78,76% da variabilidade existente entre as amostras (Figura 3.6). Observa-se que a fotossíntese, a condutância e a transpiração estão positivamente correlacionadas ao CP1 (Tabela 3.1). Estas variáveis são altamente relacionadas, já que os valores de condutância

estomática indicam a abertura dos estômatos, responsáveis pelas trocas gasosas da fotossíntese e pela saída de H₂O por transpiração.

Tabela 3.1 – Correlações entre fatores e as variáveis fotossíntese (FOTO), condutância estomática (COND), potencial de pressão (POT PR), potencial total (POT TOT) e transpiração (TRANS).

	CP1	CP2
FOTO	0,875	-0,194
COND	0,822	0,517
POT PR	-0,460	0,581
POT TOT	-0,454	0,699
TRANS	0,902	0,365

O potencial de pressão e o potencial hídrico total estão positivamente correlacionados com o segundo componente (CP2).

A partir dos escores de cada amostra, juntamente com a análise por espécies, foi possível fazer uma distribuição espacial das amostras considerando os dois componentes simultaneamente (Figura 3.6.).

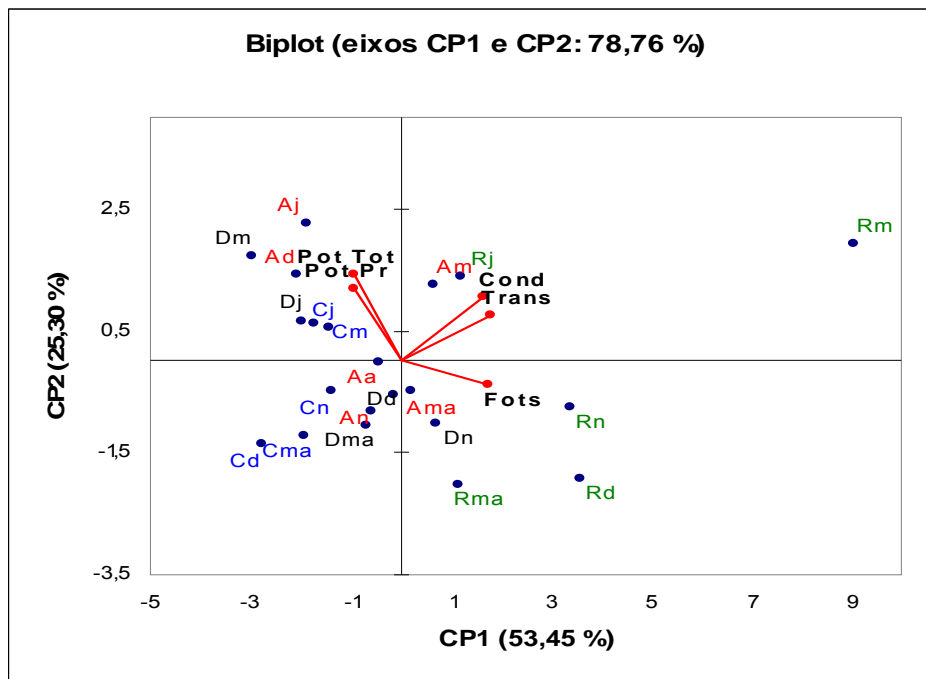


Figura 3.6 – Projeção das variáveis e das amostras no plano fatorial dos componentes principais CP1 e CP2. (Cond: condutância estomática, Trans: transpiração, Fots: fotossíntese, Pot Tot: potencial total, Pot PR: potencial pressão, A: *C. arabica*, C: *C. canephora*, D: *C. dewevrei*, R: *C. racemosa*, d: dezembro, m: março, a: abril, ma: maio, j: julho, n: novembro).

As menores taxas fotossintéticas foram observadas no período do inverno, entre os meses de junho e agosto, com exceção da *C. racemosa*, o mês de julho, das demais espécies, se encontraram no quadrante superior esquerdo. Isto se deve, principalmente, à ocorrência de baixas temperaturas (Figura 3.1.), já que, como visto anteriormente, de acordo com os valores do potencial de pressão, as plantas não sofreram estresse hídrico no período avaliado. Nas plantas sob condições de frio existe menos energia metabólica disponível, restringindo a absorção de água e de nutrientes, os processos de biossíntese ocorrem em menor intensidade, a assimilação é reduzida e o crescimento é diminuído (LARCHER, 2000).

Entre as espécies cultivadas comercialmente, arábica e canéfora, *C. arabica* apresentou maior taxa de fotossíntese líquida no período analisado (Figura 3.7), com as taxas médias de fotossíntese líquida entre 3,13 e 6,07 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, com seu ponto mais alto em setembro, após um longo período de seca. Oliveira et al. (2006), também encontraram valores próximos a estes quando avaliaram esta espécie em monocultivo, 4,5 e 6,5 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, nas estações chuvosa e seca, respectivamente.

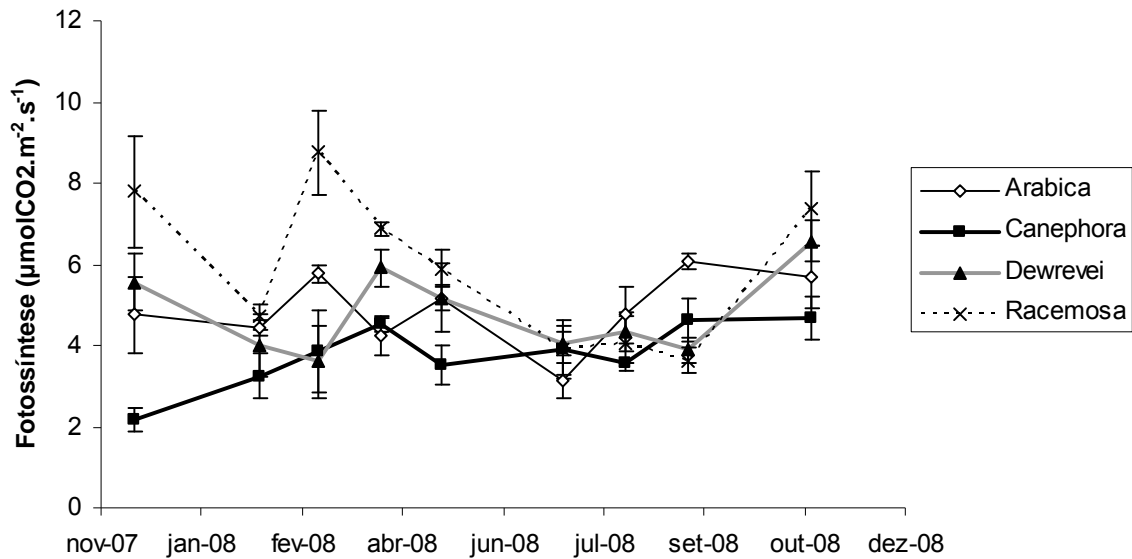


Figura 3.7 – Valores médios de Fotossíntese ($\mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewvevei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

De abril até junho, segundo Santinato et al. (1997), há drástica redução do crescimento vegetativo do cafeeiro arábica, que praticamente pára em julho. Comparando as quatro espécies nesse mês de Julho, o café arábica apresentou a menor taxa fotossintética. Segundo DaMatta et al. (1997), o aumento no conteúdo de amido nas folhas do cafeeiro durante o inverno explicaria, em parte, a acentuada inibição da fotossíntese potencial a baixa temperatura. Para Silva (2000), o acúmulo de amido nas folhas no período frio (maio a julho) é uma consequência da redução das taxas de crescimento e causaria a inibição da fotossíntese nesse período.

A colheita foi feita em julho, e em agosto/setembro no início do período chuvoso, o cafeeiro e a taxa fotossintética voltaram a crescer, atingindo a taxa mais alta no mês de Setembro, quando o valor de condutância estomática foi de $0,14 \text{ mol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 3.8). Observa-se também que nos meses de Dezembro/2007 e Outubro, Novembro/2008, quando ocorreram as temperaturas mais elevadas (Figura 3.1), houve uma diminuição da fotossíntese, o que confirma os resultados obtidos por Drinnan e Menzel (1995), que observaram redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro arábica em temperaturas entre 28°C e 33°C .

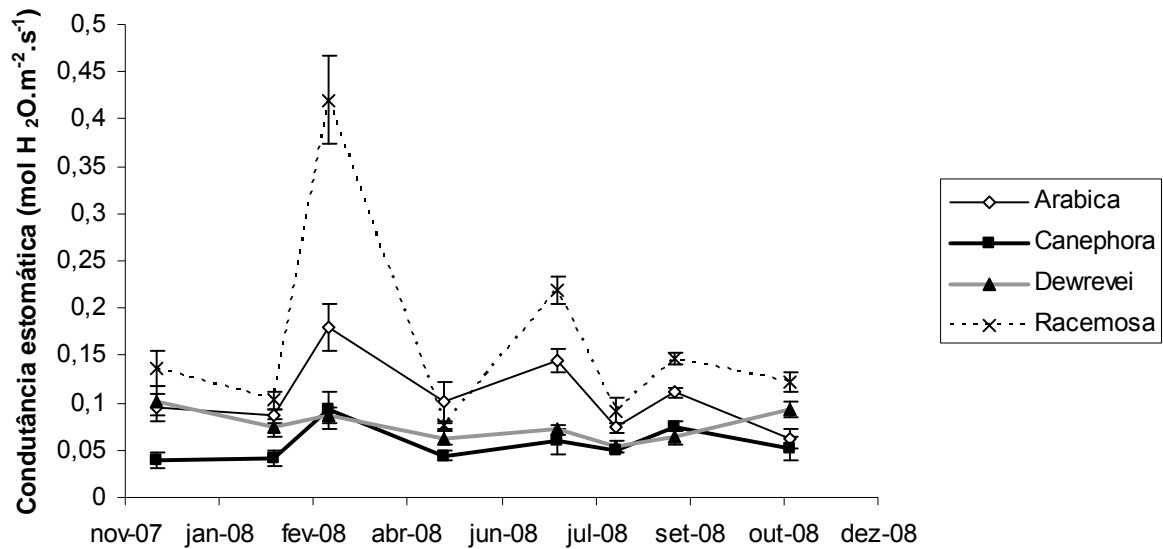


Figura 3.8 – Valores médios de Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewvevei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

Em *C. racemosa* as taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foram mais altas mesmo quando o potencial hídrico foi inferior, em relação às demais espécies, com exceção dos meses de Julho, Agosto e Setembro, quando sua taxa fotossintética foi inferior, como pode ser visto mais detalhadamente na figura 3.7. A transpiração se elevou nesse período graças à característica da espécie de permanecer com os estômatos abertos quando, devido à reduzida taxa fotossintética causada pelas baixas temperaturas, a perda de água foi maior que a entrada de CO_2 (Figura 3.9). A taxa fotossintética mais alta foi em Março, $8,76 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, quando a condutância estomática foi de $0,42 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e a transpiração $9,13 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Mesmo apresentando valores de potencial hídrico total, $-1,53 \text{ MPa}$, e potencial de pressão $0,30 \text{ MPa}$, a espécie *C. racemosa* apresentou altos valores fotossintéticos, porém, no mês de Setembro, quando o valor do potencial de pressão chegou a $-0,069 \text{ MPa}$, ocorreu a taxa mais baixa de fotossíntese, $3,63 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Isto pode ser atribuído principalmente ao aumento da temperatura (Figura 3.1) e à redução da precipitação (Figura 3.2) que ocorreram neste período. Esses resultados concordam com trabalhos nos quais se observaram que temperaturas elevadas (NUNES et al., 1968; KUMAR; TIESZEN, 1980; CANNELL, 1985; FAHL et al, 1992) e maior déficit de pressão de vapor do ar

(HERNANDEZ et al., 1989) causam decréscimos na fotossíntese e na condutância estomática em folhas de plantas de café.

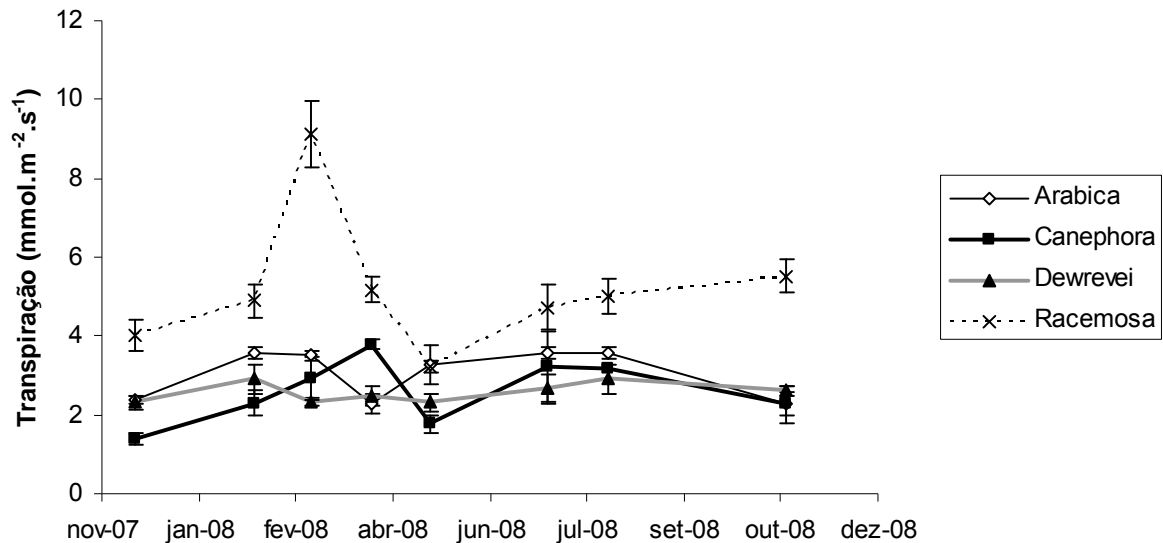


Figura 3.9 – Valores médios de Transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewvevei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

Estes altos valores fotossintéticos encontrados em *C. racemosa* durante a maior parte do período avaliado, podem estar associados à maior concentração e eficiência dos estômatos desta espécie. Grisi et al. (2008), avaliando a anatomia foliar em mudas de café, após 10 dias sem irrigação, observaram em um híbrido de *C. racemosa*, menor quantidade de espaços intercelulares, células mais justapostas e cutícula bastante espessa em relação à *C. arabica*. Em condições xéricas, a folha necessita aproveitar o tempo limitado de alta umidade relativa para realizar as trocas gasosas, o que poderá ser mais eficiente quanto maior for a área estomática útil (MEDRI; LLERAS, 1980). De acordo com Fahn (1977), em plantas com alta capacidade fotossintética, a pouca ocorrência de espaços intercelulares no mesofilo, representa uma vantagem adaptativa. Ramiro et al. (2004) observaram que a cutícula adaxial, as epidermes adaxial e abaxial foram significativamente mais espessas em *C. racemosa*, quando comparadas ao *C. arabica*, sugerindo que estas características possuem importante fator genético, podendo ser consideradas como próprias dessa espécie.

Na *C. canephora*, as taxas de fotossíntese líquida foram, de maneira geral, inferiores às demais espécies em todos os meses analisados (Figura 3.7). Tal resultado concorda com DaMatta et al. (1997) e Praxedes et al. (2006), que

observaram que as taxas fotossintéticas desta espécie são relativamente baixas. Nesta espécie a menor taxa de fotossíntese líquida ocorreu no mês de dezembro de 2007 ($2,17 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) quando iniciou-se a granação dos frutos. Em novembro/2008, obteve-se a maior taxa de fotossíntese líquida, $4,67 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, quando ainda assim, foi inferior às taxas das demais espécies. Lima et al. (2002) também observaram menores taxas fotossintéticas em plantas de *C. Canephora* de 10 meses de idade, cultivadas em vasos e em casa de vegetação.

Na espécie *C. dewevrei*, a fotossíntese esteve entre 3,59 e 6,56 $\mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em março e novembro, respectivamente. As plantas apresentaram uma diminuição nas taxas de fotossíntese líquida no período dos meses mais frios e só voltaram a se recuperar no mês de novembro. Nas condições estudadas, *C. dewevrei* apresentou produção durante todo o período.

A *C. dewevrei* foi a que apresentou a maior eficiência do uso de água (EUA), com exceção dos meses de fevereiro e março. As maiores taxas de EUA ocorreram em períodos chuvosos, já que a disponibilidade de água é determinante para essas taxas (Figura 3.10). Esta variável se relaciona com as taxas fotossintéticas e transpiratórias, e conferem um indicativo da quantidade de carbono fixado durante a fotossíntese por unidade de água transpirada.

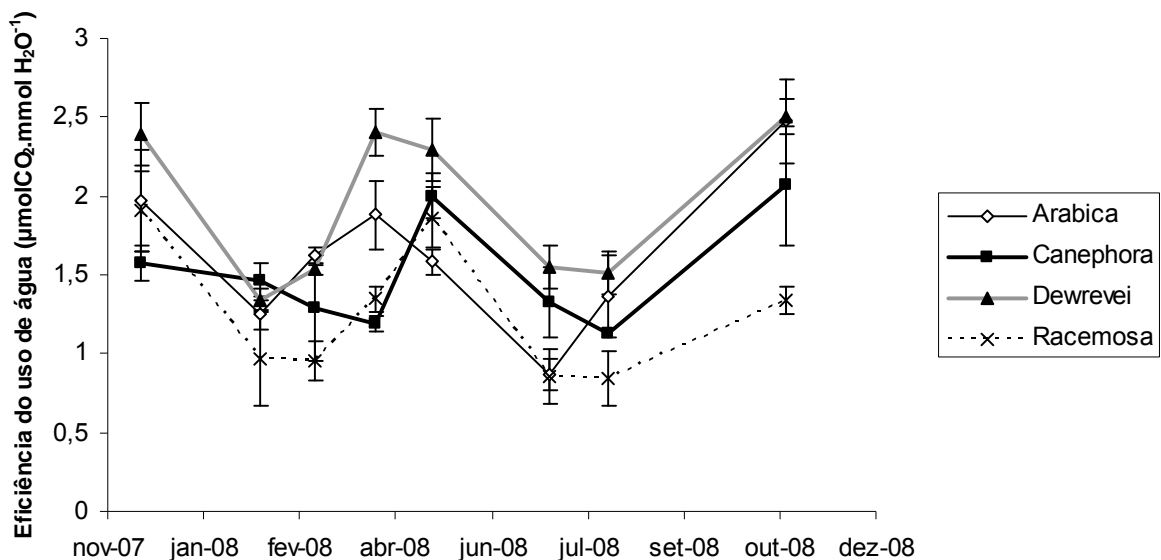


Figura 3.10 – Valores médios de Eficiência do Uso de Água ($\mu\text{molCO}_2.\text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

De acordo com Mazzafera e Guerreiro Filho (1991), parece possível, a princípio, selecionar cafeeiros mais produtivos, com base nas taxas fotossintéticas de plantas no estágio inicial de desenvolvimento. Porém, Campostrini (1994) realizou estudos comparando fotossíntese e produtividade de cinco genótipos de café (*C. canephora*), com baixa, média e alta produtividade, e verificou que todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, demonstrando que a diferença em produtividade não está relacionada à capacidade fotossintética.

Conclusões

- 1- Mesmo nos períodos de menor precipitação, nas condições avaliadas, as espécies não apresentaram estresse hídrico.
- 2- A espécie *C. canephora* apresentou maior estabilidade nas relações hídricas durante o período avaliado.
- 3- A espécie *C. racemosa* se destaca por sua elevada capacidade fotossintética mesmo em condições hídricas menos favoráveis, o que a torna interessante para o melhoramento genético das espécies comerciais visando adaptação às mudanças climáticas.

Referências

ALFONSI, E. L.; FAHL, J. L.; CARELLI, M. L. C.; FAZUOLI, L. C. Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de *Coffea* com potencial para utilização como porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 1-13, 2005.

ASSAD, E.D.; PINTO, H. S.; ZULLO JR., J.; ÁVILA, A. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.

BIETO, J. A.; TALON, M. **Fisiologia y bioquímica vegetal**. Madrid: Interamericana; McGraw-Hill, 1996. p. 537-553.

CAMARGO, A. P. C. Clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, n. 126, p. 13-26, 1985.

CAMPOSTRINI, E. **Potencialidade fotossintética de cinco genótipos de *Coffea Canephora* Pierre**. 1994. 40 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Karnataka, v. 5, n. 1/2, p. 7-20, 1985.

CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie Arabica. **Separata dos Boletins da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, p. 226-230, 1946.

CHAVES FILHO, J. T. **Relações entre estresse hídrico e ajustamento osmótico em plantas de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hil.)**. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

DAHER, R. F.; MORAES, C. F.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. V.; XAVIER, D. F. Seleção de caracteres morfológicos discriminantes em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, p. 265-270, 1997.

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. **Photosynthetica**, v. 34, p. 257-264, 1997.

DRINNAN, J. E.; MENZEL, C. M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v. 70, p. 25-34, 1995.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo, 2008.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; MAGALHÃES, A. C. Medida da fotossíntese líquida por cromatografia a gás em folhas intactas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 15, p. 57-65, 1992.

FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford: Pergamon, 1977. 611 p.

FOURNIER, L. A. El cultivo del caféto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico. **Agronomia Costarricense**, v. 12, n. 1, p. 131-146, 1988.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 137-153, 2004.

GRISI, F. A.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. A. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'catuai' e 'siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, nov./dez. 2008.

HERNANDEZ, A. P.; COCK, J. H.; EL-SHARKAWY, M. A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 1, p. 155-161, 1989.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis**. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 1992. 363p.

KRUG, C. A.; CARVALHO, A. The genetics of coffee. **Advances in Genetics**, v. 4, p. 127-158, 1951.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* II: effects of water stress. **Experimental Agriculture**, London, v. 16, p. 21-27, 1980b.

_____. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I.: effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, jan. 1980a.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa. 2000.

LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 239-247. 2002.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.

MAZZAFERA, P.; GUERREIRO FILHO, O. **A produtividade do cafeeiro**. Campinas: IAC, 1991.

MEDRI, M. E.; LLERAS, E. Aspectos da anatomia de folhas de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, Set. 1980.

NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 17, p. 93-102, 1968.

OLIVEIRA, C. R. M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras, MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, Número especial: Zoneamento Agrícola. p. 495-500, 2001.

PRAXEDES, S. C.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E.; FERRÃO, M. A. G.; CORDEIRO, A. T. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. **Environmental and Experimental Botany**. v. 56, p. 263–273. 2006.

RAMIRO, D. A.; GUERREIRO-FILHO, O.; VOLTAN, R. B. Q.; MATTHIESEN, S. C. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 363-367, 2004.

SALATI, E.; SANTOS, A. A.; NOBRE, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. Disponível em: www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: 25 jun. 2004.

SANTINATO, R.; FERNANDES, L. T.; FERNADES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. São Paulo: Arbore, 1997.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento Agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, Número especial: Zoneamento Agrícola, p. 501-509, 2001.

SILVA, E. A. **Periodicidade do crescimento vegetativo em Coffea arabica L.: relações com a fotossíntese em condições de campo**. 2000. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STRAPASSON, E.; VENCOSKY, R.; BATISTA, L. A. R. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 373-381, 2000.

ZHANG, X., MESIROV, J. P., WALTZ, D. L. Hybrid system for protein secondary structure prediction. **Journal of Molecular Biology**. v. 225, p. 1049–1063, 1992.

4 ARTIGO B: MACRONUTRIENTES, GLICOSE, SACAROSE E AMIDO PRESENTES EM FOLHAS DE QUATRO ESPÉCIES CAFEIRAS

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variação sazonal dos macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além dos açúcares redutores, açúcares totais e amido, presentes em folhas de cafeeiros das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, durante um ano. O café é uma das mais importantes culturas do Brasil, que é o maior produtor e exportador mundial. No Brasil, a maioria das espécies cafeeiras floresce entre os meses de setembro e novembro e tem maturação dos grãos entre maio e junho. As exigências nutricionais do cafeeiro variam entre espécies, de ano a ano e durante o ano. Entre dezembro de 2007 e novembro de 2008 foram avaliadas folhas de quatro plantas de cada espécie pertencente à coleção de espécies de café do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina – Paraná. As determinações analíticas das amostras foram efetuadas conforme método utilizado no laboratório de solos deste mesmo instituto e as quantificações de açúcares totais, açúcares redutores e amido foram feitas segundo a metodologia de Somogyi-Nelson. Foi realizada comparação das médias com Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR. A variação genética influenciou nas diferenças no conteúdo de nutrientes entre as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*. A maior concentração de carboidratos de reserva ocorreu no período do inverno, quando o metabolismo das plantas diminuiu. A espécie *C. dewevrei* apresentou as maiores concentrações de açúcares redutores e totais e a espécie *C. racemosa* a maior concentração de amido.

Palavras-chave: Açúcares redutores. Açúcares totais. *Coffea Arabica*. *Coffea dewevrei*. *Coffea canephora*. *Coffea racemosa*.

MACRONUTRIENTS, GLUCOSE, SUCROSE AND STARCH IN LEAVES OF FOUR SPECIES OF COFFEA

Abstract

The objective of this study was to characterize the seasonal variation of the macronutrients: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium, in addition to reducing sugars, total sugars and starch present in leaves of plants of the species *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* and *Coffea racemosa*, during one year. Coffee is one of the most important crops in Brazil, which is the largest producer and exporter country. Most coffee species has flowering between September and November and grain maturity between May and June. The

nutritional requirements of coffee vary between species, from year to year and during the year. Between December 2007 and November 2008 were evaluated leaves of four plants of each species from the collection of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in Londrina – Paraná, Brazil. The analytical determinations of the samples were performed according to the methodology used in the Soil Laboratory of IAPAR and levels of total sugars, reducing sugars and starch were determined following the method of Somogyi-Nelson. Comparisons of means were performed with the Tukey test at 5% probability using the program SISVAR. Genetic variation influenced the differences in nutrient content between the species *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* and *C. racemosa*. The highest concentration of reserve carbohydrates occurred during the winter, when plant metabolism decreases. The species *C. dewevrei* showed the highest concentrations of total and reducing sugars and *C. racemosa* had the highest concentration of starch.

Keywords: Nutrients. Reducing sugars. Total sugars. Starch. *Coffea arábica*. *Coffea dewevrei*. *Coffea canephora*. *Coffea racemosa*.

Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo, com uma safra prevista de aproximadamente 46,7 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado em 2010 (IBGE, 2010). Sua cultura teve grande influência na colonização e no desenvolvimento do país, ocupando posição de destaque em seu cenário econômico e social (FONSECA, 1999).

Durante a formação do cafeeiro e nos diversos estádios de seu desenvolvimento, a concentração e o conteúdo dos elementos acumulados variam. O consumo de nutrientes e o acúmulo de matéria seca são intensificados a partir do quarto mês após a floração (MORAES; CATANI, 1964). Matiello et al. (2002), também constataram que a quantidade de nutrientes exigida nas fases de florada e chumbinho é pequena, aumentando significativamente a partir da passagem dos frutos para o estágio verde aquoso a verde sólido, na granação, até a maturação dos frutos. Segundo Laviola et al. (2007), cerca de 73 % do crescimento vegetativo ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes para frutificação também concentrado nesse período. Catani et al. (1965) constataram que o nitrogênio, potássio e cálcio são absorvidos intensamente com o aumento da idade do cafeeiro, enquanto o fósforo e o magnésio são absorvidos de modo menos pronunciado.

Nas folhas ocorre um decréscimo na concentração dos principais macronutrientes durante a formação dos frutos, como demonstrado por Catani et al.

(1967) e Hiroce (1981). Depois que a folha do cafeeiro termina sua expansão ela passa a ser potencial exportadora de nutrientes (VALARINI et al., 2005). A migração de fotoassimilados e elementos minerais móveis para drenos, como frutos e raízes, é resultado da degradação de compostos celulares que pode causar a queda da folha (CALBO, 1989).

Os carboidratos de reserva são armazenados nas plantas lenhosas em estruturas como raízes, caule, ramos, gemas e folhas. Constituem importantes fontes de energia e de compostos metabólicos utilizados no desenvolvimento da planta, principalmente nas fases de crescimento vegetativo e reprodutivo, que são fases de maior demanda (KOZLOWSKI, 1992). Segundo Kays (1991), os carboidratos são os constituintes bioquímicos mais abundantes nos vegetais, que além de importantes fontes de energia, compõem a parte estrutural das células.

Os açúcares predominantes nos grãos do café são os não-redutores, principalmente a sacarose (MENDONÇA et al., 2007), que devido a sua rápida degradação em glicose e frutose, é responsável, segundo Carvalho et al. (1989), pela origem da cor marrom do café durante o processo de torração, além de reagirem com aminoácidos, produzindo compostos voláteis que apresentam grande efeito no aroma do produto final. Em espécies perenes, como citros e cafeeiros, as reservas são direcionadas para a manutenção e o crescimento das plantas, além de serem importantes para reduzir os efeitos da variação sazonal do suprimento de energia no metabolismo da planta (SYVERTSEN; LLOYD, 1994).

As exigências nutricionais do cafeeiro variam entre espécies, de ano a ano e durante o ano. O conhecimento da dinâmica dos nutrientes minerais e dos carboidratos no cafeeiro é importante para identificar o período de maior exigência nutricional pela planta e, dessa forma, melhorar a eficiência das práticas de adubação. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a variação dos macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além dos açúcares redutores, açúcares totais e amido, presentes em folhas de cafeeiros das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, e suas relações com as diferentes fases fenológicas do cafeeiro.

Material e Métodos

Foram avaliados cafeeiros das espécies *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, com aproximadamente vinte anos, pertencentes à coleção de espécies de café do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), em Londrina, PR, (altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). As plantas de *C. arabica* e *C. canephora* foram recepadas após a geada de 2000. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999). As plantas foram conduzidas conforme recomendações técnicas atuais e as adubações realizadas estão na tabela 4.1. O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é 21°C, a média do mês mais quente é 24°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 17°C (junho). A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Tabela 4.1 – Adubações realizadas nos cafeeiros (g/cova) e datas de aplicações.

Mês/ano	NPK (20-5-20)	Uréia
Março/2007	70	60
Outubro/2007	70	60
Janeiro/2008	80	70
Abril/2008	80	70
Outubro/2008	80	70

Foram coletadas folhas desenvolvidas, localizadas no terço médio de quatro plantas de cada espécie, escolhidas ao acaso, na primeira semana de cada mês, de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008, que foram mantidas em estufa a 60°C até obtenção de peso constante. Foi utilizado para comparação das médias o Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR.

As determinações analíticas das amostras foliares foram efetuadas conforme método utilizado pelo laboratório de solos do IAPAR, descrito por Miyazawa et al. (1992).

Para extração dos açúcares as folhas foram secas em estufa e maceradas em moinho de bola, 200 mg de cada amostra macerada foram colocadas em 20 mL de solução hidroalcoólica 80%. Após fervura em banho-maria a 85°C por 30 minutos, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante vertido em um Becker, este procedimento foi repetido três vezes e a junção dos sobrenadantes fervido, em banho-maria a 100°C, para a evaporação do álcool.

Para a determinação do amido, ao corpo de fundo foram adicionados 4 mL de NaOH 0,5M, agitado e aquecido em banho-maria a 70°C por 30 minutos, após ser centrifugado a 2000 rpm por 15 minutos, foram retirados 2 mL do sobrenadante e adicionados 20 mL de HCl a 0,7M, que foram levados ao banho-maria a 100°C para fervura durante 2 horas, logo após foi neutralizado com NaOH 20% , o volume completado a 50 mL e filtrado (ZHANG et al., 1992). O extrato foi diluído com água destilada para um volume de 50 ml que foi filtrado e determinada a concentração de açúcares redutores. Desta solução filtrada foram retirados 30 mL e adicionados 5 mL de HCl 1:1, que foi mantido por 16 horas em temperatura ambiente e neutralizado com NaOH, a solução foi diluída até o volume de 100 mL onde foram dosados os açúcares totais (SOUTHGATE, 1976). As leituras foram feitas segundo a metodologia Somogyi-Nelson (NELSON, 1944), em espectrofotômetro a 535 nm, utilizando-se uma curva padrão construída a partir de uma solução de glicose (100 mg/mL) com intervalo de 0 a 10 µg.

Resultados e Discussão

Foram observadas diferenças significativas nos teores médios de macronutrientes nas folhas, entre espécies e entre os meses analisados (Tabela 4.2. – Apêndice A). O teor de nitrogênio nas folhas foi mais baixo entre os meses de dezembro/2007 a maio/2008 (Figura 4.1.), quando ocorre o crescimento dos frutos que drenam os nutrientes presentes nas folhas, com exceção da *C. racemosa* que é uma espécie precoce. Catani et al. (1967) e Hiroce (1981) também atribuíram, em parte, a remobilização para o fruto, Malavolta (1965) atribuiu à diminuição do teor de nitrogênio nas folhas, um período de seca prolongado e elevada produção de frutos. Valarini et al. (2005), também encontraram decréscimo no teor de macronutrientes nas folhas de café neste período, com concentrações médias de nitrogênio variando

entre 31 e 28,2 g kg⁻¹. Entre os meses de maio e agosto, período de dormência, a concentração de nitrogênio se eleva e sofre uma nova queda em setembro, com a ocorrência da primeira florada, declinando novamente a partir de novembro quando se inicia o período de crescimento dos frutos. Além disso, segundo Malavolta et al. (2002), em anos de baixa produção a formação de novos ramos, folhas e raízes, substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes.

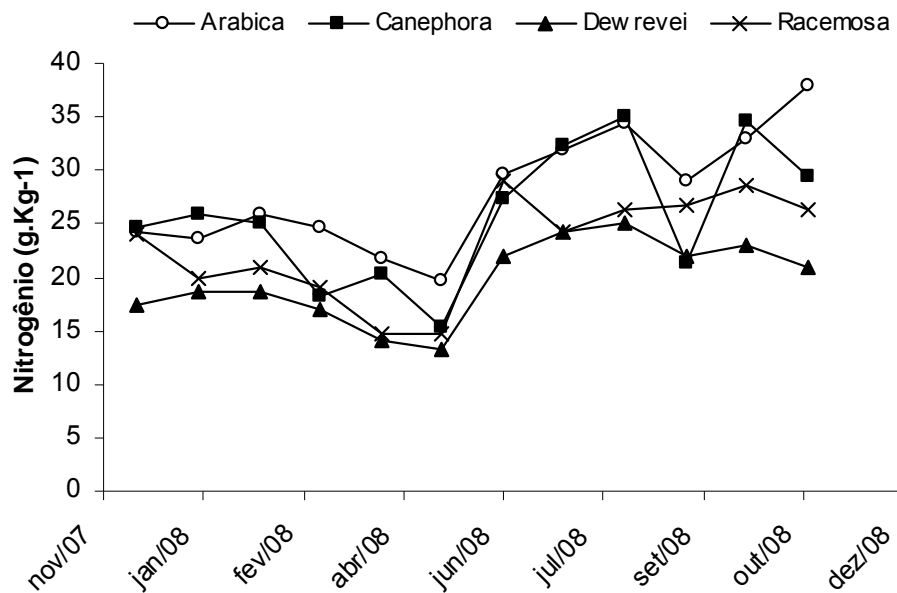


Figura 4.1 – Teor de nitrogênio (g.kg⁻¹) em matéria seca de folhas de *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, por períodos de amostragem. Londrina – PR.

As espécies *C. arabica* e *C. canephora* apresentaram os maiores valores de nitrogênio na folha durante todo o período avaliado, seguidas de *C. racemosa* e *C. dewevrei*. Como as espécies receberam manejo semelhante, as diferenças entre os conteúdos de nutrientes devem-se à variação genética, ao grau de intensidade de demanda pelos drenos e às interações entre os nutrientes, conforme observado por Barros et al. (1978).

A concentração de fósforo apresentou pouca variação entre as espécies e entre os meses, não sendo significativa em nenhum dos casos (Tabela 4.2.). A média encontrada variou entre 0,66 g.kg⁻¹ e 1 g.kg⁻¹, que segundo Martinez et al. (2000), está abaixo da faixa recomendável, de 1,2 a 1,7 g.kg⁻¹, encontrada por eles em lavouras de *C. arabica* no sul de Minas. Valarini et al. (2005) encontraram

concentrações entre 1,4 e 1 g kg⁻¹, entre os meses de dezembro e maio, em quatorze diferentes cultivares de *C. arabica*. Quando comparada aos demais macronutrientes a exigência de fósforo no crescimento e desenvolvimento do cafeeiro, são relativamente pequenas, o que segundo Malavolta et al. (1974), explica o fato de raramente serem encontrados sintomas de deficiência desse elemento no campo.

A espécie *C. dewevrei* apresentou durante todo o período concentração de potássio significativamente menor que as demais espécies avaliadas, com exceção do mês de fevereiro, onde as médias entre as espécies não diferiram (Figura 4.2.). Em *C. arabica*, *C. canephora* e *C. dewevrei* houve uma redução do teor de potássio entre os meses de abril e setembro, período entre colheita e início da floração. Contrariando Valarini et al. (2005), que observaram uma diminuição acentuada na concentração de potássio entre dezembro e fevereiro, fase de fruto “chumbinho”. Os valores encontrados pelos autores variaram entre 25,8 e 11,6 g kg⁻¹, próximos aos observados neste trabalho. Silva et al. (1999) afirmaram que o potássio é exigido em maior proporção durante o crescimento foliar, e estudando o efeito de fontes e doses na composição dos grãos concluíram que a fonte sulfato de potássio, proporcionou uma melhor qualidade do café. Por outro lado, Santinato et al. (1996) utilizaram doses crescentes de potássio na forma de nitrato de potássio e não encontraram melhoria da bebida. O *C. racemosa* apresentou valores elevados de potássio no período do inverno, época em que esta espécie perde grande parte das folhas, com diminuição dos valores a partir de setembro.

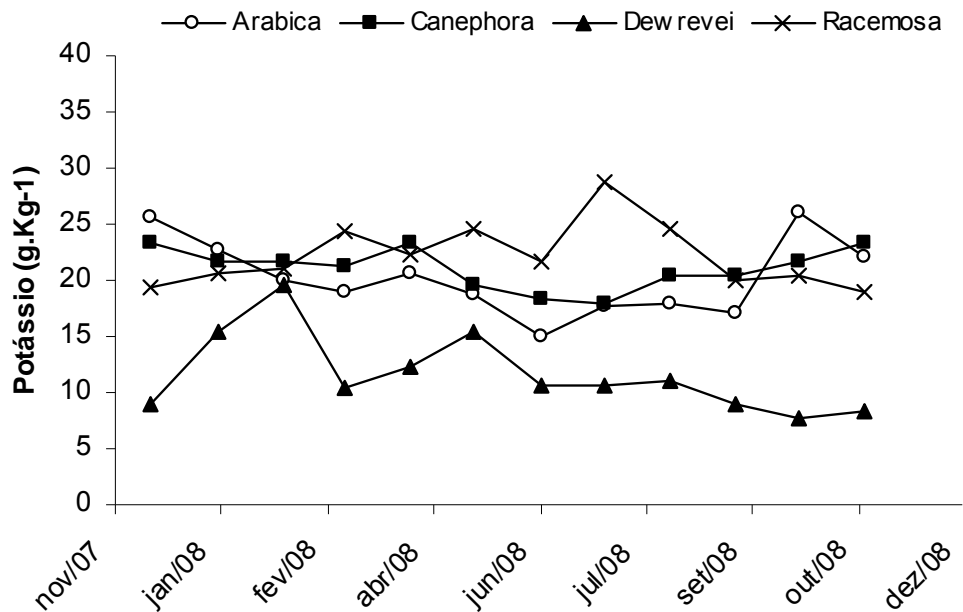


Figura 4.2 – Teor de potássio (g.kg^{-1}) em matéria seca de folhas de *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, por períodos de amostragem. Londrina – PR.

O teor de cálcio foi maior em *C. dewevrei*, que apresentou valores menores entre os meses de dezembro e junho, período de granação e maturação dos frutos (Figura 4.3.). Observa-se que nas espécies *C. racemosa* e *C. dewevrei* a quantidade de cálcio é inversamente proporcional à de potássio. O que confirma que o potássio, presente em elevadas quantidades nos tecidos vegetais, pode interferir na translocação e na disponibilidade fisiológica do cálcio, resultando em desordens metabólicas, como relatado por Marschner (1995). Segundo este autor, na lamela média, na superfície externa da membrana plasmática, no retículo endoplasmático e nos vacúolos são encontradas altas concentrações de cálcio, comprovando a sua importância para a integridade dos tecidos vegetais. A suplementação de potássio e cálcio confere ao cafeeiro maior tolerância a baixas temperaturas (CHAVES; MANETTI FILHO, 1990). As espécies *C. arabica*, *C. canephora* e *C. racemosa* não apresentaram diferenças significativas nas concentrações de cálcio nas folhas, nos meses avaliados. Pode-se observar em arábica que enquanto as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio diminuem de dezembro a maio, a de cálcio se eleva, revelando que este tem pouca mobilidade dentro da planta, conforme observado por Valarini et al. (2005).

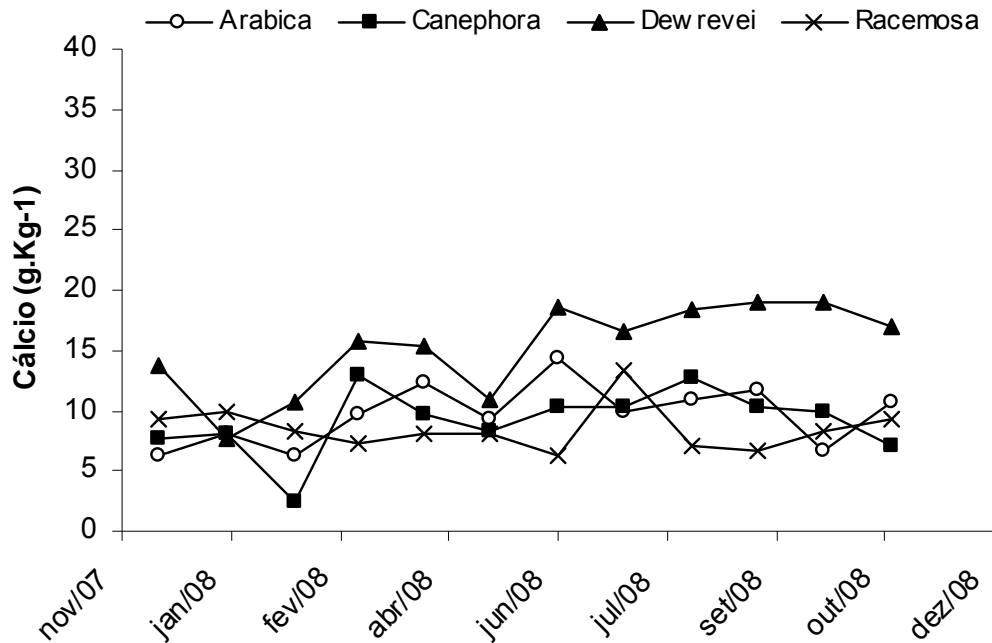


Figura 4.3 – Teor de cálcio (g.kg^{-1}) em matéria seca de folhas de *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, por períodos de amostragem. Londrina – PR.

Os teores de magnésio foram os menores entre os nutrientes avaliados. Que ficaram próximos aos encontrados por Valarini et al. (2005), 4,2 a 2,8 g Kg^{-1} . O período, observado de menor concentração de magnésio nas folhas de *C. arabica*, *C. canephora* e *C. dewevrei* foi o da frutificação (Figura 4.4.), provavelmente por este nutriente estar sendo translocado para o fruto, como constatado por Catani et al. (1967) e Hiroce (1981). Em frutos, Laviola et al. (2007), encontrou as maiores concentrações de cálcio e magnésio no estágio de chumbinho, período entre setembro e novembro. Segundo Marschner (1995), este pode ter sido requerido em maior quantidade para acelerar a atividade de ATPases. *C. arabica* foi a espécie que apresentou as maiores concentrações de magnésio, seguida por *C. dewevrei*, *C. canephora* e *C. racemosa*.

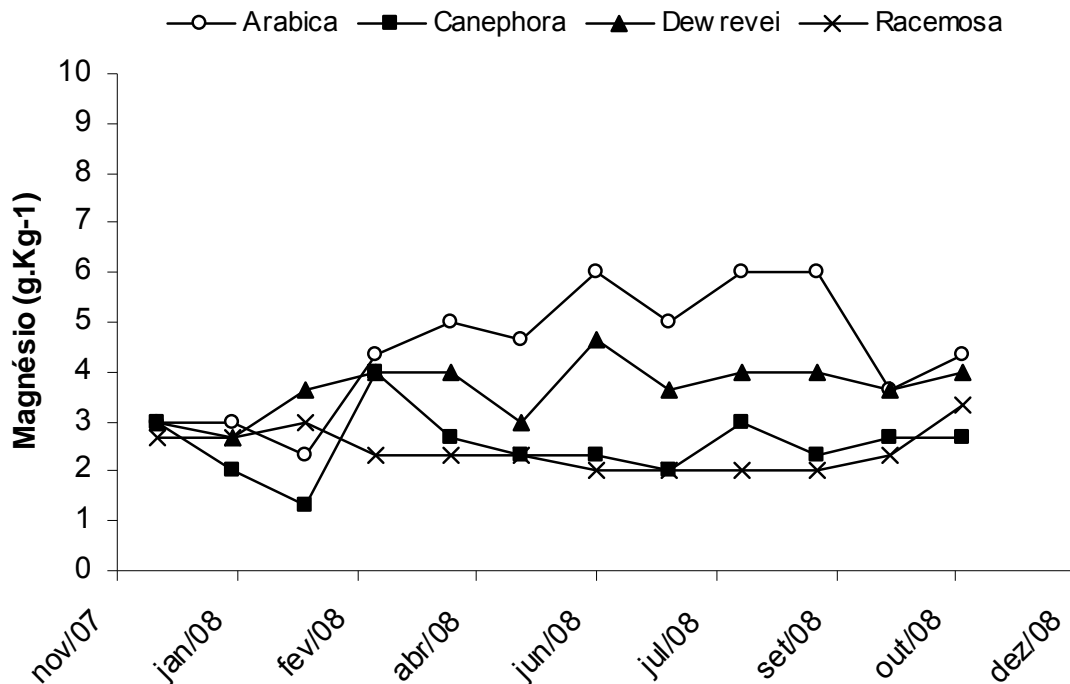


Figura 4.4 – Teor de magnésio (g.kg^{-1}) em matéria seca de folhas de *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, por períodos de amostragem. Londrina – PR.

Nas espécies *C. arabica* e *C. canephora*, observaram-se maiores concentrações de açúcares redutores, totais e amido (Figura 4.5.), no período do inverno. Tal resultado concorda com Davenport (1990) que constatou, em laranjeiras, que temperaturas amenas e baixa disponibilidade hídrica fazem com que as plantas diminuam seu metabolismo e consumam menos reservas. Ramos (2009) também relata que espera-se que haja aumento da concentração de carboidratos de reserva como uma consequência mais da diminuição da força de dreno do que aumento na oferta. A redução na concentração destes açúcares acontece nos períodos de floração (setembro/novembro) e de crescimento dos grãos (dezembro a abril). Os frutos em desenvolvimento mobilizam, prioritariamente, os assimilados, que utilizam as reservas das folhas e do lenho, assim, o baixo rendimento da produção pode ser relacionado a teores reduzidos de reserva de amido na fase inicial de crescimento dos frutos do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987).

A espécie *C. dewevrei* apresentou as maiores concentrações de açúcares redutores e açúcares totais nas folhas, em todo o período de avaliações, sendo significativamente superiores às demais espécies nos meses de fevereiro e julho (Tabela 4.3.). Segundo Dickson (1991), o carbono fixado pela fotossíntese é

direcionado para a síntese de sacarose no citoplasma celular, quando a planta apresenta crescimento ou está na fase reprodutiva, caso contrário, o carbono vai para a síntese de amido no cloroplasto. Assim, há acúmulo de amido quando a força de dreno é baixa, e translocação de sacarose (açúcares totais) quando a atividade metabólica é intensa (RAMOS, 2009).

O *C. racemosa* apresentou altas concentrações de amido, indicando que esta espécie acumula mais reservas, sendo significativamente superior às demais. Mesmo durante o período de crescimento dos grãos, quando as reservas diminuem em todas as espécies, esta se destaca com valores superiores. Este amido armazenado pode ser hidrolisado à glicose quando a fotossíntese for incapaz de suprir a demanda por energia durante o crescimento vegetativo ou mesmo na fase reprodutiva das plantas (RAMOS, 2009). Carvalho (1985) concluiu que o teor de amido foliar não é parâmetro adequado para avaliar o vigor do cafeeiro, e que se o amido de reserva fosse totalmente utilizado pelos frutos, isso representaria somente 7% da matéria seca total e não seria suficiente para suprir a demanda do crescimento vegetativo por mais de sete semanas, atribuindo maior importância à capacidade fotossintética corrente da planta. Por outro lado, Chaves Filho e Oliveira (2008) observaram que embora o teor de amido armazenado não seja suficiente para suprir a demanda da planta por carbono, as reservas são fundamentais na fase reprodutiva, que exige rápida mobilização de carboidratos e que poderia não acontecer se dependesse exclusivamente da fotossíntese corrente, já que esta pode ser afetada por diversos fatores ambientais.

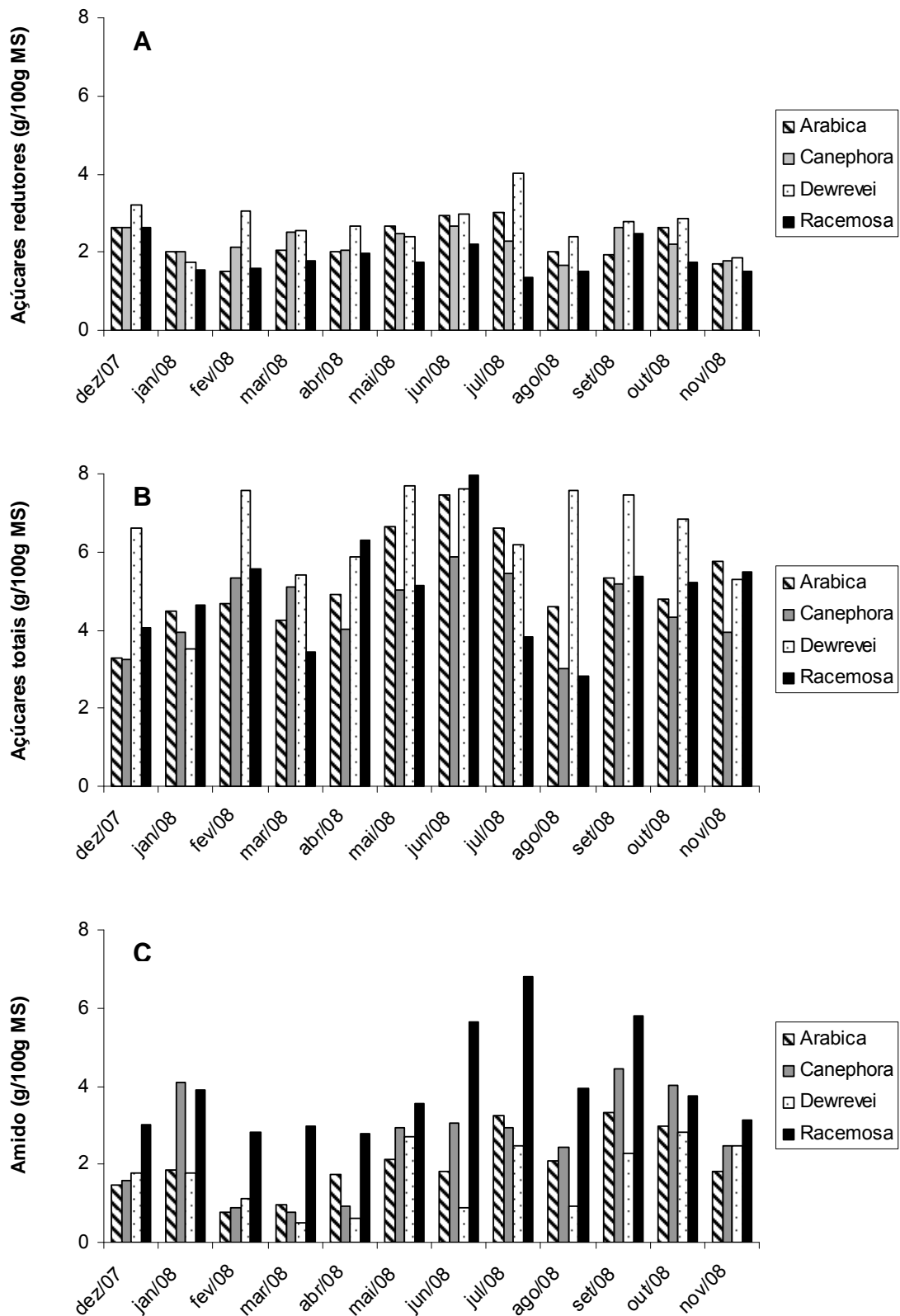


Figura 4.5 – Teores de açúcares redutores (A), açúcares totais (B) e amido (C) (g/ 100g de Matéria Seca), nas espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewvevi* e *C. racemosa*, durante um ano em Londrina, PR.

Conclusões

- 1- As quantidades de nutrientes e carboidratos presentes nas folhas variam em cada estágio fenológico da planta.
- 2- O estágio com menor quantidade de nutrientes e de açúcares presentes nas folhas é o de crescimento dos grãos.
- 3- A variação genética influenciou a quantidade de nutrientes entre as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*.
- 4- A maior concentração de carboidratos de reserva ocorre no período do inverno, quando o metabolismo das plantas diminui.
- 5- A espécie *C. dewevrei* apresentou as maiores concentrações de açúcares redutores e totais e a espécie *C. racemosa* a maior concentração de amido.

Referências

- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; COONS, P. M. The physiology of flowering in coffee : a review. **Journal of coffee research**, Balehonnur, v. 8, p. 29-73, 1978.
- CALBO, A. G. Senescência em folhas e migração de solutos. In: SODEK, L.; CASTRO, P. R. C.; NEVES, M. C. P. REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p. 123-134.
- CARVALHO, C. H. S. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte de raízes da progênie de Catimor UFV-1359**. 1985. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M. S.; CHAGAS, S. J. R. Relação entre classificação de café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Resumos...**Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1989. p.25-26.
- CATANI, R. A.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.; GLORIA, N. A.; GRANER, C. A. F. A absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo cafeeiro aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 22, p. 81-89, 1965.
- CATANI, R. A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J. C.; GRANER, C. A. F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 24, p. 249-263, 1967.

CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIIHL, L. B; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, Brasil: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CHAVES FILHO, J. T.; OLIVEIRA, R. F. Variação sazonal do amido armazenado em ramos plagiotrópicos do cafeeiro. **Estudos**, Goiânia, v. 35, n. 1/2, p. 85-102, jan./fev. 2008.

CHAVES, J. C. D., MANETTI FILHO, J. Danos de geadas em cafeeiros submetidos a adubação potássica e calagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...** Espírito Santo do Pinhal, 1990. p.86.

DAVENPORT, T. L. Citrus flowering. **Horticultural Reviews**, New York, v. 12, p. 349-408, 1990.

DICKSON, R. E. Assimilate distribution and storage. In: RAGHAVENDRA, A. S. (Ed). **Physiology of trees**. New York: John Wiley & Sons, 991. p. 51-85.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999.

FONSECA, A. F. A. **Análises biométricas em café Conilon (*Coffea canephora* Pierre)**. 1999. 121f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1999.

HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (SUIÇA). 1981. p.117 – 137.

IINSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – BGE. **3º Prognóstico da Produção Agrícola Nacional para 2010, dos principais produtos agrícolas**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1531&id_pagina=1. Acesso em: fev. 2010.

KAYS, E. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: V. N. Reinhold, 1991.

KOZLOWSKI, T. T. Carbohydrates sources and sinks in wood plants. **The Botanical Review**, New York, v. 58, n. 2, p. 107-222, abr./jun.1992.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

MALAVOLTA, E. Nutrição do cafeeiro. In: **Cultura e adubação do cafeeiro** 2. ed. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1965. p. 159-206.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995.

MARTINEZ, H. E. P., SOUZA, R. B. de, ALVAREZ, V. V. H., MENEZES, J. F. S., GUIMARÃES, P. T. G., OLIVEIRA, M. H. de. Faixas críticas de macro e micronutrientes para o cafeeiro em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2000. v. 2, p. 1308- 1310.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G.; BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et BR. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, mar./abr. 2007.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina: IAPAR, 1992. (IAPAR. Circular, 74).

MORAES, F. R. P.; CATANI, R. A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. **Bragantia**, Campinas, v. 23, n. 26, p. 331-336. 1964.

NELSON, N. A photometric adaption of the Somogyi method for the determination of glucose. **J Biology Chem** , v. 153, p. 75-280, 1944.

RAMOS, R. A. **Regime térmico e relação fonte-dreno em mudas de laranjeiras: dinâmica de carboidratos, fotossíntese e crescimento**. 2009. 52f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – IAC.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fósforo, 1987. p.119-147.

SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L. H.; PEREIRA, E. M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro - Carmo do Paranaíba/MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: SDR; PROCAFÉ; EMBRAPA; DENAC; CATI, 1996. p. 180-184.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 335-345, 1999.

SOUTHGATE, D. A. T. **Determination of Food Carbohydrates**. Applied Science publishers Ltda, Essex, 1976.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops**. Boca Raton: CRC Press. 1994. v. 2, p. 65-99,

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 61-67, 2005.

ZHANG, X., MESIROV, J. P., WALTZ, D. L. Hybrid system for protein secondary structure prediction. **Journal of Molecular Biology**. v. 225, p.1049–1063, 1992.

5 ARTIGO C: ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DE *Coffea canephora* NO ESTADO DO PARANÁ E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Resumo

O objetivo do trabalho foi realizar o zoneamento agroclimático de *Coffea canephora* no Paraná e verificar as alterações causadas pelo incremento de temperatura, provocado pelo aquecimento global, conforme prognósticos para os próximos 100 anos divulgados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Uma alternativa poderá ser a introdução do café robusta (*Coffea canephora* P.), originário da África, adaptado a regiões com temperatura média anual entre 22 e 26°C e umidade elevada. Foi utilizado o banco de dados climáticos históricos do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) e considerados os parâmetros: risco de ocorrência de geadas, considerando aptas regiões com risco inferior a 25%; aptidão térmica, regiões com temperatura média entre 22 e 26°C; e deficiência hídrica, regiões inaptas apresentam deficiência superior a 150 mm. Os mapas foram gerados sobre a base SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e cruzados no ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), gerando-se mapas do zoneamento de *Coffea canephora* para o clima atual e para os cenários de aquecimento de 1,8°C e 4°C. O zoneamento para o clima atual indicou que partes das regiões noroeste e oeste são aptas ao cultivo de café Robusta. Sob cenários de aquecimento global, considerando o regime de precipitação inalterado, a área apta ao cultivo se amplia, justificando estudos com esta espécie no estado do Paraná.

Palavras-chave: Café robusta. Aquecimento global. Temperatura.

AGROCLIMATIC ZONING OF *Coffea canephora* IN THE STATE OF PARANA AND IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

Abstract

The aim of the study was the zoning of *Coffea canephora* in Parana state, Brazil, and to verify changes caused by the increase of temperature caused by global warming, according to predictions for the next 100 years released by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). An alternative can be the introduction of Robusta coffee (*Coffea canephora* P.), originally from Africa, adapted to regions with average annual temperature between 22°C and 26°C and high humidity. The zoning of this species for the current climate indicated that parts of the northwest and west are suitable for cultivation. Under global warming scenarios, considering the rainfall regime unchanged, the area suitable for cultivation expands, justifying studies with this species in the state of Parana.

Keywords: Robusta coffee. Global warming. Temperature.

Introdução

A cafeicultura no Estado do Paraná teve início na década de 1930 e expansão na década de 1950. Muitas cidades, como Londrina, Maringá e Campo Mourão, surgiram a partir da chegada do café. Nos anos 60, o café chegou a ter 1,8 milhão de hectares plantados no Estado, porém atualmente esse número é de 85 mil hectares (SEAB, 2009).

Tradicionalmente, a espécie cafeeira cultivada no estado do Paraná é a *Coffea arabica* L. (café arábica) por apresentar melhor qualidade de bebida. Porém, de acordo com previsões do IPCC (2007), com o aquecimento global, a temperatura média global pode sofrer um acréscimo entre 1,8°C (cenário B1), e 4°C (Cenário A1F1) que consideram concentrações aproximadas de equivalentes de CO₂, correspondentes ao forçamento radiativo computado devido aos gases de efeito estufa e aerossóis antrópicos em 2100, de 600 e 1550 ppm, respectivamente. Assim, essas regiões se tornariam inaptas para o cultivo desse tipo de café. Assad et al., (2004) analisando o impacto de aquecimentos de 1°C, 3°C e 5,8°C sobre *Coffea arabica*, com base nas previsões do relatório do IPCC (2001), concluíram que a área produtiva do estado do Paraná se deslocaria para a região Sul; no pior cenário as áreas aptas para o cafeeiro passariam de 70,4%, situação atual, para 25,2% e o aumento previsto de chuvas causaria problemas na qualidade da bebida.

Uma alternativa para a cafeicultura da região norte paranaense seria a introdução do café Robusta (*Coffea canephora* P.), que é originária da África, de uma região que abrange a faixa ocidental, centro-tropical e subtropical do continente africano, especificamente da Guiné à República Democrática do Congo, na costa oeste do continente. É adaptada a regiões quentes e úmidas, e a áreas baixas da floresta tropical (CHARRIER; BERTHAUD, 1985). No Brasil é cultivado em regiões com menor altitude, normalmente abaixo de 500 metros, e temperaturas mais elevadas, com média anual entre 22° e 26°C. Matiello (1991), com base nos conhecimentos obtidos no Brasil e no exterior, estabeleceu os parâmetros técnicos para o zoneamento climático da cultura do café robusta (*Coffea canephora*) como: regiões aptas, restritas e inaptas, com limites térmicos entre 22 a 26; 21 a 22; < 21°C, respectivamente. Para a deficiência hídrica, para as regiões aptas, restritas e inaptas, estes parâmetros são respectivamente < 200, 200 a 400; e > 400 mm.

Embora mais produtivo que o *C. arabica*, o *C. canephora* é sensível às temperaturas muito baixas e aos ventos intensos que podem ocorrer em alguns períodos do ano, sendo necessária a utilização de quebra-ventos a fim de minimizar os danos à cultura. Os ventos e as altas temperaturas são os maiores agentes de desidratação, porque intensificam a evapotranspiração, agravando, desta maneira, os efeitos da seca (VESCOVE, 2005). As longas estiagens diminuíram mais a produtividade das lavouras não-irrigadas desta espécie, do que a do café arábica. Ademais, a espécie é mais atacada pela broca e apresenta maiores dificuldades para a adoção de manejos voltados para a mecanização da colheita (BLISKA et al., 2008).

Além das condições meteorológicas durante o crescimento e o desenvolvimento da cultura do café, as características agroclimáticas das regiões produtoras influenciam diferentemente a produtividade final da cultura (EVANGELISTA et al., 2002). O zoneamento agrícola constitui uma tarefa de fundamental importância na organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da agricultura. Ele se baseia no levantamento dos fatores que definem as aptidões agrícolas, encontradas em diferentes faixas da região estudada. O conhecimento das condições climáticas de determinada região é de extrema importância para a cultura do café, visto que a delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do meio físico e biológico para a região, além de identificar áreas de condições homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existentes (SANTOS, 1999).

Diante do exposto, os objetivos do trabalho foram, avaliar a possibilidade do cultivo de *Coffea canephora* no estado do Paraná; identificar através de dados climatológicos as regiões aptas ao cultivo; e verificar as modificações no zoneamento agroclimático desta cultura, induzidas pelo incremento de temperatura, previsto nos cenários de aquecimento global nos próximos 100 anos.

Material e Métodos

Para o zoneamento de riscos climáticos da cultura do *C. canephora*, para o cenário atual e para os dois cenários de mudanças climáticas previstos pelo IPCC (2007), considerando acréscimos de 1,8°C e 4°C, foram considerados os seguintes parâmetros:

1) Risco de ocorrência de geadas: com base na análise das séries históricas de temperatura mínima do ar no abrigo da rede de 32 estações meteorológicas do IAPAR, foram determinados os riscos de ocorrência de geadas ao nível da estação. Os dados observados de temperatura mínima de abrigo menores que 1°C foram ajustados à distribuição de extremos, seguindo procedimento descrito por Assis et al. (1996). Obteve-se uma equação de regressão entre as probabilidades de geada com base na latitude, longitude e altitude de cada estação, e foram gerados mapas de temperatura mínima para todo o estado sobre a base SRTM 90m. As regiões que apresentaram risco inferior a 25% (no máximo uma geada a cada quatro anos) foram consideradas aptas ao cultivo do cafeeiro do ponto de vista macroclimático. As regiões com risco entre 25 e 35% foram consideradas marginais, admitindo-se que pode haver condições locais de menor risco que sejam adequadas ao plantio, dependendo da inspeção de um agrônomo. Regiões com risco acima de 35% foram consideradas inaptas.

2) Aptidão térmica: com base nos dados históricos de temperatura média diária compensada das 32 estações do IAPAR no Paraná, determinou-se as temperaturas médias anuais e efetuou-se a correlação dos valores pontuais com altitude, latitude e longitude para a geração de um mapa com isolinhas de temperatura média em intervalos de 1°C. Áreas com temperatura média inferior a 21°C e superiores a 27°C foram consideradas inaptas; áreas com temperatura média entre 21 e 22°C e entre 26 e 27°C, foram consideradas marginais e áreas com temperatura média entre 22 e 26°C foram consideradas aptas, conforme estabelecido por Matiello (1991).

3) Deficiência hídrica: foi utilizado o método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) para realizar os cálculos. Os níveis de armazenamento de água no solo foram considerados fixos em 125 mm, com base em análises anteriores realizadas para a cultura do café (CAMARGO, 1977). Os valores normais observados foram utilizados para elaborar os balanços hídricos atuais, enquanto que para os cenários de mudanças climáticas foram acrescentados às séries de dados 1,8°C

e 4°C, conforme previsões do IPCC (2007). Regiões com deficiência anual superior a 200 mm foram consideradas inaptas (MATIELLO, 1991). Os resultados obtidos foram interpolados no software SPRING, gerando-se os mapas de deficiência anual.

Os mapas de risco de geadas, aptidão térmica e deficiência hídrica foram cruzados no ambiente SIG, gerando-se mapas do zoneamento de *Coffea canephora* para o clima atual e para os cenários de aquecimento de 1,8°C e 4°C.

Resultados e Discussão

De acordo com os dados de balanço hídrico do banco de dados do IAPAR, atualmente não há restrição por deficiência hídrica no estado. Quando calculados os balanços hídricos de cada estação, com acréscimo de 1,8°C e 4°C, a maior deficiência foi de 107,2 mm, na cidade de Bandeirantes, que ainda é aceitável para o cultivo do café (Figura 5.1). Assim, este não foi considerado um fator limitante, já que a previsão do IPCC (2007) é que além do acréscimo na temperatura, ainda ocorra um aumento de, aproximadamente, 15% na precipitação.

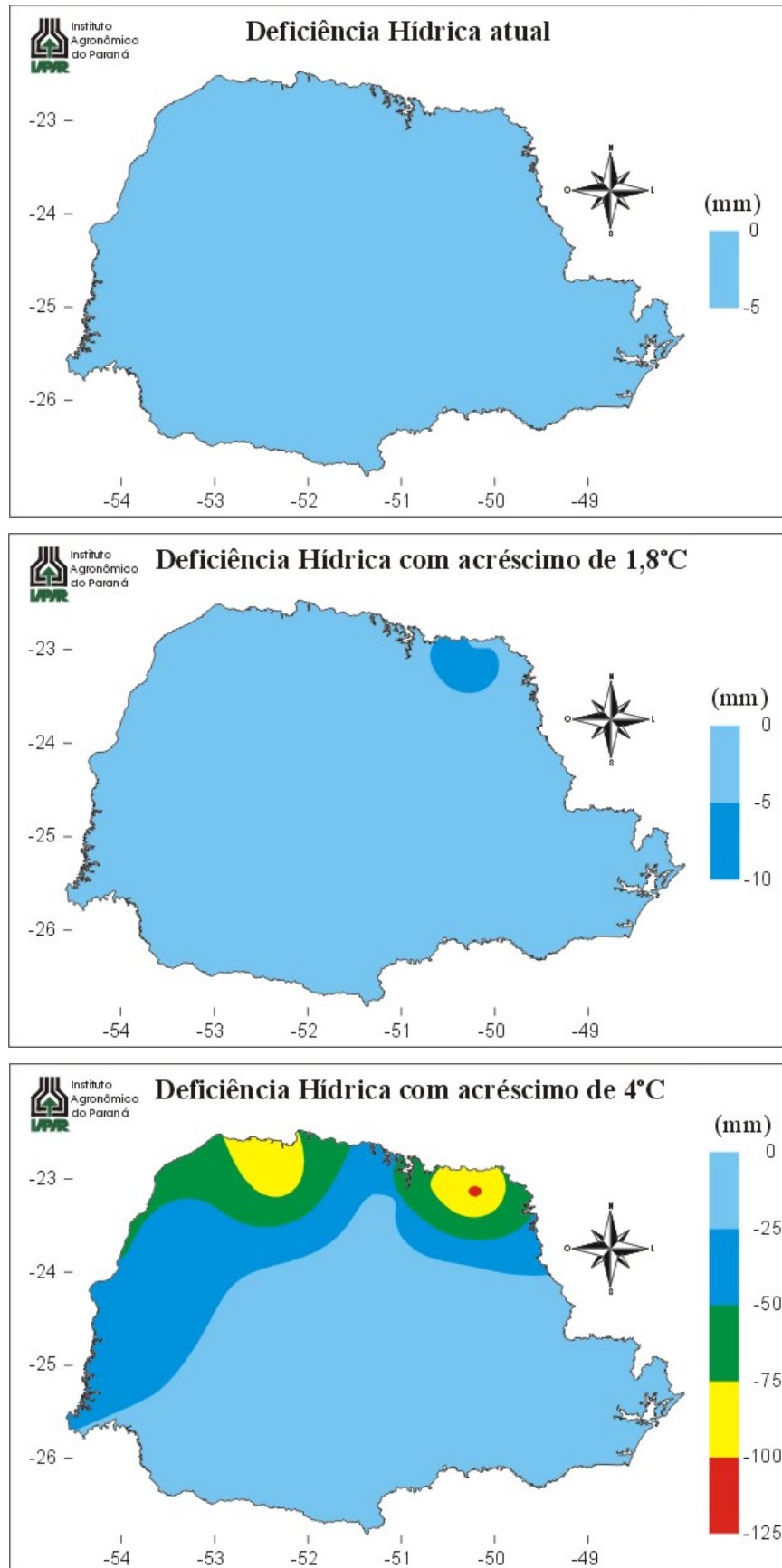


Figura 5.1 – Deficiência hídrica média para o estado do Paraná, nas condições atuais e com acréscimo de 1,8°C e 4°C na temperatura média.

O zoneamento de riscos climáticos para a cultura do *C. canephora* no estado do Paraná no cenário atual (Figura 5.2) mostra que somente as regiões noroeste e parte da região oeste e norte estão aptas a cultivarem o café robusta. Tais regiões apresentam valores de temperatura entre 22 e 23 °C, baixo risco de geadas e balanço hídrico favorável. Nas áreas marginais, as temperaturas médias não são ideais, havendo risco de geadas. Portanto, a escolha do local para a implantação do cafezal deve ser mais criteriosa, evitando o plantio em baixadas e fundos de vale; selecionando áreas com exposição à face norte, que permanecem recebendo radiação durante o inverno e adotando as medidas de proteção, como o enterrio das mudas e o chegamento de terra no caule (CARAMORI et al., 2000).

Para a espécie *C. arabica*, Caramori et al. (2001), zonaram os riscos climáticos para seu cultivo no estado do Paraná, definiu-se uma área com risco máximo de uma geada a cada quatro anos como macroclimaticamente apta ao cultivo do cafeeiro e uma área de transição, com risco de geadas de até um evento a cada três a quatro anos, em que podem haver microclimas favoráveis ao cultivo.

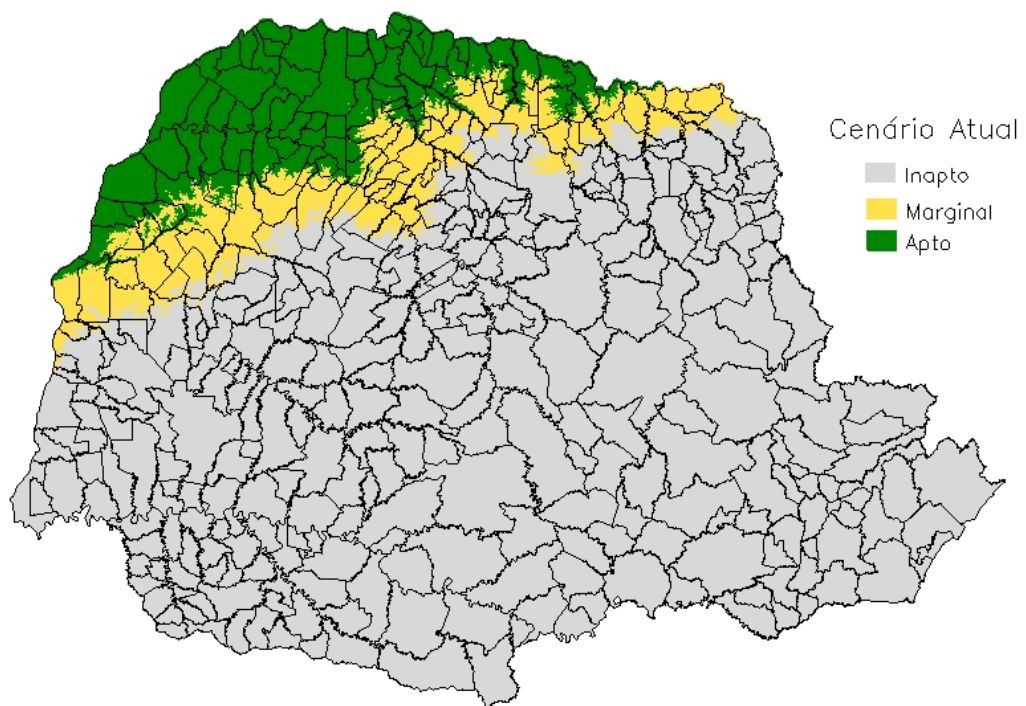


Figura 5.2 – Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do *C. canephora* para o estado do Paraná – cenário atual.

Com o aumento de 1,8°C na temperatura média anual (Figura 5.3), valor atribuído ao cenário B1, conforme previsto pelo IPCC (2007), observa-se um aumento na área apta, que abrange praticamente toda a região noroeste, grande parte das regiões norte e oeste, e pequena parte da região central e litoral, mantendo-se inaptas as regiões mais frias do estado. A região litorânea, apesar de apresentar condições climáticas que a classificam como apta, não deve ser cultivada por se tratar de área de preservação ambiental. Assad et al. (2004), observou que com o incremento de 1°C na temperatura, ocorre um aumento na área apta para o cultivo de *C. arabica* no estado do Paraná, com deslocamento da área produtiva para o sul do Estado. Esse deslocamento se acentua com o aumento de 3°C, quando já é observada redução na área apta de 86,8% para 66,7% do estado.

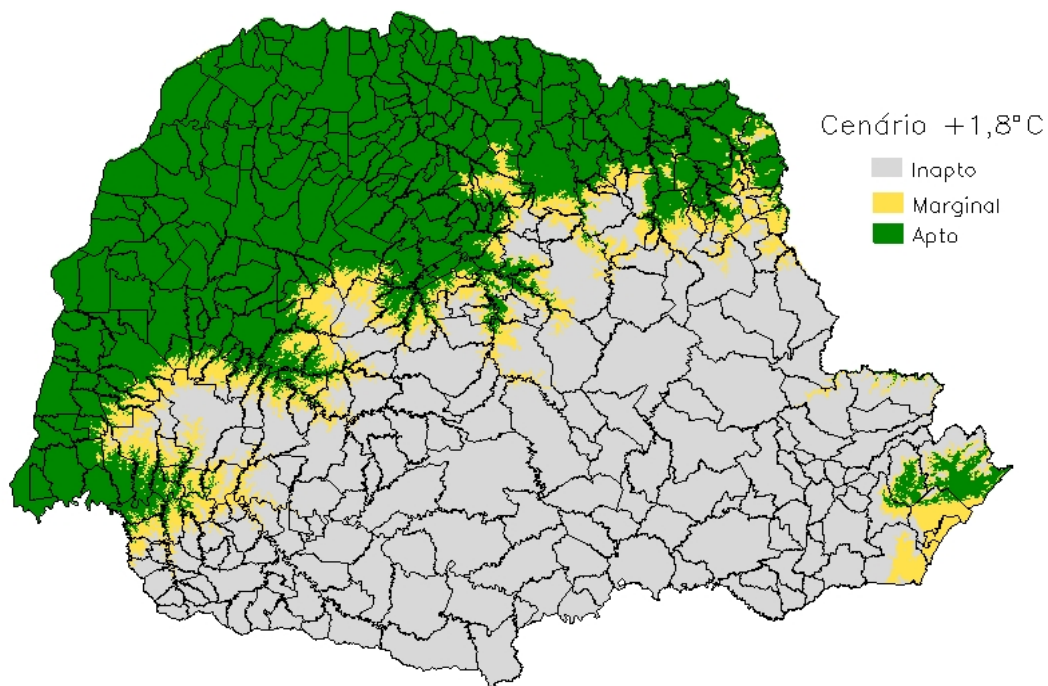


Figura 5.3 – Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do *C. canephora* para o estado do Paraná – cenário de aumento de 1,8°C na temperatura média anual.

Com o aumento de 4°C na temperatura média anual (Figura 5.4), cenário B1F1, previsto pelo IPCC (2007), o estado passa a ter novas regiões com restrições, neste caso devido às altas temperaturas. Nestas regiões o fator restritivo

pode ser ajustado adotando-se técnicas de manejo, às vezes simples, que poderão proporcionar aproveitamento melhor dos recursos naturais, tornando-as potencialmente produtivas (EVANGELISTA et al., 2002). Dentre essas práticas pode-se destacar o uso de espécies arbustivas e arbóreas consorciadas ao cafeeiro (CARAMORI et al., 2001). As áreas aptas se deslocaram para as regiões nordeste a sudoeste e parte da região leste. As regiões metropolitana de Curitiba e parte das regiões centro-sul e sul, são inaptas devido às baixas temperaturas e a possibilidade de ocorrência de geadas.

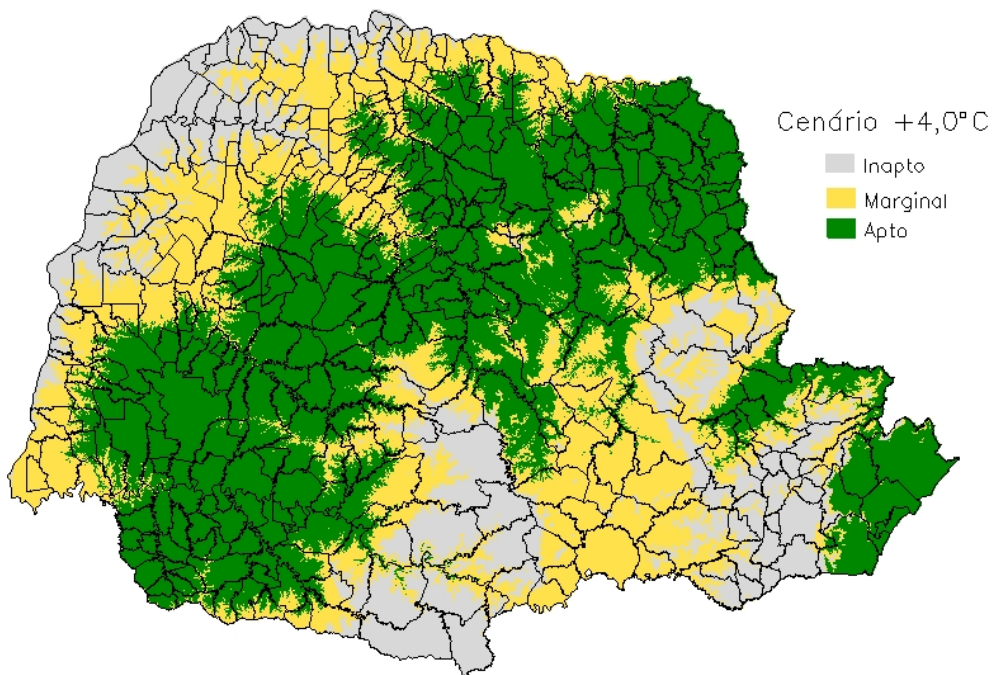


Figura 5.4 – Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do *C. canephora* para o estado do Paraná – cenário de aumento de 4°C na temperatura média anual.

Convém destacar que o presente estudo não considera as possíveis alterações nas ocorrências de eventos climáticos extremos, como secas, precipitações e outros, devido à dificuldade de quantificação e previsão desses eventos em estudos climatológicos de longo prazo como este. Os cenários apresentados constituem uma primeira aproximação do que poderá ocorrer caso ocorram alterações climáticas nas proporções previstas, servindo como alerta para o estímulo de práticas que visem minimizar os impactos negativos e incentivar as pesquisas com técnicas de mitigação e avaliação de novas espécies.

Conclusões

- 1- A espécie *Coffea canephora* tem potencial de cultivo na região noroeste e parte das regiões oeste e norte do Paraná nas condições atuais de clima.
- 2- Caso se confirmem as previsões de aquecimento global, o potencial de cultivo do café robusta no estado se ampliará.
- 3- Sob cenários de maior aquecimento, na região noroeste e parte da oeste as temperaturas médias superam o tolerado pela espécie e passam a ser restritivas ao cultivo.

Referências

- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JR., J.; ÁVILA, A. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil . **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, 2004.
- ASSIS, F. N., ARRUDA, H. V., PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996.
- BLISKA, F. M. M.; PARREIRAS, S. P.; GIOMO, G. S.; VEGRO, C. L. R. Caracterização da produção de *Coffea arabica* e possibilidade de cultivo de *Coffea canephora* na região oeste do estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v. 38, n. 8, ago. 2008.
- CAMARGO, A. P. Zoneamento de aptidão climática para a cafeicultura de arábica e robusta no Brasil. In: **Fundação IBGE, recursos, meio ambiente e poluição**, 1977. p. 68-76.
- CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; ANDROCIOLO FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, Número especial: Zoneamento Agrícola. p. 486-494, 2001.
- CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; CARNEIRO FILHO, F.; MOREIRA, I. A. **Avaliação de métodos de proteção contra geadas em cafezais recém implantados**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 2000, Poços de Caldas, MG.
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: Clifford MN and Willson KC (eds) *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of beans and beverage*. **Croom Helm**, London, 1985. p. 13-47.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, 2002.

IPCC. **Climate change 2001**: working group II: Impacts, adaptations and vulnerability. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/005.html> Acesso em: nov. 2007

_____. **Mudança do clima 2007: A base das ciências físicas**. Disponível em: <http://www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf> Acesso em: nov. 2009

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

SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do Rio Itapemirim, ES**. Dissertação Mestrado, Viçosa: UFV, 1999.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ – SEAB. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2009.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Laboratory of Climatology, **Publications in Climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

6 CONCLUSÕES GERAIS

As análises realizadas mensalmente durante um ano de coleta de dados em Londrina revelaram que as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* apresentam comportamentos fisiológicos distintos nas condições do norte do Paraná, os quais estão provavelmente associados a características genéticas importantes para programas de melhoramento. *Coffea racemosa* se mostrou de ciclo extremamente precoce, com florescimento em setembro e maturação em dezembro. Por outro lado, *Coffea dewevrei* possui elevado vigor, com floradas seguidas e maturação extremamente desuniforme.

As quantidades de nutrientes e carboidratos das folhas variam em cada estágio de desenvolvimento da planta, sendo que a maior retirada de nutrientes e de açúcares das folhas ocorre no período de crescimento dos grãos. A maior concentração de carboidratos de reserva ocorre no período do inverno, quando o metabolismo das plantas diminui. O conteúdo de nutrientes entre as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* sofre influência da variação genética.

C. canephora apresentou maior estabilidade nas relações hídricas durante o período avaliado. Este comportamento pode estar relacionado a um sistema radicular mais vigoroso do que o de *C. arabica*, o que tem levado inclusive produtores a realizar o enxerto de plantas de arábica sobre *C. canephora* em condições climáticas mais adversas.

C. dewevrei apresentou maior estabilidade nas trocas gasosas e as maiores concentrações de açúcar redutor e total, o que também pode estar relacionado a um sistema radicular mais vigoroso e elevado vigor vegetativo da parte aérea.

C. racemosa apresentou a maior concentração de amido e se destaca por sua elevada capacidade fotossintética mesmo em condições hídricas menos favoráveis, fato que pode estar relacionado com sua adaptação em ambientes de baixa disponibilidade hídrica como no seu centro de origem. Em condições climáticas extremas, onde se espera aumento na intensidade e duração de períodos secos, esta espécie se torna interessante para o melhoramento genético das espécies comerciais de *C. arabica*.

Nas condições climáticas atuais, a espécie *Coffea canephora*, mais tolerante às temperaturas elevadas, tem potencial de cultivo na região noroeste e parte das regiões oeste e norte do Paraná. Caso se confirmem as previsões de aquecimento global, o potencial de cultivo do café robusta no estado se ampliará e na região noroeste e parte da oeste as temperaturas médias superarão o tolerado pela espécie e passarão a serem restritivas ao cultivo.

7 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

Os resultados obtidos são inéditos e revelaram que existe um grande potencial de informações sobre o comportamento fisiológico das espécies de *Coffea* que precisam ser elucidados para subsidiar programas de melhoramento. Assim, sugere-se as seguintes linhas de pesquisa em continuidade aos trabalhos realizados:

1. Inclusão de novas espécies potenciais e cruzamentos de *C. racemosa* x *C. arabica* e *C. dewevrei* x *C. arabica* disponíveis na coleção do IAPAR;
2. Medições quinzenais de fotossíntese, condutância estomáticas, potencial de água na folha e transpiração, com início em agosto e término em julho do ano seguinte, após a colheita. De posse de uma quantidade maior de dados, repetir as análises de componentes principais para caracterizar o comportamento dos materiais avaliados;
3. Avaliação do papel da produção de grãos nas variáveis mensuradas, considerando que o grão é o mais importante dreno de nutrientes e reservas do cafeeiro;
4. Utilização de plantas da mesma idade e com mesma condução para evitar causas de variação de difícil explicação.
5. Avaliação das características morfológicas e anatômicas das folhas das diferentes espécies.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabela 4.2. Teores médios de macronutrientes (g.Kg⁻¹) nas folhas, por época de amostragem para as quatro espécies de

Nitrogênio g.Kg ⁻¹												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	24,33 Acdef	23,66ABdef	26,00 Abcdef	24,66Acdef	21,66 Aef	19,66 Af	29,66 Aabcde	32,00Aabcd	34,33 Aab	29,00Abcde	33,00Aabc	38,00 Aa
Canephora	24,66 Acdef	26,00Abcdef	25,00 ABCdef	18,33 ABfg	20,33ABefg	15,33 Ag	27,33ABabcde	32,33 Aabc	35,00 Aa	21,33 Bdefg	34,66 Aab	29,33Babcd
Dewrevei	17,33 Bab	18,66 Bab	18,66 Bab	17,00 Bab	14,00 Ab	13,33 Ab	22,00 Bab	24,33 Ba	25,00 Ba	22,00 Bab	23,00 Ba	21,00 Cab
Racemosa	24,00 ABabc	20,00 ABbcd	21,00ABabcd	19,00 ABcd	14,66 Ad	14,66 Ad	29,00 Aa	24,33 Babc	26,33Babc	26,66ABabc	28,66ABab	26,33BCabc
Fósforo g.Kg ⁻¹												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,33 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a
Canephora	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a
Dewrevei	0,66 A a	0,66 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a	1,00 A a
Racemosa	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A a	1,00 A b	1,00 A b	1,00 A b
Potássio g.Kg ⁻¹												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	25,66 Aab	22,66 Aabc	20,00 Aabc	19,00 Aabc	20,66 Aabc	18,66ABabc	15,00 BCc	17,66 Bc	18,00 Bbc	17,00 Ac	26,00 Aa	22,00 Aabc
Canephora	23,33 ABa	21,66 Aa	21,66 Aa	21,33 Aa	23,33 Aa	19,66 ABa	18,33 ABa	18,00 Ba	20,33 ABa	20,33 Aa	21,66 Aa	23,33 Aa
Dewrevei	9,00 Cb	15,33 Bab	19,66 Aa	10,33 Bb	12,33 Bab	15,33 Bab	10,66 Cb	10,66 Cb	11,00 Cb	9,00 Bb	7,66 Bb	8,33 Bb
Racemosa	19,33 Bb	20,66 ABb	21,00 Aab	24,33 Aab	22,33 Aab	24,66 Aab	21,66 Aab	28,66 Aa	24,66 Aab	20,00 Ab	20,33 Ab	19,00 Ab
Cálcio g.Kg ⁻¹												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	6,33 Bb	8,00 Aab	6,33 ABb	9,66 Bab	12,33 ABab	9,33 Aab	14,33 ABa	10,00 Bab	11,00 Bab	11,66 Bab	6,66 Bb	10,66 Bab
Canephora	7,66 Bab	8,00 Aab	2,33 Bb	13,00 ABa	9,66 ABa	8,33 Aab	10,33 BCa	10,33 Ba	12,66 ABa	10,33 Ba	10,0 Ba	7,00 Bab
Dewrevei	13,66 Aabc	7,66 Ac	10,66 Abc	15,66 Aab	15,33 Aab	11,00 Abc	18,66 Aa	16,66 Aab	18,33 Aa	19,00 Ba	19,0 Aa	17,00 Aab
Racemosa	9,33 ABa	10,00 Aa	8,33 Aa	7,33 Ba	8,00 Ba	8,00 Aa	6,33 Ca	13,33 ABa	7,00 Ba	6,66 Ba	8,33 Ba	9,33 Ba
Magnésio g.Kg ⁻¹												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	3,00 A bc	3,00 A bc	2,33 AB c	4,33 A abc	5,00 A ab	4,66 A ab	6,00 A a	5,00 A ab	6,00 A a	6,00 A a	3,66 A bc	4,33 A abc
Canephora	3,00 A ab	2,00 A ab	1,33 B b	4,00 A a	2,66 BC ab	2,33 B ab	2,33 B ab	2,00 B ab	3,00 BCab	2,33 C ab	2,66 A ab	2,66 B ab
Dewrevei	3,00 A a	2,66 A a	3,66 A a	4,00 A a	4,00 AB a	3,00 B a	4,66 A a	3,66 A a	4,00 B a	4,00 B a	3,66 A a	4,00 AB a
Racemosa	2,66 A a	2,66 A a	3,00 A a	2,33 B a	2,33 C a	2,33 B a	2,00 B a	2,00 B a	2,00 C a	2,00 C a	2,33 A a	3,33 AB a

café.

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
 Apêndice B: Tabela 4.3. Teores médios de açúcares redutores, açúcares totais e amido (g/100g MS) em folhas, por época de amostragem para as quatro espécies de café.

Açúcar Redutor (g/100g Matéria Seca)												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	2,64 A ab	2,01 A ab	1,49 B b	2,03 Aab	2,02 A ab	2,65 A ab	2,94 A ab	3,03 AB a	2,01 A ab	1,92 A ab	2,62 A ab	1,71 A ab
Canephora	2,62 A a	2,00 A a	2,11 AB a	2,51 A a	2,04 A a	2,49 A a	2,66 A a	2,27 BC a	1,65 A a	2,61 A a	2,20 A a	1,79 A a
Dewrevei	3,20 A ab	1,73 A b	3,06 A ab	2,55 Aab	2,65 A ab	2,41 A b	2,99 A ab	4,02 A a	2,38 A b	2,80 A ab	2,86 A ab	1,87 A b
Racemosa	2,64 A a	1,56 A a	1,58 B a	1,77 A a	1,99 A a	1,75 A a	2,21 A a	1,36 C a	1,51 A a	2,46 A a	1,75 A a	1,51 A a
Açúcar Total (g/100g Matéria Seca)												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	3,28 B b	4,47 A ab	4,69 B ab	4,25 Aab	4,92 A ab	6,65 A ab	7,47 A a	6,59 A ab	4,59 B ab	5,33 A ab	4,81 A ab	5,74 A ab
Canephora	3,23 B a	3,95 A a	5,35 AB a	5,09 A a	4,02 A a	5,02 A a	5,89 A a	5,43 AB a	3,02 B a	5,19 A a	4,32 A a	3,94 A a
Dewrevei	6,60 A ab	3,50 A b	7,59 A a	5,41 Aab	5,89 A ab	7,70 A a	7,63 A a	6,20 ABab	7,57 A a	7,44 A a	6,84 A ab	5,28 A ab
Racemosa	4,07 ABbc	4,62 Aabc	5,55 ABabc	3,44 Abc	6,30 A ab	5,13 Aabc	7,95 A a	3,82 B bc	2,83 B c	5,37 Aabc	5,20 Aabc	5,50 Aabc
Amido (g/100g Matéria Seca)												
	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08
Arabica	1,47 B cd	1,86 Bbcd	0,76 B d	0,97 Bcd	1,74 Bbcd	2,12 Babc	1,82 Bbcd	3,26 B a	2,09 Babc	3,33 C a	2,98 ABab	1,81 Bbcd
Canephora	1,59 B de	4,11 A ab	0,87 B e	0,78 B e	0,92 BC e	2,95 ABbc	3,07 B bc	2,94 B bc	2,45 B cd	4,43 B a	4,01 A ab	2,46 ABcd
Dewrevei	1,78 Babc	1,76 Babc	1,12 B bc	0,5 B c	0,63 C c	2,71 AB a	0,9 C c	2,49 B a	0,91 C c	2,29 D ab	2,82 B a	2,47 AB a
Racemosa	3,01 A b	3,89 A b	2,83 A b	2,96 A b	2,79 A b	3,54 A b	5,66 A a	6,8 A a	3,93 A b	5,78 A a	3,75 AB b	3,12 A b

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.