



**CARACTERÍSTICAS MORFO-FISIOLÓGICAS
E ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO EM
CAFEIROS EM SISTEMA A PLENO SOL E
ASSOCIADOS COM ABACATEIRO (*Persea
americana*) E INGAZEIRO (*Inga edulis*) EM
BARRA DO CHOÇA, BAHIA**

CARMEM LACERDA LEMOS

2008

CARMEM LACERDA LEMOS

**CARACTERÍSTICAS MORFO-FISIOLÓGICAS E ASSIMILAÇÃO DE
NITROGÊNIO EM CAFEEIROS EM SISTEMA A PLENO SOL E
ASSOCIADOS COM ABACATEIRO (*Persea americana*) E INGAZEIRO
(*Inga edulis*) EM BARRA DO CHOÇA, BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestra.

Orientadora
Profa. *D.Sc.* Sylvana Naomi Matsumoto

Co-orientador
Prof. *D.Sc.* Anselmo Eloy Silveira Viana

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA-BRASIL

2008

L576c Lemos, Carmem Lacerda.

Características morfo - fisiológicas e assimilação de nitrogênio em cafeeiros em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em Barra do Choça, Bahia./ Carmem Lacerda Lemos, 2008.

94 f.: il.

Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2008.

Referências: f. 82-91.

1. Metabolismo de nitrogênio - Cafeeiro 2. Plantas – Efeito de sombra. 3. *Coffea arabica* L. 4. Fitotecnia - Tese. I. Matsumoto, Sylvana Naomi. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 633.73

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

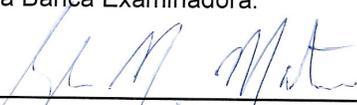
Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “Características morfo-fisiológicas e assimilação de nitrogênio em cafeeiros cultivados a pleno sol ou associados com abacateiros (*Persea americana*) e ingazeiros (*Inga edulis*) em Barra do Choça, Bahia”

Autor: Carmem Lacerda Lemos

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:

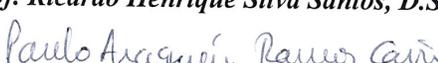


Prof.^a Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc. UESB

Presidente



Prof. Ricardo Henrique Silva Santos, D.Sc. UFV



Prof. Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc. UESB

Data de realização: 28 de março de 2008.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3424-8731 – Fax: (77) 3424-1059 – Vitória da Conquista – BA – CEP: 45083-900 – e_mail: mestrado.agronomia@uesb.br

A Deus, pelo Dom da vida, incomparável e inconfundível bondade, que plantou em mim um sonho que hoje se concretiza.

Aos meus pais, Osvaldo e Vitória, que não mediram esforços para me guiar pelo melhor caminho possível, superaram barreiras para que eu conquistasse mais esta etapa.

Aos meus amados irmãos, Mara, Zélia, Vilma, Eden, Vitório e Evaldo, pela força e pelo grande incentivo.

Aos meus sobrinhos, Milca, Rhaika, Roger e Mateus, fonte de amor.

Ao meu amor,

Anselmo Silva, por estar ao meu lado, sempre me incentivando a prosseguir.

E aos meus amigos, que sempre me apoiaram.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve em toda a caminhada, dando-me força, quando em mim esta não havia;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de realização do curso de graduação e mestrado;

À Prof^a. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, pela paciência e ensinamentos transmitidos no decorrer deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Anselmo Eloy Silveira Viana, pela co-orientação e apoio na realização desta dissertação;

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, por oferecer as condições para a realização deste curso;

A Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Dr^a. Maria Aparecida Castellani, pelo empenho e dedicação em prol do curso;

A Izaltiene, por ter cedido sua propriedade para a realização da pesquisa;

À Prof^a. Maria de Lourdes Nascimento (Malú), pela amizade e pelo grande incentivo;

À Prof^a. Aldenise Moreira, pela oportunidade na iniciação científica;

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (Embrapa / Café), pela concessão da bolsa de estudo;

Aos meus pais Osvaldo e Vitória, exemplo de coragem e dedicação, por todo amor e carinho;

Aos meus amados irmãos, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos;

Ao meu noivo Anselmo, por todo apoio, incentivo, compreensão e ajuda nas avaliações dos experimentos;

Aos amigos Joice, Fábio Ricardo, Marcos, Jessé, Germano, Maycon e Jackson, pela colaboração nas avaliações e nos trabalhos de laboratório;

Aos amigos Renato, Sandra e Myrne, pela amizade, paciência e companheirismo, que muito engrandeceram o nosso convívio;

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, Magno, João, Paulinha, Pedro, Sandro, Leandro e Irinaldo, pelo carinho, amizade e incentivo nos momentos difíceis;

Aos professores dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação, pelo enriquecimento profissional;

A Thiago, Anderson e Vera do Laboratório de Nutrição Animal, pela colaboração nas análises;

Aos professores Mauro Pereira de Figueiredo e Carlos Henrique Amorim Farias por terem cedido os laboratórios;

Ao professor Paulo Cairo, pelos ensinamentos transmitidos durante o estágio de docência;

As secretárias do mestrado, Angélica e Vera, pela colaboração durante o curso;

À DICAP, na pessoa de Maurício, pelos serviços prestados;

A todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

**“Tu és meu servo, eu te escolhi, e não te rejeitei; nada temas,
porque estou contigo.” Isaías 41, 9.**

MUITO OBRIGADA!!!

RESUMO

LEMOS, C. L. **Características morfo-fisiológicas e assimilação de nitrogênio em cafeeiros em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em Barra do Choça, Bahia.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2008. 94p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).*

Com o objetivo de avaliar o efeito da disponibilidade de luz, sobre o desenvolvimento vegetativo e metabolismo do nitrogênio do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí, em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeira (*Inga edulis*), foi realizado o experimento em uma propriedade situada no município de Barra do Choça – BA, em dois campos experimentais (sistema sombreado x sistema a pleno sol), sendo as avaliações realizadas em cinco repetições constituídas de uma planta por parcela. Foram avaliadas as características morfológicas, Spad e potencial hídrico foliar, teores de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-), nitrogênio orgânico (NORG) e atividade da redutase do nitrato em janeiro (veranico) e março (final da estação chuvosa). Os dados foram submetidos ao teste t e correlação de Pearson, por meio o programa SAEG versão 9.1. Em geral, o cafeeiro sombreado apresentou modificações morfofisiológicas, como aumento da área, da inserção do primeiro par de folhas e do comprimento de ramo. Em janeiro, devida à intensa abscisão foliar do componente arbóreo, foi observada elevada deposição de serapilheira e maior manutenção da umidade do solo no sistema associado com abacateiro e ingazeiro. Entretanto, em março, a menor deposição de serapilheira resultou em redução da umidade do solo nos sistemas arborizados em relação aos cafeeiros mantidos a pleno sol. Maior índice Spad e maiores valores de potencial hídrico em folhas de cafeeiros do sistema sombreado foram observados na avaliação de março. Maiores teores de NO_3^- foram verificados no sistema a pleno sol, para as duas épocas de avaliação. Em março foi verificado maior acúmulo de N-orgânico no terço superior do cafeeiro a pleno sol e no terço médio do cafeeiro sombreado. Maiores teores de NT e tendência de maior atividade enzimática da redutase do nitrato foi verificada nos sistemas arborizados, quando avaliados dentro do mesmo terço do cafeeiro.

Palavras-Chave: metabolismo de nitrogênio, *Coffea arabica* L., sombreamento.

* Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc., UESB e co-orientador: Prof. D.Sc., Anselmo Eloy Silveira Viana, UESB.

ABSTRACT

LEMOS, C. L. **Morphophysiological characterization and assimilation and nitrogen metabolism of coffee in a full sun system and associated with avocado (*Persea americana*) and *Inga edulis* in Barra do Choça, Bahia.** Vitória da Conquista-BA: UESB, 2008. 94p. (Dissertation – Master's in Agronomy, Phytotechny Concentration Area).*

With the aim of evaluate the vegetative development and nitrogen assimilation metabolism of coffee plants (*Coffea arabica* L.), cv. Catuaí, associated to avocado (*Persea americana*) and *Inga edulis* and in a full sun system. This study was realized in a property situated in Barra do Choça – BA, conducted in experimental fields, with two treatments (shaded system and full sun system) and five replicates. There were evaluated growth characteristics, leaf Spad index leaf water potential, total (NT), nitrate (NT) and organic (ORG) leaf nitrogen, nitrate reductase activity, litter deposition and soil water content, in January (drought stress of rainy season) and March (end of rainy season). As a rule, coffee plants under shading showed morphological alterations, like increasing of individual leaf area, position of first pair of leaves and length of lateral shoot. In January it was verified major volume of litter deposition and soil water content in the agroforestry system. However, in March, the reduction of litter deposition was related to minor water soil content in shading coffee in comparison to a full sun system. Higher values of Spad index and water potential were verified in shading coffee when evaluated in March. The major NIT foliar content was observed in a full sun system, in all evaluations. In march, it was verified higher values of NORG in upper third part of canopy of full sun and in a middle part of shading coffee. Higher values of NT and a tendency to major nitrate reductase activity were verified in shading coffee, when comparisons were done in the same part of coffee canopy.

Keywords: Nitrogen metabolism, *Coffea arabica* L., shading.

* Adviser: Sylvana Naomi Matsumoto, *D.Sc.*, UESB and Co-adviser: Prof. *D.Sc.*, Anselmo Eloy Silveira Viana, UESB.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características químicas do solo de cafezais sombreados e a pleno sol. Barra do Choça, Bahia, janeiro de 2007.	26
Tabela 2.2 - Características químicas do solo de cafezais sombreados e a pleno sol. Barra do Choça, Bahia, março de 2007.	27
Tabela 2.3 - Área foliar (AF), diâmetro do caule (DCA), diâmetro da copa (DCO), altura (ALT), inserção do 1° par de folhas (IF) e comprimento de ramo (CR) de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.....	33
Tabela 2.4 – Deposição de serapilheira (DP), umidade do solo (US), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.	35
Tabela 2.5 – Valores da leitura de índice SPAD e potencial hídrico foliar (Ψ_w) de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.	37
Tabela 2.6 – Valores da correlação entre AF (área foliar), DCA (diâmetro de caule), DCO (diâmetro da copa), ALT (altura), IF (inserção 1° par de folhas), CR (comprimento de ramo), SPAD, Ψ_w (potencial hídrico), UG (umidade gravimétrica), SER (serapilheira) de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.....	40
Tabela 3.1 - Características químicas do solo de cafezais sombreado e a pleno sol. Vitória da Conquista, Bahia, março de 2007.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007. Barra do Choça, Bahia, 2007.....	25
Figura 3.1 - Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de janeiro de 2006 a fevereiro de 2007. Vitória da Conquista, Bahia, 2007.	55
Figura 3.2 – Teores de N total foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.	63
Figura 3.3 – Teores de N total foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>). Barra do Choça, Bahia, 2007.	66
Figura 3.4 – Teores de N – NO ₃ ⁻ foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.	68
Figura 3.5 – Teores de N – NO ₃ ⁻ foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>). Barra do Choça, Bahia, 2007.	70
Figura 3.6 – Teor de N – Orgânico foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.	72
Figura 3.7 – Teores de N – orgânico foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>). Barra do Choça, Bahia, 2007.	74
Figura 3.8 – Cinética enzimática da redutase do nitrato em função do tempo de incubação em cafeeiros em sistema associado com	

	grevílea (<i>Grevillea robusta.</i>) e a pleno sol. Vitória da Conquista, Bahia, 2007.....	76
Figura 3.9 –	Atividade enzimática da redutase do nitrato (RN) em folhas de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.....	78
Figura 3.10 –	Atividade enzimática da redutase do nitrato (RN) em folhas de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>). Barra do Choça, Bahia, 2007.....	80
Figura 1A -	Cafeeiro em sistema a pleno sol (A) e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>) (B) cultivado em Barra do Choça, Bahia, 2007.....	93
Figura 2A -	Cafeeiro em sistema associado com grevílea (<i>Grevílea robusta</i>) (A) e café em sistema a pleno sol (B) cultivado na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia em Vitória da Conquista, Bahia, 2007.....	94

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF	Área foliar
ALT	Altura
CC	Capacidade de campo
CR	Comprimento de ramo
CTC	Capacidade de troca catiônica
DCA	Diâmetro do caule
DCO	Diâmetro da copa
DP	Deposição de serapilheira
IF	Inserção do 1° par de folhas
m	Índice de saturação do alumínio trocável
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
NO ₃ ⁻	Nitrato
NORG	Nitrogênio orgânico
NT	Nitrogênio total
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PMP	Ponto de murcha permanente
RN	Redutase do nitrato
SAFs	Sistemas agroflorestais
SB	Soma de bases trocáveis
SPAD	Teor de clorofila
t	Capacidade de troca de cátions efetiva do solo
T	Capacidade de troca de cátions a pH 7,0
US	Umidade do solo
V%	Índice de saturação de bases trocáveis
Ψ _w	Potencial hídrico foliar

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE CAFEEIROS EM BARRA DO CHOÇA, BAHIA	17
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Considerações gerais sobre a arborização do cafeeiro.....	19
2.2 Alterações morfo-fisiológicas causadas pelo sombreamento	21
2.2.1 Aspectos edáficos, bióticos e da fertilidade do solo	22
2.2.2 Aspectos ecofisiológicos	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Caracterização da área experimental	25
3.1.1 Caracterização química do solo da área experimental	26
3.2 Descrição do experimento	27
3.3 Delineamento experimental	28
3.4 Variáveis estudadas.....	28
3.4.1 Características morfo-fisiológicas.....	28
3.4.2 Avaliações referente a serapilheira e a umidade do solo	30
3.5 Análise estatística	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Avaliação do desenvolvimento vegetativo do cafeeiro.....	32
4.2 Avaliação da deposição de serapilheira e umidade do solo	34
4.3 Índice Spad e potencial hídrico foliar	36
4.4 Correlação entre as características edáficas e morfo-fisiológicas.....	38
5 CONCLUSÕES	45
CAPÍTULO III - TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO EM CAFEEIROS EM SISTEMA A PLENO SOL E ASSOCIADOS COM ABACATEIRO (<i>PERSEA AMERICANA</i>) E INGAZEIRO (<i>INGA EDULIS</i>) EM BARRA DO CHOÇA, BAHIA.....	46
1 INTRODUÇÃO	46
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	48
2.1 O nitrogênio e a capacidade fotossintética do cafeeiro.....	48
2.2 Redução do nitrato e assimilação do nitrogênio em cafeeiros	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	54
3.1 Localização do experimento	54
3.1.1 Caracterização das áreas	54

3.1.2 Caracterização química do solo da área experimental	55
3.2 Descrição do experimento	56
3.3 Delineamento experimental	57
3.4 Variáveis avaliadas	58
3.4.1 Análise química de folhas do cafeeiro	58
3.4.2 Determinação do teor de nitrogênio	58
3.4.3 Determinação do teor de nitrato	59
3.4.4 Determinação de N-orgânico	59
3.4.5 Atividade da enzima redutase do nitrato (RN)	59
3.4.6 Cinética enzimática: estudo do tempo de incubação no sistema de cultivo em Vitória da Conquista, Bahia	60
3.5 Procedimento estatístico	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Teores de nitrogênio total (NT) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>)	62
4.2 Teores de nitrato (NO ₃ ⁻) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>)	66
4.3 Teores de nitrogênio orgânico (NORG) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>)	71
4.4 Cinética enzimática: estudo do efeito de incubação sobre atividade da redutase do nitrato em folhas de cafeeiros	74
4.5 Atividade da redutase de nitrato (RN) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (<i>Persea americana</i>) e ingazeiro (<i>Inga edulis</i>)	76
5 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE	92

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

O café é um dos principais produtos agrícolas do mundo desempenhando a função de gerador de empregos e divisas e incentivando a fixação do homem no campo, sendo cultivado em diversos continentes e em mais de 50 países, entre os quais se destacam Brasil, Colômbia, Indonésia e Vietnã, responsáveis por cerca de 50 a 60% da produção mundial.

No Brasil, a cafeicultura se destaca apresentando uma produção de 32,7 milhões de sacas de café beneficiado. Desse total, 69,6% (23,5 milhões de sacas) são de arábica e 30,4% (10,3 milhões de sacas) são de robusta (CONAB, 2007).

Embora no Brasil se tenha o predomínio da cultura a pleno sol, cada vez mais os cafeicultores estão aderindo ao cultivo associado a outras espécies, com culturas anuais e perenes que atuam como quebra-ventos e formadoras de sombra, durante as fases juvenil e produtiva.

O componente arbóreo promove redução das radiações solar e térmica, além de diminuição dos custos de produção, aumento da renda do agricultor, melhora da qualidade da bebida, preserva o ecossistema e melhora das condições edafoclimáticas.

Em relação ao solo, a presença de árvores pode contribuir para elevar o aporte de matéria orgânica, em virtude da queda de folhas, conservar a umidade, reduzir as perdas de nitrogênio (N), aumentar a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzir o risco de erosão e a emergência de plantas invasoras, estimular a atividade biológica e funcionar como banco de estoque de carbono no solo, seqüestrando quantidades significativas de CO₂ da atmosfera.

O N é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do café, o segundo direcionado principalmente para os grãos e o mais exportado por esses

órgãos. Sua importância se deve às funções como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos e citocromos, além de ser integrante da molécula de clorofila. Graças a essas funções, o N proporciona maiores aumentos de rendimento da cultura de café que os demais nutrientes. O N é um fator determinante para proteção de plantas de café contra a fotoinibição da fotossíntese, quando as plantas são expostas a alta irradiância, uma vez que promove a ativação do mecanismo fotoprotetor. Este fato, em parte, pode explicar a alta demanda por nitrogênio em plantios a pleno sol, ao contrário do que se observa em sistemas arborizados.

Apesar da nutrição nitrogenada ter grande importância para o desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, as alterações ocorridas no metabolismo de assimilação de N, causadas pela modificação das condições microclimáticas pela utilização de sombreamento, em comparação com culturas solteiras em condição de campo, necessitam ser melhor compreendidas, visto que a maioria dos estudos tem sido realizado em ambiente totalmente controlado e, na sua maioria, utilizando mudas de cafeeiro.

O presente trabalho objetivou estudar o efeito da disponibilidade de luz sobre as características morfo-fisiológicas e a assimilação de nitrogênio em cafeeiros cultivados em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em Barra do Choça - Bahia.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE CAFEEIROS EM BARRA DO CHOÇA, BAHIA

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais fontes de divisas para diversos países das regiões tropicais do mundo. Mais da metade da produção mundial tem origem na Colômbia, Indonésia, Vietnã e no Brasil.

Além de sua importância econômica, a cafeicultura tem destacado papel social nos países produtores, uma vez que gera grande número de empregos nos vários segmentos da cadeia produtiva e contribui para o desenvolvimento do meio rural, desacelerando, mesmo que modestamente, o crescimento das cidades.

Atualmente, no Brasil, o café sombreado se encontra mais difundido no Norte e Nordeste do País. Nas regiões Sul e Sudeste, o sombreado é menos presente, cujas árvores são geralmente utilizadas para proteger a cultura das geadas, ou são cultivadas pelo seu alto valor econômico (JARAMILLO-BOTERO, 2006).

A Bahia é um dos estados do Brasil onde a cafeicultura se desenvolveu expressivamente nos últimos anos. O cultivo de café na Bahia localiza-se em três regiões edafoclimáticas distintas: Sudoeste, Extremo Sul e Oeste (CARVALHO FILHO e outros, 1999). Entretanto, na região Sudoeste da Bahia há irregularidade da precipitação, o que acarreta déficit hídrico, provocando grandes prejuízos a diversas culturas, inclusive à cafeicultura. De acordo com Souza e outros (2007) a ocorrência de um intenso veranico em meados da

estação úmida (novembro a março) restringe a produtividade de diversas culturas agrícolas praticadas no município de Barra do Choça.

Vários estudos mostram efeitos positivos da sombra sobre o desenvolvimento vegetativo de cafeeiros em sistemas agroflorestais, particularmente em condições climáticas adversas de déficit hídrico e ventos frios, assim como em situações de grandes variações de temperatura e ventos fortes, nas quais as plantas a pleno sol apresentam menor crescimento do que as plantas protegidas pelas árvores.

De maneira geral, para o cafeeiros, altas intensidades luminosas estão associadas a intenso crescimento vegetativo, formação e enchimento de frutos e altas produtividades, desde que os demais recursos estejam disponíveis. Sob menores intensidades luminosas, o crescimento vegetativo é reduzido. Entretanto, o sombreamento causado pelo cultivo arborizado pode favorecer a qualidade de bebida, conservação dos recursos naturais e a diversidade de produção, além de representar uma alternativa para produtores que visam menores custos em uma produção sustentável.

O cultivo sob sombreamento pode ser visto como uma alternativa promissora. Contudo, poucos estudos abordam os efeitos causados pela modificação das condições microclimáticas pela utilização do sombreamento natural, em comparação com cafeeiros adultos, em condição de campo. Por esta razão, este trabalho de pesquisa, teve como objetivo avaliar as alterações morfo-fisiológicas que ocorrem nos cafeeiros cultivados em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), na estação úmida, em período de veranico e final da estação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações gerais sobre a arborização do cafeeiro

O café é originário de florestas tropicais da África, onde pode ser encontrado em estado espontâneo como vegetação de sub-bosque e desenvolve-se, portanto, permanentemente sob sombra. Assim, os primeiros cafezais eram sombreados, numa tentativa de reproduzirem-se, dentre certos limites, nas lavouras as condições ecológicas presumivelmente mais adequadas à espécie (DaMATTA, 2004).

O café (*Coffea arabica* L.) se encontra cultivado em toda faixa tropical e se adaptou as mais diversas condições ecológicas. Planta-se cafeeiro em altitudes de poucos metros acima do nível do mar até além de 2000 m, nos mais diversos tipos de solo, sob as mais variadas condições climáticas e, ainda seguindo os mais diversos métodos de plantio e de cultivo. Cerca de 70% da produção mundial de café é oriunda de cultivares de *C. arabica*, sendo praticamente a mesma proporção observada no Brasil (AGUIAR, 2004).

Nas principais regiões produtoras de café do mundo, exceto no Brasil e Quênia, o cafeeiro é conduzido, como regra, sob sombra, numa tentativa de atenuar os efeitos adversos diretos e indiretos da alta irradiância (DaMATTA; RENA, 2002).

No Brasil, a maioria dos produtores prefere o cultivo a pleno sol por acreditarem que o sombreamento diminui a produtividade e porque o cultivo sombreado representa maior necessidade de mão-de-obra, além da dificuldade na passagem de máquinas. Segundo Ricci e outros (2002), estimaram-se que mais de 90% das lavouras existentes é a pleno sol.

Os agroecossistemas cafeeiros com arborização podem obter um aproveitamento mais eficiente dos aportes de energia na forma de radiação solar e de nutrientes, através da produção de biomassa nos vários estratos de vegetação, da maior proteção do solo e da maior diversificação do sistema.

Deve-se salientar que alguns fatores precisam ser considerados antes da implantação da arborização, dentre eles, a capacidade do solo de fornecer nutrientes ao sistema, topografia, posição do vento, altitude, temperatura, umidade relativa, disponibilidade de mudas na região, adaptabilidade da cultivar de café, densidade de árvores plantadas, arquitetura da copa e da raiz das espécies arbóreas e sua adaptabilidade para o manejo de podas.

No Brasil, os estudos sobre o efeito da arborização na produção do cafeeiro são recentes. De acordo com Ricci e outros (2004), os poucos estudos realizados em meados do século passado foram relacionados com sombreamento muito denso, resultando na redução da produção do cafeeiro, o que serviu de desestímulo para a implantação de sistemas arborizados no país e a continuidade desta pesquisa.

A experiência e as observações têm demonstrado que, em região equatorial, como o Nordeste brasileiro, a arborização deve ser menos rala, devendo cobrir cerca de 50% ou mais do terreno do cafezal (CAMARGO, 2007).

Matiello e outros (1989) relataram que a arborização é uma prática que pode reduzir os efeitos da estiagem no café. Em cafeeiros mantidos sob arborização com grevíleas no município de Brejões - BA, esses autores observaram as seguintes modificações: os cafeeiros sob sombra mantiveram-se em bom estado vegetativo, não murchando como aqueles a pleno sol, mesmo nos períodos mais secos; a desfolha e a seca de ponteiros foram, em geral, intensas nos cafeeiros ao sol e mínimas nos à sombra; a florada ficou mais atrasada sob sombra, a maturação mais lenta e a fase de cereja bem mais longa; e

os cafeeiros sob sombra não apresentaram danos mecânicos pelo vento, como aconteceu nos cafeeiros descobertos.

2.2 Alterações morfo-fisiológicas causadas pelo sombreamento

O grau de alterações micro-climáticas depende do grau da intensidade da sombra e também das condições climáticas do local.

Os maiores benefícios fisiológicos que o cafeeiro recebe da arborização está associado com a redução do estresse da planta, pela melhoria do microclima e do solo (BEER e outros, 1998). Essas modificações microclimáticas interferem no comportamento da planta de cafeeiro, alterando as trocas gasosas, a anatomia, a morfologia, o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo, refletindo conseqüentemente em sua produtividade (LUNZ, 2006).

A anatomia foliar das plantas é altamente especializada para absorção de luz, permitindo que esta atinja os cloroplastos em quantidade maior que no ambiente. Esse mecanismo ocorre em plantas que se desenvolvem em condições de baixa luminosidade (TAIZ; ZEIGER, 2004). O cafeeiro, quando cultivado em condições sombreadas, desenvolve folhas mais finas e maior área foliar, proporcionando maior interceptação da luz disponível (VOLTAN e outros, 1992; FAHL e outros, 1994).

As folhas sombreadas são mais eficientes na assimilação do carbono (CO₂) do que as folhas expostas ao sol, pois nos trópicos a radiação solar, invariavelmente, supera de 3 a 5 vezes o limite de saturação lumínica. Além disso, a temperatura foliar pode alcançar 5°C a 20°C a mais que a temperatura do ar, danificando o tecido foliar. Estudos desenvolvidos por Marin e outros (2003) corroboram esta hipótese por meio de medidas de transpiração. Estes autores verificaram que mesmo reduzindo a energia radiante às plantas por meio

do sombreamento, a transpiração diminui cerca de 10% comparada aos valores determinados nas plantas a pleno sol.

Algumas estratégias de proteção de lavouras de cafeeiro podem minimizar os efeitos adversos do ambiente. Pezzopane e outros (2003) relataram que as plantas de coqueiro-anão verde promoveram atenuação da incidência da radiação solar global sobre as plantas de café e também proporcionaram reduções na velocidade do vento em valores que variam de 60 a 99% em comparação ao cultivo a pleno sol.

2.2.1 Aspectos edáficos, bióticos e da fertilidade do solo

Quando se utiliza espécies arbóreas associadas ao café algumas alterações irão ocorrer com relação aos aspectos edáficos em comparação ao cultivo a pleno sol. Beer (1997) relatou em seus estudos uma menor dependência de insumos externos devido a maior ciclagem de nutrientes decorrente da queda de folhas e galhos, além de favorecer a conservação dos recursos naturais da propriedade, tais como água, solo e biodiversidade.

As árvores influenciam na quantidade e na disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicular das culturas associadas, através do acréscimo de nitrogênio pela fixação biológica de N_2 , da recuperação de nutrientes abaixo do sistema radicular das culturas agrícolas, da redução das perdas de nutrientes por processos como lixiviação e erosão e do aumento da disponibilidade de nutrientes pela sua maior liberação na matéria orgânica do solo (RIBASKI e outros, 2002).

A vegetação é a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo, principalmente através da queda de restos culturais e de material morto do dossel, formando a serapilheira e da rizodeposição no solo próximo das raízes. O tipo de vegetação e as condições ambientais são os fatores

determinantes da quantidade e qualidade do material depositado na superfície (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Com relação aos aspectos bióticos, a existência de uma maior biodiversidade possibilita a *auto-regulação* dos sistemas. Desta maneira, a arborização poderá reduzir a incidência de pragas e doenças do cafeeiro, como verificado por Matiello e Almeida (2001) e Caramori e outros (2001), com menor incidência de ataque de bicho mineiro em cultivos de cafezais arborizados com grevilea e seringueira, respectivamente, e, Matiello e outros (2001) com menor ocorrência de *Phoma spp.* em cultivo de café arborizado com banana em Minas Gerais. Nesses dois casos, a menor ocorrência de pragas e doenças foi atribuída às mudanças microclimáticas ocorridas nos cultivos consorciados.

A matéria orgânica do solo constitui um componente importante para a fertilidade do solo e exerce influência sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Apresenta grande superfície específica que proporciona aos solos alta capacidade de retenção de cátions e dificulta a perda dos nutrientes por lixiviação (AMORIM, 2004).

Nos sistemas agroflorestais (SAFs) o ciclo de matéria orgânica é o evento mais importante para a manutenção da fertilidade e da qualidade do solo. As espécies arbóreas consorciadas com os cafeeiros podem reduzir altas quantidades de resíduos, especialmente se elas permitem o manejo mediante podas. Em SAFs com café e ingá e café, ingá e bananeira, Severino e Oliveira (1999) estimaram deposições de resíduos que atingiram 3.595 e 2.745 Kg.ha⁻¹, respectivamente, em período de coleta de quatro meses.

A serapilheira, resultado da deposição de material orgânico – folhas, frutos, sementes, resíduos animais (DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997) constitui um importante componente de um sistema agroflorestal na ciclagem de nutrientes, cobertura morta e manutenção da umidade do solo.

2.2.2 Aspectos ecofisiológicos

As condições ambientais, principalmente a temperatura do ar, a radiação, a precipitação pluviométrica e as características do solo estão entre os fatores que mais afetam o desenvolvimento da cultura, variando o grau de influência desses fatores com o estágio de desenvolvimento da planta (EVANOFF, 1994 citado por LUNZ, 2006).

Caramori e outros (2001) relataram o efeito do sombreamento excessivo mostrando-se um fator limitante, pois reduziu sensivelmente a produção de café. Nos experimentos com *Leucena leucocephala* conduzidos em Londrina, em que havia alta densidade de sombreamento em todos os tratamentos, mesmo manejando a leucena com poda no período de setembro a janeiro, houve redução drástica na produção de café, provocada pela diminuição da radiação incidente, visto que no período analisado não houve restrição hídrica. Esse fato pode ser explicado pela fenologia do cafeeiro, que tem a indução do botão floral no período que antecede o inverno (fevereiro-maio). Sob condições de sombreamento excessivo não ocorre estímulo para formação de gemas florais e, em consequência, ocorre diminuição na produção de café.

Trabalhando com crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol, Lunz (2006) verificou que sombreamento moderado, na faixa de 20 a 30% (70 a 80% de irradiância), pode ser adequado para a cultura do cafeeiro, pois além de não prejudicar seu crescimento, propicia melhor qualidade do café e não reduz sua produtividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro a março de 2007 na Fazenda Rio dos Porcos, município de Barra do Choça - BA. A região se localiza nas coordenadas geográficas 14°51' de latitude Sul e 41°08' de longitude Oeste e altitude de 860 m. Barra do Choça possui o tipo climático Cwb - Subtropical de Altitude (KOEPPEN, 1938). A precipitação pluviométrica média é de 900 a 1200 mm/ano e a temperatura média anual oscila entre 19,6 e 20,2 °C.

Na Figura 2.1 está apresentada a precipitação pluvial (mm) obtida antes e durante o período de condução do experimento.

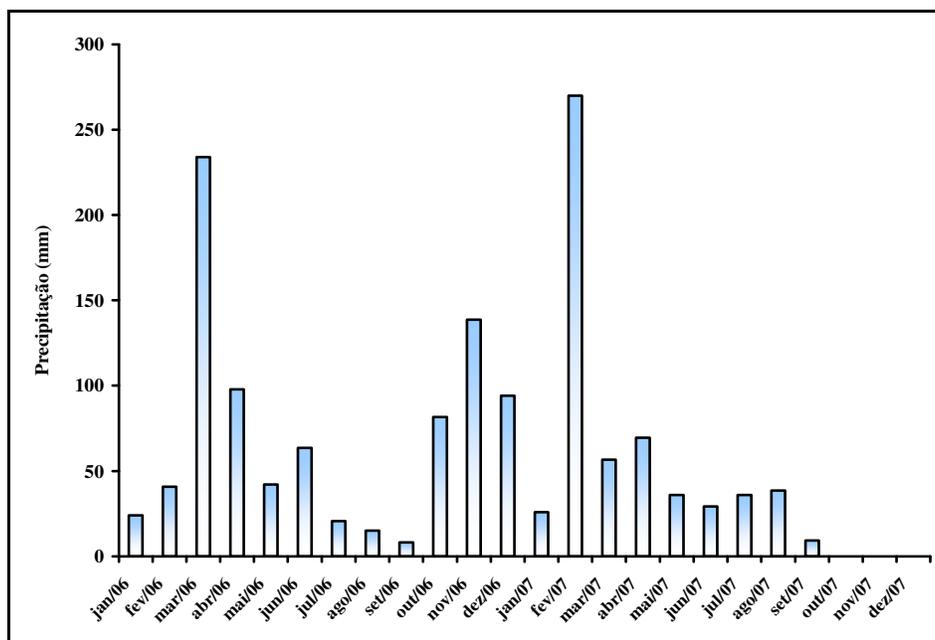


Figura 2.1 – Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007. Barra do Choça, Bahia, 2007.

Fonte: Estação meteorológica EBDA / Barra do Choça – BA, 2007.

O município de Barra do Choça - BA, localizado na Região Sudoeste da Bahia, possui vegetação e relevo diversificado. De acordo com Sousa e outros (2007), em levantamento realizado a partir de 1994, a precipitação pluviométrica de Barra do Choça é caracterizada por uma expressiva concentração no período de novembro a março, com um período de estiagem e deficiência hídrica ocorrendo nos meses de janeiro e fevereiro. Esse fenômeno é denominado, regionalmente, de veranico, que adquire uma grande importância econômica, devido ao seu impacto na produtividade das culturas.

3.1.1 Caracterização química do solo da área experimental

Para caracterização química do solo foram coletas 5 amostras de solo na camada de 0-20 cm, na área sob a projeção da copa dos cafeeiros que formaram as amostras compostas. As análises das amostras de solo foram efetuadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, (Tabelas 2.1 e 2.2).

Tabela 2.1 - Características químicas do solo de cafezais sombreados e a pleno sol. Barra do Choça, Bahia, janeiro de 2007.

Sistemas	pH		mg/dm ³		Cmol _c /dm ³ de solo						%	
	H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺³	Al ⁺³	H ⁺	SB	t	T	V	m
Sombreado	5,7	2	0,16	2,8	1,8	0,0	2,8	4,8	4,8	7,6	63	0
Pleno Sol	5,3	2	0,19	3,0	1,7	0,1	3,2	4,9	5,0	8,2	60	2

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca de cátions efetiva do solo; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V%: índice de saturação de bases trocáveis; m: índice de saturação do alumínio trocável.

Tabela 2.2 - Características químicas do solo de cafezais sombreados e a pleno sol. Barra do Choça, Bahia, março de 2007.

Sistemas	pH	mg/dm ³		Cmol _c /dm ³ de solo						%		
	H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺³	Al ⁺³	H ⁺	S.B	t	T	V	m
Sombreado	6,0	2	0,16	4,3	2,0	0,0	2,4	6,5	6,5	8,9	73	0
Pleno Sol	6,7	2	0,58	3,8	2,1	0,0	2,0	6,5	6,5	8,5	76	0

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca de cátions efetiva do solo; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V%: índice de saturação de bases trocáveis; m: índice de saturação do alumínio trocável.

3.2 Descrição do experimento

O presente trabalho foi realizado em uma lavoura cafeeira com dez anos de implantação. O experimento foi composto por dois sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí, conforme descrição a seguir:

a) Café em sistema sombreado – neste sistema, o cafeeiro foi plantado no espaçamento 3 x 1 m e associado ao abacateiro (*Persea americana*) e ao ingazeiro (*Inga edulis*), dispostos em espaçamento irregular. Esse sistema foi roçado uma vez por ano, antes da colheita e não foram realizadas podas de manejo do sombreamento causado pelas espécies arbóreas. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) global foi de 1782 μmol de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, sendo 17 μmol de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na copa do cafeeiro e 69 μmol fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ entre linhas, determinada no período de 11:00 às 13:00h. O sistema apresentou 96,2% de sombreamento.

b) Café a pleno sol - sistema constituído apenas por cafeeiros dispostos em espaçamento 3 x 1 m. O cafeeiro foi adubado uma vez por ano, roçado quatro vezes no ano e feita uma capina. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) global foi de 1842 μmol . de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, sendo 76 μmol fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na copa

do cafeeiro e $1842 \mu\text{mol de f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ entre linhas, determinada no per\u00edodo de 11:00 \u00e0s 13:00h. O sistema apresentou 100% de sombreamento.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em campos experimentais, com dois tratamentos (sistema sombreado e sistema a pleno sol) e duas avalia\u00e7\u00f5es (janeiro e mar\u00e7o), com cinco repeti\u00e7\u00f5es, constitu\u00eddo de uma planta por parcela.

3.4 Vari\u00e1veis estudadas

3.4.1 Caracter\u00edsticas morfo-fisiol\u00f3gicas

As caracter\u00edsticas morfo-fisiol\u00f3gicas do cafeeiro foram avaliadas em janeiro (veranico) e mar\u00e7o (final da esta\u00e7\u00e3o chuvosa).

▪ Altura da planta

A altura dos cafeeiros foi determinada com uma r\u00e9gua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo at\u00e9 a gema apical do ramo ortotr\u00f3pico.

▪ Di\u00e2metro do caule

O di\u00e2metro do caule foi medido no ter\u00e7o m\u00e9dio da planta no ramo ortotr\u00f3pico, utilizando um paqu\u00edmetro.

▪ **Diâmetro da copa**

O diâmetro da copa foi avaliado no terço médio com régua graduada, colocada transversalmente aos ramos ortotrópicos, no sentido leste oeste.

▪ **Comprimento de ramo**

O comprimento de ramo foi medido no terço médio da planta, utilizando uma régua graduada, no sentido leste oeste. Foi avaliado ramos diferentes para as duas coletas de dados.

▪ **Inserção do primeiro par de folhas no ramo**

Avaliada no terço médio do cafeeiro, utilizando uma régua graduada no sentido leste oeste. A inserção do primeiro par de folhas foi avaliada em ramos diferentes para as duas coletas de dados.

▪ **Área foliar**

Foram coletadas duas folhas de cada planta do terço médio e acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados, sendo determinada a área foliar total, por meio de um integrador de área foliar de marca LI-COR (modelo 3100).

▪ **Potencial hídrico foliar**

O potencial hídrico foi realizado às 07:00h (hora solar), retirando duas folhas saudáveis e completamente expandidas, com o uso de uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS), conforme metodologia descrita por Scholander e outros (1965).

▪ **Índice SPAD**

O teor de clorofila foi avaliado com auxílio de um medidor portátil,

SPAD 502 Minolta, Japão, em folhas completamente expandidas (MALAVOLTA e outros, 1989).

3.4.2 Avaliações referente a serapilheira e a umidade do solo

▪ Serapilheira

A avaliação de deposição de serapilheira acumulada na superfície do solo foi realizada em cinco locais representativos de cada sistema na rua de café, por meio de uma moldura de madeira quadrada de 0,5 x 0,5 m, lançada aleatoriamente na área a partir do qual foi recolhido todo o resíduo vegetal contido no interior. O material recolhido foi secado em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante para determinação da matéria seca. Foi determinada, em cada sistema, a quantidade de serapilheira em quilogramas de matéria seca por hectare, conforme metodologia descrita por Gamo-Rodrigues e Barros (2002).

▪ Umidade do solo

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, na projeção da copa do cafeeiro, acondicionadas em latinhas de alumínio identificadas e levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, onde as amostras foram pesadas em balança de precisão. Posteriormente, foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 105° C, até peso constante, para determinação da porcentagem de umidade de solo, conforme a metodologia de Uhland (1951).

3.5 Análise estatística

A análise estatística das características observadas foi realizada por meio do programa SAEG, versão 9.1. As médias obtidas foram comparadas pelo teste “t” de Student, adotando-se os níveis de significância de 5 e 10% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do desenvolvimento vegetativo do cafeeiro

Nos meses avaliados (janeiro e março), a arborização proporcionou maiores valores de área foliar dos cafeeiros (Tabela 2.3). O aumento da área foliar é um mecanismo utilizado pelos cafeeiros sombreados para proporcionar adequação dos órgãos fotossintetizantes visando ampliar a capacidade de captação de luz. Morais e outros, (2003) e Ricci e outros, (2006) também observaram a expansão da área foliar em cafeeiros associados com árvores. Segundo Gordon (1989), quando a espécie tem capacidade adaptativa para compensar a deficiência de luz ocasionada pelo sombreamento, há aumento da área foliar, o que resulta em aumento da superfície fotossintetizante, de modo que se torna possível a absorção do máximo de luz incidente para a realização da fotossíntese.

Para diâmetro do caule (DCA) e diâmetro da copa (DCO) do cafeeiro não foram verificadas diferenças entre os sistemas nos dois meses estudados (Tabela 2.3). No entanto, constataram-se diferenças para altura dos cafeeiros quando avaliados no mês de março (final da estação chuvosa). Esse incremento em altura observado na segunda avaliação pode ter sido decorrente da diferença na disponibilidade hídrica e melhores condições de ambiente observadas entre os meses de coleta de dados (janeiro e março).

Cafeeiros sombreados com guandu (*Cajanus cajan* L.) no Estado do Paraná apresentaram maior crescimento em altura que as plantas a pleno sol, Morais e outros (2003). No entanto, Coelho e outros (2007) não constataram diferenças em altura, diâmetro do caule e copa em cafeeiros conduzidos a pleno sol e associados com árvores.

Tabela 2.3 - Área foliar (AF), diâmetro do caule (DCA), diâmetro da copa (DCO), altura (ALT), inserção do 1° par de folhas (IF) e comprimento de ramo (CR) de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.

Sistema de cultivo	Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro em janeiro					
	AF (cm ²) *	DCA (cm)	DCO (m)	ALT (m) *	IF (cm) **	CR (cm) **
Sombreado	83,9 A	2,25 A	1,88 A	2,61 A	84,05 A	88,62 A
Pleno sol	35,30 B	2,31 A	1,82 A	2,20 A	62,04 B	60,81 B

Sistema de cultivo	Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro em março					
	AF (cm ²) *	DCA (cm)	DCO (m)	ALT (m) *	IF (cm) **	CR (cm) **
Sombreado	82,70 A	2,27 A	1,93A	2,89 A	73,75 A	73,94 A
Pleno sol	35,14 B	2,55 A	1,82A	2,50 B	55,06 B	56,43 B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a *5% e **10% de probabilidade.

Em relação a IF e CR foram verificadas diferenças entre os sistemas para os dois meses avaliados (Tabela 2.3).

As alterações observadas entre IF e CR nos cafeeiros podem ser atribuídas a diferentes concentrações de fitohormônios, especialmente da auxina (MORAIS e outros, 2004). A restrição de luz promove parcial inativação dos transportadores de auxina (citocromo-oxidase) localizada na face basal do plasmalema das células transportadoras. Tal fenômeno resulta na redução da velocidade de transporte de auxina, elevando sua concentração nos órgãos da parte aérea da planta. Desse modo, o crescimento do vegetal é intensificado, visto a ação da auxina na acidificação, distensão e regeneração da parede celular. Ramos mais comprido e maior diâmetro de caule foram observados em plantas de *Coffea arabica* sombreadas em Cuba (RODRÍGUEZ e outros, 2001).

4.2 Avaliação da deposição de serapilheira e umidade do solo

Nos dois meses de estudo, foram observadas diferenças na taxa de deposição de serapilheira entre os sistemas de cultivo, conforme apresentado na Tabela 2.4. O sistema associado com abacateiro e ingazeiro apresentou, em média, maior quantidade de material vegetal desprendido das plantas presentes no sistema, em janeiro (Tabela 2.4). Analisando a tabela verificou-se redução na quantidade de resíduo acumulado (cerca de 12 t.ha^{-1} de redução) no sistema sombreado, de janeiro (veranico) para março (final da estação chuvosa), sendo resultante da menor queda de folhas. Segundo Dias e Oliveira-Filho (1997), em época seca, o pico de deposição seria ocasionado pela grande queda de folhas, uma resposta da vegetação ao estresse hídrico, em que a abscisão das folhas reduziria a perda de água por transpiração (MARTINS; RODRIGUES, 1999).

A queda de folhas durante a época seca é causada pelo incremento na produção de etileno e a redução da concentração de auxinas, como resposta ao estresse hídrico. Altos níveis de etileno promovem a formação de enzimas que hidrolisam os polissacarídeos e as proteínas das células da parede causando a perda da parede celular, a separação das células e finalmente a abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Vale ressaltar que as árvores que constituem o sistema sombreado não sofreram nenhum tipo de poda, portanto, a serapilheira depositada no sistema de cultivo de café foi oriunda da deposição de folhas e queda de galhos.

Corrêa e outros (2006) avaliaram a produção de serapilheira em diferentes coberturas frutíferas e florestais componentes de um sistema agroflorestal multiestratificado, cuja produção de serapilheira foi de aproximadamente $2,86 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para abacateiro. Campanha e outros 2007, também verificaram em sistema agroflorestal com cafeeiros maior produção de serapilheira que os cafeeiros em monocultura.

Tabela 2.4 – Deposição de serapilheira (DP), umidade do solo (US), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.

Sistemas de cultivo	Janeiro			
	DP (t ha ⁻¹)	US (%)	CC (%)	PMP (%)
Sombreado	32,27 A	13,05 A	20,6	10,1
Pleno sol	1,4 8 B	12,34 B	21,4	10,7
Sistemas de cultivo	Março			
	DP (t ha ⁻¹)	US (%)	CC (%)	PMP (%)
Sombreado	20,27 A	18,58 B	20,6	10,1
Pleno sol	2,52 B	22,18 A	21,4	10,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Em relação à umidade do solo (US), foram observadas diferenças entre os sistemas de cultivo nos dois meses de coleta de dados. No entanto, em março, o sistema a pleno sol apresentou maior teor de umidade no solo (Tabela 2.4). Possivelmente, a intensa abscisão foliar do componente arbóreo verificada no mês de janeiro elevou a deposição da serapilheira, contribuindo para a manutenção de US maior que no sistema a pleno sol. Em março, a maior US verificada no sistema a pleno sol em relação ao sistema sombreado foi resultante da regeneração da copa das árvores, que atuou como anteparo físico à incidência de chuva, restringindo o acúmulo de água no solo. Outro fator importante a ser ressaltado foi a ocorrência da elevada evapotranspiração proveniente da população de árvores e da ausência de manejo de condução das copas que contribuíram para a redução da umidade do solo em sistema associado, mesmo em época chuvosa (março) (Tabela 2.4). Campanha (2001), analisando o comportamento de um cafezal sob sistema agroflorestal e em cultivo solteiro, não observou diferença entre o teor de umidade do solo na camada mais superficial (0-20 cm) para os dois sistemas, tanto pela maior evaporação de água

da camada superficial do solo, como também pela possível presença de maior quantidade de raízes nessa profundidade.

Em sistemas que utilizam espécies arbóreas associadas ao café tem sido observado que o sombreamento promovido pelas árvores pode diminuir a transpiração da cultura e a evaporação do solo, fazendo mais eficiente o uso da água. No entanto, este efeito depende da acertada escolha das espécies arbóreas, já que algumas apresentam alta taxa de transpiração e podem aumentar o consumo de água no sistema.

É interessante ressaltar que o uso de árvores com sistema radicular profundo, tais como a *Grevílea-robusta*, pode aumentar a disponibilidade hídrica no solo após longos períodos de seca nas camadas superficiais do solo (MIGUEL e outros, 1995). É importante enfatizar que a utilização de espécies arbóreas com sistema radicular pouco profundo pode ocasionar considerável competição por água e nutrientes, o que limita o êxito dos cafés arborizados, especialmente em regiões com períodos de seca prolongados (DaMATTA e outros, 2007).

Analisando a variação de US e o ponto de murcha permanente (PMP), verificaram-se melhores condições hídricas para o desenvolvimento do cafeeiro no mês de março para os dois sistemas de cultivo (Tabela 2.4). Para o sistema sombreado, foi observada menor variação de US no período de janeiro a março, (5,53%) em relação ao sistema mantido a pleno sol (9,84%).

4.3 Índice Spad e potencial hídrico foliar

Não houve diferença no índice de SPAD foliar do cafeeiro entre os sistemas avaliados na coleta realizada em janeiro (Tabela 2.5). No entanto, em março foi verificado maior índice Spad em folhas de cafeeiros do sistema sombreado. Possivelmente, a diferença na disponibilidade hídrica ocorrida entre

as duas coletas contribuiu para a diferenciação no índice SPAD entre os meses avaliados. Cai e outros (2005) verificaram que a ocorrência de uma restrição hídrica moderada não alterou os teores de clorofila de plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). Entretanto, sob condição de seca severa, foi observada redução significativa dos teores de clorofila, sendo relacionada à desintegração da membrana por estresse oxidativo. De maneira geral, plantas que possuem plasticidade apresentam aumento nos teores de clorofila, queda na atividade da Rubisco (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase), redução na taxa fotossintética líquida e incremento na área foliar específica quando em ambientes com baixa disponibilidade de radiação (NIINEMETS e outros, 1998; MORAIS e outros, 2004). Segundo Falh e outros (1994) e Carelli e outros (1999) cafeeiros sob sombreamento desenvolvem folhas mais finas possuindo maior número de tilacóides por granum e maior número de grana por cloroplasto. Conseqüentemente a área foliar individual aumentará, resultando em elevação do teor de clorofila.

Tabela 2.5 – Valores da leitura de índice SPAD e potencial hídrico foliar (Ψ_w) de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.

Sistemas de cultivo	Janeiro	
	SPAD	Potencial Hídrico (Ψ_w) MPa
Sombreado	58,66 A	- 1,218 A
Pleno sol	56,20 A	- 0,537 B
Sistemas de cultivo	Março	
	SPAD	Potencial Hídrico (Ψ_w) MPa
Sombreado	55,32 A	- 0,081 A
Pleno sol	45,52 B	- 0,068 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Em relação ao potencial hídrico foliar (Ψ_w), foi observada diferença entre os sistemas de cultivo para a primeira avaliação ocorrida em janeiro, conforme dados descritos na Tabela 2.5. Foram observados menores valores de Ψ_w na primeira avaliação, -1,21 e -0,53 MPa, para o sistema sombreado e a pleno sol, respectivamente. Tal fato pode ser atribuído à resposta da planta ao período de estiagem (veranico) ocorrido devido ao baixo volume de precipitação (Figura 2.1), e conseqüentemente baixos níveis de umidade do solo (Tabela 2.4).

Em fevereiro de 2007 houve um aumento no volume de precipitação e conseqüentemente maior disponibilidade de água no sistema solo-planta-atmosfera, o que possibilitou o aumento gradativo do potencial da água na planta. Em março (final da estação chuvosa) não foi detectada diferença no Ψ_w entre os sistemas em estudo, entretanto, os maiores valores de potencial da água nas folhas foram observados neste período, possivelmente sendo influenciado pela precipitação ocorrida nesta época. Golger e outros (1988) verificaram que, em condições de campo, a fotossíntese foliar foi pouco afetada até potencial de água foliar da ordem de -1,5 MPa. Dessa forma pode-se inferir que não houve estresse hídrico.

4.4 Correlação entre as características edáficas e morfo-fisiológicas

De maneira geral, foi verificada correlação positiva entre os parâmetros de crescimento (CR e AF, ALT, IF; entre IF e AF; entre ALT e IF) quando avaliado em janeiro (Tabela 2.6). Em março (final da estação chuvosa), foram observadas correlações positivas entre CR e AF, ALT; entre IF e AF, DCO e ALT; e entre ALT e AF (Tabela 2.6). Esse comportamento de incremento observado nas características de desenvolvimento vegetativo foi principalmente relacionado com as alterações de radiação solar, promovido pelo componente arbóreo. Segundo Fahl e outros (1994), cafeeiros sombreados desenvolvem

plantas mais altas, suas folhas são maiores e mais finas, permitindo uma melhor captação da energia solar disponível.

Para a avaliação realizada em janeiro, foi observada correlação positiva entre SPAD e DCO, e SPAD e Ψ_w , (Tabela 2.6). Para a correlação entre SPAD e DCO, o fator incidência de luz foi determinante para a semelhança de comportamento entre tais variáveis. Para a correlação entre SPAD e Ψ_w , diferentes fatores de um mesmo sistema resultaram em comportamento semelhante destas características.

Tabela 2.6 – Valores da correlação entre AF (área foliar), DCA (diâmetro de caule), DCO (diâmetro da copa), ALT (altura), IF (inserção 1° par de folhas), CR (comprimento de ramo), SPAD, Ψ_w (potencial hídrico), UG (umidade gravimétrica), SER (serapilheira) de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) em janeiro e março. Barra do Choça, Bahia, 2007.

Janeiro									
Carac	DCA	DCO	ALT	IF	CR	SPAD	Ψ_w	US	SER
AF	-0,13 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,62 [*]	0,73 [*]	0,07 ^{ns}	0,56 [*]	0,68 [*]	0,74 [*]
DCA		0,37 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
DCO			0,03 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,89 [*]	0,50 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,25 ^{ns}
ALT				0,43 ^{ns}	0,75 [*]	0,18 ^{ns}	0,59 [*]	0,72 [*]	0,51 [*]
IF					0,89 [*]	0,37 ^{ns}	0,84 [*]	0,75 [*]	0,89 [*]
CR						0,39 ^{ns}	0,90 [*]	0,87 [*]	0,91 [*]
SPAD							0,73 [*]	0,23 ^{ns}	0,53 [*]
Ψ_w								0,79 [*]	0,93 [*]
US									0,83 [*]
Março									
AF	-0,35 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,82 [*]	0,63 [*]	0,57 [*]	0,89 [*]	0,41 ^{ns}	-0,90 [*]	0,87 [*]
DCA		-0,21 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,82 [*]	-0,83 [*]	-0,43 ^{ns}	-0,87 [*]	0,26 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
DCO			0,19 ^{ns}	0,53 [*]	0,48 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	0,44 ^{ns}
ALT				0,63 [*]	0,61 [*]	0,84 [*]	0,50 [*]	-0,73 [*]	0,93 [*]
IF					0,99 ^{ns}	0,78 [*]	0,75 [*]	-0,64 [*]	0,75 [*]
CR						0,73 [*]	0,77 [*]	-0,59 [*]	0,72 [*]
SPAD							0,47 ^{ns}	-0,82 [*]	0,87 [*]
Ψ_w								-0,31 ^{ns}	0,62 [*]
US									-0,82 [*]

* Significativo ao nível de 10% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.
ns = correlação não significativa.

Como foi discutido anteriormente, verificou-se tendência de maiores valores de SPAD no sistema sombreado. Neste ambiente, também foi verificado maiores valores de CR. Tal fato resultou em crescimento lateral da copa dos cafeeiros, induzindo a um maior DCO. Lunz (2006), avaliando o crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol, também não verificou diferenças no diâmetro da copa dos cafeeiros entre os dois sistemas, no entanto, observou-se nos cafeeiros com maior disponibilidade de radiação, um maior número de nós nos ramos plagiotrópicos primários e um maior comprimento dos internódios desses ramos. Isso evidencia uma maior alongação dos ramos plagiotrópicos nos cafeeiros sob maior sombreamento. Para o sistema sombreado, maiores valores modulares de Ψ_w , foram apresentados na Tabela 2.5, ocorrendo desta forma correlação positiva entre o índice SPAD e Ψ_w (Tabela 2.6). A menor disponibilidade de água na planta possibilitou maiores índices de SPAD (Tabela 2.5).

Maior número de características de crescimento foi correlacionado com o índice SPAD em março (AF, ALT, IF e CR) (Tabela 2.6). Este fato reflete a magnitude mais efetiva de crescimento entre os sistemas decorrentes da disponibilidade hídrica ocorrida em março (final da estação chuvosa) em relação à primeira avaliação realizada em janeiro (veranico). Portanto, o fator luminosidade associado a maior disponibilidade hídrica resultou em maior frequência de correlações entre SPAD e características de crescimento.

Para as duas avaliações foi verificada correlação positiva entre índice SPAD e SER (Tabela 2.6). A diferença marcante entre o acúmulo de serapilheira nos sistemas arborizado e a pleno sol, condicionada pela disponibilidade de luz, resultou nessa correlação. Apesar da diferença quantitativa da serapilheira entre as duas épocas, a presença de diferentes espécies arbóreas, com distintos comportamentos fenológicos, contribuiu para o maior acúmulo de cobertura vegetal sobre o solo nos sistemas sombreados em relação ao mantido a pleno sol.

Em janeiro, verificou-se correlação positiva entre umidade do solo (US) e AF, ALT, IF, CR, Ψ_w (Tabela 2.6). A tendência semelhante entre tais características foi condicionada por fatores que caracterizaram os sistemas a pleno sol e sombreado. Entretanto, o grau de influência de tais fatores sobre cada uma das características avaliadas foi diferenciado. Para US, o fator acúmulo de serapilheira foi determinante, resultando em valores mais elevados sob condição de maior deposição da cobertura vegetal sobre o solo, decorrente da abscisão foliar mais intensa nessa época do ano. O grau de restrição de luz atingiu diretamente as alterações morfológicas observadas neste estudo, ocorrendo estiolamento das plantas mantidas sob maior índice de sombreamento. O maior valor em módulo do potencial da água disponível na planta foi relacionado a menor capacidade de absorção de água pelas raízes e as maiores taxas de transpiração dos sistemas arborizados. Freitas e outros (2003), estudando a influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café verificaram maiores taxas de transpiração, com base em unidade de área foliar, em plantas sob 70% de restrição de luz. Embora tal informação seja divergente do disposto em vários estudos (DaMATTA, 2004; BOTE, 2007), a condição de restrição hídrica, associada ao menor desenvolvimento do sistema radicular pode resultar neste comportamento.

Em março, foi verificada correlação negativa entre umidade do solo (US) e AF, ALT, IF, CR (Tabela 2.6). Tal efeito, inverso ao observado em janeiro, foi relacionado, principalmente, às alterações da umidade do solo e manutenção do comportamento relativo ao crescimento vegetativo. No mês de março, menor US, determinada no sistema sombreado em relação ao sistema a pleno sol, resultou do menor índice de abscisão foliar, ocasionando redução da deposição de serapilheira e maior interceptação da chuva pela copa das árvores. Kanten e Vaast (2006), em estudos realizados com cafezais arborizados na região Sudoeste da Costa Rica, com índices pluviométricos de 3.500 mm anuais,

verificaram que a umidade do solo foi estreitamente relacionada às características do componente arbóreo. No estudo citado, a US foi elevada em sistemas com menor número de árvores por área e árvores com copas menos densas. Entretanto, quando a US dos cafezais arborizados foi comparada com o sistema mantido a pleno sol, resultados divergentes ao do presente estudo foram verificados. A exposição direta do solo à radiação solar nas entrelinhas dos cafezais a pleno sol teve maior efeito que a barreira física imposta pela presença do componente arbóreo. Entretanto, para as características de crescimento, comportamento semelhante foi observado para as duas épocas de avaliação, pois o fator restrição de incidência de luz foi mantido nos sistemas, ocorrendo variações apenas em sua intensidade.

Comportamento diferenciado entre as duas épocas de avaliação foi observado para a relação entre US e SER, sendo verificada correlação positiva para o mês de janeiro e negativa para o mês de março. A presença do componente arbóreo foi o fator preponderante para a definição de tal comportamento. Em janeiro a presença das árvores favoreceu o acúmulo de serapilheira aumentando, a US; em março, as características da copa mais densa resultaram em barreira física que contribuiu para a restrição da exposição do solo à precipitação, reduzindo a US, embora também tenha sido observada deposição de cobertura sobre o solo.

O valor modular Ψ_w foi positivamente correlacionado com as características de ALT, IF e CR nas duas avaliações. Para DCA foi verificada correlação negativa em março (Tabela 2.6). Semelhantemente as demais considerações realizadas sobre os sistemas, foram verificadas que diversos são os fatores que determinam tais ambientes, sendo as características de desenvolvimento vegetativo diretamente relacionadas às variantes de luminosidade. Para Ψ_w , a capacidade de absorção de água das raízes em relação

às taxas de transpiração foliar, impostas por outros fatores dos sistemas determinaram essa tendência de comportamento.

5 CONCLUSÕES

- ❖ O cafeeiro em sistema arborizado, sob menor disponibilidade de radiação solar, apresentou modificações morfofisiológicas, como maiores valores da área foliar, da inserção do primeiro par de folhas, do comprimento de ramo e altura, quando comparado com o sistema a pleno sol, independentemente do período de avaliação;
- ❖ Tanto no período de veranico como no final da estação chuvosa a deposição de serapilheira foi superior no cafeeiro em sistema sombreado, em comparação com o sistema a pleno sol;
- ❖ Para as folhas do cafeeiro no sistema sombreado foi verificado maior índice SPAD em relação ao sistema e a pleno sol, em março (final da estação chuvosa);
- ❖ Em janeiro (veranico) os sistemas sombreado e a pleno sol apresentaram menor teor de umidade do solo, comparado com a avaliação em março.

CAPÍTULO III

TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO EM CAFEIROS EM SISTEMA A PLENO SOL E ASSOCIADOS COM ABACATEIRO (*PERSEA AMERICANA*) E INGAZEIRO (*INGA EDULIS*) EM BARRA DO CHOÇA, BAHIA

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura comumente conduzida sob sistema agroflorestal na América Central, no Norte da América do Sul e em algumas regiões do Nordeste do Brasil, devido a sua grande adaptação às condições de sombreamento.

A proposta de cultivos associados busca, por meio do sombreamento moderado, atenuar as ocorrências climáticas extremas e proporcionar maior sustentabilidade aos sistemas.

Os nutrientes minerais acumulam-se nos diferentes compartimentos celulares, podendo atuar como reguladores do metabolismo. O nitrogênio (N) é o elemento mineral exigido em maiores quantidades, sendo a sua disponibilidade frequentemente limitante ao crescimento de plantas cultivadas e nativas. Este elemento faz parte da estrutura de um grande número de moléculas para as células. Exemplos importantes são os aminoácidos, as proteínas estruturais e enzimáticas, ácidos nucléicos (DNA, RNA) e clorofilas. O próprio processo fotossintético é significativamente afetado pela deficiência de N uma vez que o seu funcionamento depende de proteínas como a rubisco e as dos fotossistemas complexos antenas, além de grande quantidade de clorofilas.

O nitrato é a principal forma nitrogenada absorvida pelas plantas, independentemente da forma química pelo qual o nitrogênio é aplicado ao solo. A enzima redutase do nitrato (RN) está envolvida com a etapa inicial da redução do nitrato a amônio. Além disso, sabe-se que o nitrato é o composto nitrogenado inorgânico mais abundante na seiva xilemática.

A luz, o NO_3^- e os carboidratos interferem a atividade da RN em níveis de transcrição e tradução. A RN é uma enzima passível de indução pelo substrato (NO_3^-). Evidências indicam que a influência da luz pode ser devido a um efeito geral na síntese de proteínas e não diretamente na RN.

De maneira geral, a fotossíntese é responsável pela produção de carboidratos necessários para o crescimento vegetativo e reprodutivo da planta. Uma vez diminuída a taxa fotossintética da planta por estresses ambientais a produção do cafeeiro também é afetada. Neste caso, o acompanhamento nutricional da planta se faz necessário para manter e/ou aumentar a produtividade, fato que reforça a importância da análise foliar.

A nutrição nitrogenada é de grande importância para o desenvolvimento e produtividade do cafeeiro. Entretanto, na maioria das vezes os estudos são realizados com mudas de cafeeiro, ou com cafeeiros adultos, mas utilizando tela de sombrite. Desta forma, torna-se de essencial importância a realização de pesquisas para a compreensão da dinâmica do metabolismo de nitrogênio em cafeeiros em condição de campo.

Considerando esses aspectos, aliado à necessidade de informações a respeito do sistema nutricional do cafeeiro, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do sombreamento sobre os teores foliares de nitrogênio e o metabolismo de assimilação do nitrato em cafeeiros cultivados em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), na estação úmida, em período de veranico e final da estação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O nitrogênio e a capacidade fotossintética do cafeeiro

No Brasil, as cultivares de café foram selecionadas a pleno sol, por isso as mesmas apresentam, potencialmente, adaptações à elevada irradiância (DaMATTA; RENA, 2002). Contudo, a baixa relação entre as clorofilas a e b, que são próprias das plantas de sombra, tem sido mantida nas folhas expostas ao sol (FAHL e outros 1994; DaMATTA; MAESTRI, 1997).

A radiação solar é o fator que, por sua ação dominante sobre a fotossíntese, traduz realmente melhor as potencialidades do meio que intervêm na produção de um cultivo, à medida que outros fatores (hídricos, minerais e pragas) não sejam limitantes. Portanto, quando o crescimento não estiver limitado por água ou nutrientes, a quantidade de biomassa produzida por uma espécie é limitada pela quantidade de energia radiante que sua folhagem pode interceptar (BLACK; ONG, 2000).

A capacidade fotossintética de folhas de café, em resposta as mudanças nos níveis de irradiância é positivamente correlacionada com seu teor de nitrogênio (N) (FAHL e outros, 1994; CARELLI e outros, 1999; ANDRADE NETO, 2005). O processo de aclimação à irradiância é fortemente dependente de N, importante para a síntese dos componentes do aparato fotossintético (RAMALHO e outros, 1997, 1998).

Em meio a outros fatores, o N aumenta tanto a atividade como a concentração da Rubisco (RAMALHO e outros, 1999) e a espessura do mesofilo, isto é, maior volume celular por unidade de área (FAHL e outros, 1994). Dessa maneira, reduz-se a pressão de excitação sobre os fotossistemas e, em última análise, reduz-se a probabilidade de ocorrência de danos

fotoinibitórios e fotooxidativos (DaMATTA; RENA, 2002). Este fato possivelmente está associado a maior fotoproteção, via aumentos na dissipação térmica (em virtude do maior conteúdo de xantofilas e carotenos), e a alteração na estrutura membranar, atenuando a ocorrência de danos celulares, como se observam em cafeeiros adequadamente supridos com N, mas não nos deficientes (RAMALHO e outros, 1998, 2000).

Carelli e outros (1990) trabalharam com o efeito da quantidade de luz (50 e 100%) e o fornecimento de N sobre a ação da enzima redutase do nitrato, bem como o teor de nitrato e a quantidade de açúcares nas folhas de plantas jovens de café (*Coffea arabica* L.). Os autores observaram que a atividade da redutase do nitrato foi menor nas folhas de plantas a pleno sol do que nas folhas das plantas com 50% de sombreamento. A taxa de transpiração e os teores de açúcares e de nitrato aumentaram nas plantas expostas ao sol, indicando que a disponibilidade de substrato (NO_3^-) e energia (carboidrato) não são as únicas características que limitam a assimilação redutiva do N. Este comportamento não foi devidamente explicado diferindo daquele que é observado na maioria das plantas. Entretanto, Khouri (2007) estudando a atividade da redutase do nitrato, teores de nitrogênio e de carboidratos em cafeeiro influenciados pelo sombreamento e estágio fenológico, verificou níveis superiores de açúcar solúvel e açúcar não redutor total nas plantas sob 48% de sombreamento, quando comparadas com plantas a pleno sol. Essa discrepância de comportamento foi relacionada aos diferentes estágios de desenvolvimento dos dois estudos. No estudo realizado por Carelli (1990), as plantas jovens direcionaram os fotoassimilados para síntese de carboidratos estruturais; no estudo realizado por Khouri (2007), o desenvolvimento das estruturas vegetativas no terço médio encontrava-se estabilizado. Embora tenha ocorrido maior número de frutos em condição de sombreamento, tais observações foram realizadas em ano de baixa produção.

Os estudos sobre os fatores que afetam o uso e a distribuição de assimilados em cafeeiro mostraram forte influência dos frutos em desenvolvimento sobre a produção e a partição da matéria seca. No estágio de expansão rápida, o fruto pode drenar 95% do N (Cannel, 1985 citado por Reis, 2007), freqüentemente causando deficiência de nitrogênio na folha e restringindo crescimento vegetativo (AMARAL e outros, 2001).

Nos sistemas sombreados, o componente arbóreo pode contribuir na manutenção da ciclagem de nutrientes através de suas raízes que exploram um volume maior de solo, principalmente em maiores profundidades, contribuindo na redução de perdas de nutrientes pela lixiviação e no fornecimento de nitrogênio quando se utiliza espécies fixadoras (PALM 1995 citado por CAMPANHA, 2001).

2.2 Redução do nitrato e assimilação do nitrogênio em cafeeiros

O nitrogênio atua em processos vitais para as plantas desde a síntese de proteínas até a utilização em demais compostos orgânicos, por isso é alvo de vários estudos, além disso, é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do café, o segundo mais translocado para os grãos e o mais exportado (CATANI; MORAES, 1958). Se não houver fatores limitantes presentes, um adequado fornecimento de nitrogênio irá promover rápido desenvolvimento vegetal, especialmente através do aumento no número de folhas, ramos plagiotrópicos, número de nós por ramo, o número de flores e frutificação, em conjunto estão associados com rendimentos mais elevados no café (FAHL e outros, 1994; NAZARENO e outros, 2003). Além disso, é o N um fator decisivo para a proteção do cafeeiro contra a fotoinibição da fotossíntese quando as

plantas são expostas a alta irradiância, uma vez que promove o desencadeamento e reforço dos mecanismos de proteção (NUNES e outros 1993).

A redutase de nitrato (RN) é considerada enzima chave na regulação do metabolismo do N, já que o nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido a NH_4^+ antes de ser incorporado em compostos orgânicos nas raízes ou na parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2004). É responsável por catalisar o primeiro passo enzimático da assimilação de nitrogênio pelas plantas superiores por meio da redução do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) (OAKS, 1994; YANEVA e outros, 2000).

A enzima RN está localizada, primariamente, no citossol das células corticais da epiderme da raiz e nas células mesofílicas da parte aérea (RUFTY e outros 1986; VAUGHN; CAMPBELL, 1988).

Essa enzima (RN) é uma flavoproteína, formando um complexo com o Heme-Fe e molibdênio, uma pterina ou molibdopterina. É um homodímero, composto de duas subunidades idênticas de ~100 U, cada uma contendo três cofatores - FAD, heme-Fe e molibdênio cofator MoCo – que fornecem o centro redox que facilita a cadeia de reações de transferência de elétrons do NAD(P)H para o nitrato, reduzindo-o a nitrito. A RN possui cerca de 917 resíduos de aminoácidos em cada subunidade, cada um deles contendo todos os cofatores (CAMPBELL, 1999). A maioria das formas da RN na planta utiliza NADH como redutor, o qual é produzido no citossol e não NADPH, produzido no cloroplasto (SOLOMONSON; BARBER, 1990).

As plantas assimilam os íons nitrato disponíveis no solo, sendo este considerado a melhor fonte de nitrogênio. A redução do nitrato a nitrito sofre influência de fatores bióticos e abióticos decorrente da sazonalidade e da variação da concentração dos íons nitrato no solo, desta forma observou-se que na primavera os solos apresentavam uma concentração inicialmente alta de íons nitrato vindo a sofrer uma diminuição gradativa a partir do momento em que as

plantas aumentavam a absorção deste, sendo assim as flutuações sazonais na temperatura e nos fatores edáficos influenciam as plantas no consumo de nitrato (CRAWFORD; GLASS 1998 citados por GALLO, 2001).

O nitrato é facilmente transportado na planta e pode ser assimilado tanto em folhas e raízes. A redução do nitrato entre raízes e brotos poderá variar de acordo com espécies vegetais, idade e fatores ambientais. Na maioria das plantas herbáceas a redução do nitrato ocorre predominantemente em folhas (ANDREWS e outros, 1986; GOJON e outros, 1994), enquanto estudos sobre a concentração de nitrato no xilema e exsudados de seiva *in vivo e in vitro* demonstraram que a redução da RN em espécies lenhosas, a maior parte da sua redução ocorre nas raízes (CRUZ e outros 1991, 1993).

Segundo Tischiner (2000), após a redução dos íons nitrato, os íons nitrito são transferidos para os cloroplastos ou plastídeos das raízes sendo em seguida reduzido a íons amônio pela enzima redutase do nitrito (NRi). Com base nestes e outros trabalhos, verificou-se que o nitrito atua como um íon intermediário deste processo de assimilação do nitrogênio, sendo o mesmo de caráter enzimático.

O excesso de amônio no cloroplasto é prejudicial aos vegetais, pois compromete o fluxo de elétrons pela redução do gradiente de pH entre o estroma (pH elevado, presença de OH⁻) e o lume (pH baixo, presença de H⁺). O amônio (NH₄⁺) no estroma reage com a hidroxila (OH⁻) e forma amônia (NH₃) provocando o abaixamento do pH (BLOOM, 1997).

Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para outros compostos orgânicos por meio de diversas reações, incluindo a transaminação. A interconversão entre glutamina e asparagina sintase equilibra o metabolismo do carbono e do nitrogênio (CORUZZI; BUSH, 2001).

Trabalhando com plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e de nitrogênio Carelli e outros (1990) observaram que plantas cultivadas a pleno sol apresentaram menor atividade da redutase do nitrato em relação às plantas sombreadas, embora possuíssem teores elevados de açúcares totais (fonte de energia) e de nitrato (substrato).

Queiroz e outros (1993) e Andrade Netto (2005) estudaram a atividade da redutase do nitrato durante um ciclo diário e observaram que a atividade da enzima decresceu durante o período luminoso, vindo a aumentar nas primeiras horas do escuro, estabilizando à noite.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O estudo foi conduzido nos municípios de Barra do Choça - BA no período janeiro a março de 2007 na Fazenda Rio dos Porcos e em Vitória da Conquista – BA no mês de fevereiro de 2007, no Campus experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

3.1.1 Caracterização das áreas

O município de Barra do Choça - BA localiza-se nas coordenadas geográficas 14°51' de latitude Sul e 41°08' de longitude Oeste e altitude de 860 m. O clima é classificado como Tropical Sub-úmido, com precipitação pluviométrica média de 900 a 1200 mm/ano, tendo como período de concentração das chuvas os meses de novembro a março. Apresenta temperatura média anual entre 19,6 e 20,2 °C.

A área experimental em Vitória da Conquista está localizada a 14° 53' de latitude Sul e 40° 48' de longitude Oeste e altitude de 870 m. O clima predominante na região é do tipo sub-úmido, com precipitação pluvial anual de 900 mm/ano e período de maior pluviosidade corresponde entre os meses de novembro a abril. Apresenta temperatura média anual de 20,2 °C.

Os dados referentes à precipitação pluviométrica obtida antes e durante o período de condução do experimento estão apresentados nos capítulos II e III, respectivamente nas Figuras 2.1 e 3.1.

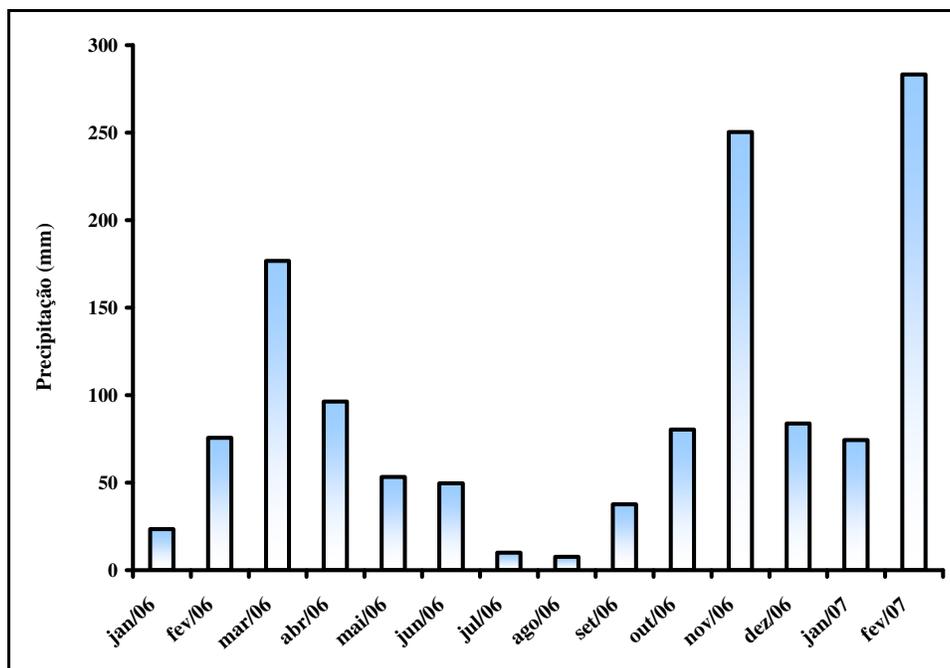


Figura 3.1 - Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de janeiro de 2006 a fevereiro de 2007. Vitória da Conquista, Bahia, 2007.

Fonte: Instituto Nacional de meteorologia - INMET/ Vitória da Conquista – BA, 2007.

3.1.2 Caracterização química do solo da área experimental

Para caracterização química do solo foram coletadas 5 amostras de solo na camada de 0-20 cm na área sob a projeção da copa dos cafeeiros, que formaram as amostras compostas. As análises foram efetuadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia cujas características químicas foram apresentadas nas Tabelas 2.1, 2.2 e 3.1, respectivamente capítulos II e III.

Tabela 3.1 - Características químicas do solo de cafezais sombreado e a pleno sol. Vitória da Conquista, Bahia, Março de 2007.

Sistemas	pH	mg/dm ³		Cmol _e /dm ³ de solo							%	
	H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺³	Al ⁺³	H ⁺	S.B	t	T	V	M
Sombreado	5,3	9	0,31	2,0	1,0	0,2	3,0	3,3	3,5	6,5	51	6
Pleno Sol	5,9	8	0,64	2,4	2,2	0,0	2,2	5,2	5,2	7,4	70	0

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca de cátions efetiva do solo; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V%: índice de saturação de bases trocáveis; m: índice de saturação do alumínio trocável.

3.2 Descrição do experimento

a) Experimento 1: Sistemas de cultivo de cafeeiro em Barra do Choça – BA

O presente trabalho foi realizado em uma lavoura cafeeira com dez anos de implantação, sendo conduzidos no manejo orgânico. O experimento foi composto por dois sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí.

- **Café em sistema sombreado** - As amostras analisadas foram folhas do terço superior e médio retiradas de plantas de *Coffea* plantadas no espaçamento 3 x 1 m e associado ao abacateiro (*Persea americana*) e ao ingazeiro (*Inga edulis*), dispostos em espaçamento irregular, conforme mostra a figura 2A. Este sistema foi roçado uma vez por ano, antes da colheita e não foram realizadas podas de manejo do sombreamento causado pelas espécies arbóreas. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) global foi de 1782 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo 17 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na copa do cafeeiro e 69 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ entre linhas. O sistema apresentou 96,2% de sombreamento.

- **Café a pleno sol** - sistema constituído apenas por cafeeiros dispostos em espaçamento 3 x 1 m, conforme mostra a figura 2A. O cafeeiro foi adubado uma

vez por ano, roçado quatro vezes no ano e feita uma capina. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) global foi de 1842 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, sendo 76 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na copa do cafeeiro e 1787 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ entre linhas. O sistema apresentou 3% de sombreamento.

b) Experimento 2: Sistemas de cultivo de cafés em Vitória da Conquista – BA

Para avaliação da cinética enzimática da RN foram coletadas folhas do 3° e 4° par na porção superior do cafeeiro, com cinco anos de implantação, na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. O experimento foi composto por dois sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí.

- **Café em sistema sombreado:** neste o café está plantado no espaçamento de 3 x 1 m e associado à grevilea (*Grevillea robusta*), espécie arbórea utilizada para sombreamento, dispostas em espaçamento 6 x 6 m, conforme mostra a figura 2C.

- **Café a pleno sol** - sistema constituído apenas por cafeeiros dispostos em espaçamento 3 x 1 m, conforme mostra a figura 2C.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento adotado no experimento foi em campos experimentais, com dois tratamentos (sistema sombreado e sistema a pleno sol) e duas épocas de avaliação (janeiro e março), com cinco repetições, constituído de uma planta por parcela.

3.4 Variáveis avaliadas

3.4.1 Análise química de folhas do cafeeiro

A análise química para determinação do teor do nitrogênio total foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

As folhas utilizadas na análise química foram provenientes das análises da redutase do nitrato. O material vegetal coletado foi acondicionado em sacos de papel, identificados e levados para estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas. Após o resfriamento do material realizou-se a medição de matéria seca (g), utilizando-se uma balança de precisão. Posteriormente as folhas secas foram trituradas em moinho tipo Willy e preparado para determinação do nitrogênio pelo processo semimicro Kjeldahl, conforme descrito por Silva e Queiroz (2002) e a determinação do nitrato segundo metodologia proposta por Cataldo e outros (1975).

3.4.2 Determinação do teor de nitrogênio

O nitrogênio total foi determinado utilizando o processo de digestão sulfúrica, pesando inicialmente 0,2 g de MS a qual foi transferida para tubo de digestão, onde foi adicionado 2 g de mistura digestora (sulfato de sódio a 10% + sulfato de cobre pentahidratado a 1%) e 5 ml de ácido sulfúrico. Iniciou-se a digestão em temperatura moderada e após atingir a temperatura máxima de 400 °C os tubos permaneceram aproximadamente por 01:00h até ocorrer o clareamento da solução. Para a destilação utilizou-se o volume de NaOH a 50% suficiente para neutralizar o ácido e deixar o meio alcalino, liberando assim a amônia, a qual foi fixada em solução indicadora de ácido bórico 2% + vermelho

de metila 0,1% + verde de bromocresol 0,1%. Em seguida, fez-se a titulação com ácido clorídrico 0,1N.

3.4.3 Determinação do teor de nitrato

Para determinação do nitrato foliar pesou-se 100 mg de cada amostra triturada e suspendeu-a em 10 ml de água deionizada, incubando o conjunto a 45°C em banho maria, por 01:00h. Após centrifugação da suspensão aquosa a 5000 rpm por 16 minutos, retiraram-se alíquotas de volume não superior a 0,2 ml do sobrenadante, adicionando 0,8 ml de AS – H₂SO₄ 5% sob agitação constante. Depois de 20 minutos à temperatura ambiente, adicionou-se lentamente 19 ml de NaOH 2N. Após resfriar novamente a amostra a temperatura ambiente, fez-se a leitura em espectrofotômetro a 410 nm.

3.4.4 Determinação de N-orgânico

A determinação de N-orgânico foi obtida pela diferença entre os teores de N-total e de nitrato.

3.4.5 Atividade da enzima redutase do nitrato (RN)

A determinação enzimática foi realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

A determinação da atividade da RN foi feita empregando-se o ensaio “*in vivo*” por Queiroz e outros (1991), com intervalo de 06:00 h entre as avaliações, efetuadas às 06:00 h, 12:00 h e 18:00 h. Esse procedimento foi adotado para permitir a comparação da ação enzimática nas diferentes condições de

luminosidade do experimento (pleno sol e sombreado) ao longo do período luminoso.

Foram coletadas folhas do 3° e 4° par, na porção superior e mediana do cafeeiro, armazenadas em sacos plásticos em caixa de isopor com gelo e transportadas até o laboratório.

No laboratório, foram obtidos com auxílio de um perfurador discos foliares com 0,5 cm de diâmetro, os quais foram colocados em tubo de ensaio contendo 5 ml do meio de incubação. Esse meio era composto de tampão fosfato ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 / \text{NaH}_2\text{PO}_4$) 100mM, pH7, 5, KNO_3 200mM.

Após a imersão, as amostras foram transferidas ao dessecador e submetidas à infiltração a vácuo (650 mmHg) por 1 minuto, e novamente, vácuo por 2 minutos, com a finalidade de aumentar a penetração da solução nos tecidos. Posteriormente, os tubos de ensaio envoltos em papel alumínio contendo o material vegetal foram incubados em banho-maria a 30°C por 40 minutos. Retiraram-se alíquotas de 1 ml do substrato, adicionando a cada uma 1 ml de sulfanilamida a 1% em HCl 3N e 1 ml de dicloridrato de N-1-naftiletileno diamina 0,02%. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm, sendo a atividade da enzima determinada pela quantidade de nitrito produzida, comparando os valores obtidos com uma curva padrão para esse íon, previamente estabelecida. Os resultados obtidos dessa variável foram expressos em $\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

3.4.6 Cinética enzimática: estudo do tempo de incubação no sistema de cultivo em Vitória da Conquista, Bahia

A coleta das folhas do terço superior do cafeeiro foi realizada às 07:00 h em fevereiro de 2007, nos sistemas sombreado e a pleno sol.

A atividade “*in vivo*” da redutase do nitrato foi determinada de acordo metodologia de Queiroz e outros (1991), com os seguintes intervalos de incubação das amostras: 2,5 min; 5 min; 7,5 min; 10 min; 20 min; 30 min; 40 min; 50 min e 60min. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm, sendo a atividade da enzima determinada pela quantidade de nitrito produzida, comparando os valores obtidos com uma curva padrão para esse íon, previamente estabelecida. Os resultados obtidos dessa variável foram expressos em $\mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MS}$.

3.5 Procedimento estatístico

A análise estatística das características observadas foi realizada por meio do programa SAEG, versão 9.1, e as médias obtidas entre os referidos tratamentos (sombreado e a pleno sol) foram submetidas ao teste “t” de Student.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

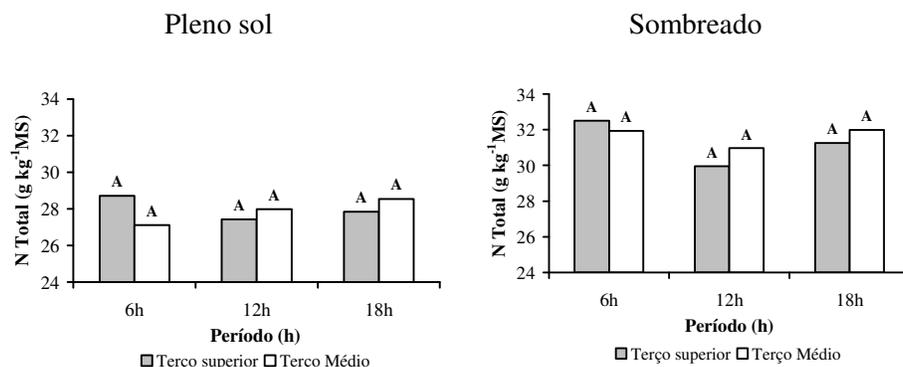
4.1 Teores de nitrogênio total (NT) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*)

Em janeiro (Figura 3.2) para todos os horários avaliados não houve diferença do teor de N total entre os terços superior e médio dos cafeeiros tanto no sistema a pleno sol quanto no sistema sombreado (café x ingá x abacateiro). Resultado semelhante foi observado por Khouri (2007) em estudos realizados sobre teores de N total entre os terços de cafeeiro mantidos sob gradientes de 0% a 48% de sombreamento.

Quando as avaliações foram realizadas em março (final da estação chuvosa), no sistema a pleno sol, o teor de NT avaliado às 12:00h e às 18:00h foi maior no terço superior dos cafeeiros em comparação ao terço médio (Figura 3.2). Comportamento contrário foi observado no sistema sombreado, ocorrendo maiores médias de NT no terço médio (Figura 3.2).

A diferença na disponibilidade hídrica ocorrida entre as duas épocas de avaliação (janeiro e março) foi o fator determinante para a diferenciação do teor de NT no perfil da planta, pois embora a água seja necessária para a fotossíntese, sua grande importância está na manutenção da hidratação do protoplasma (MORAIS e outros, 2003). Somente quando os índices de pluviosidade foram elevados, as diferenças de teores de NT entre o terço superior e médio foram observadas (Figura 3.2).

JANEIRO



MARÇO

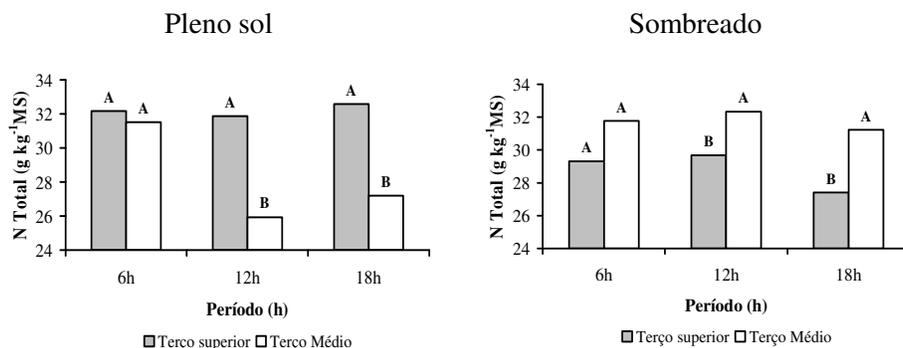


Figura 3.2 – Teores de N total foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

Para a avaliação realizada em março, o maior teor de NT verificado no terço superior das plantas mantidas a pleno sol foi relacionado ao metabolismo de carbono mais intenso neste extrato, pois as folhas deste terço recebem maior radiação ocorrendo intenso crescimento vegetativo (crescimento de ramos,

folhas e número de nós). Diferentemente, no terço médio devido ao auto-sombreamento, assim como a capacidade fotossintética, o metabolismo de N também foi limitado. Segundo vários autores, o teor de N foliar tem função foto-protetora em respostas as alterações na irradiância, sendo correlacionado positivamente com a capacidade fotossintética das folhas do cafeeiro (FAHL e outros 1994; CARELLI e outros, 1999; CARELLI; FAHL, 2005).

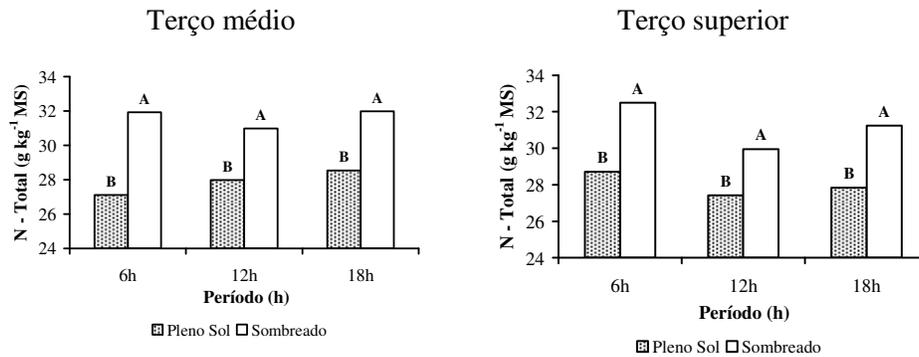
Para o sistema sombreado nesta mesma avaliação (Figura 3.2), sugere-se que as maiores médias observadas no terço médio do cafeeiro, ocorreram devido à presença de folhas completamente formadas e aclimatadas em relação ao terço superior. Tal comportamento possibilitou disponibilidade de esqueletos de carbono e o poder redutor no metabolismo celular para os frutos, que se constituíram nos drenos principais desse estrato. Devida a restrição da radiação promover redução do florescimento, ocorreu um superávit desses produtos, que resultaram em elevação do teor de NT foliar. Ao avaliar os teores de N orgânico foi observada a importante contribuição desta fração neste comportamento, conforme será discutido posteriormente.

Em janeiro, para o terço médio e terço superior dos cafeeiros verificou-se diferenças em todos os horários de avaliação, com o sistema sombreado apresentando maior teor de NT foliar (Figura 3.3). O efeito do sombreamento sobre os sistemas avaliados em janeiro (verânico), contribuiu para o aumento da assimilação de carbono e nitrogênio (Figura 3.3). O componente arbóreo contribuiu na manutenção da umidade do solo, na redução de perdas de nutrientes, e também no fornecimento de nitrogênio, visto que neste sistema tem-se uma espécie leguminosa. Além disso, as folhas do cafeeiro cultivado sobre sombra são maiores, com menor massa de matéria seca e menor massa específica, proporcionando melhor interceptação da energia disponível no sistema. Visto que os níveis de radiação e temperatura sobre os cafeeiros, bem como água e nutrientes disponíveis para a planta, são fatores importantes na

regulação da atividade fotossintética (MORAIS e outros, 2003). Os teores de NT encontrados assemelham-se com resultados descritos por Andrade Netto (2005), trabalhando com a atividade da redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica, cultivado a pleno sol e a meia sombra.

Quando as avaliações foram realizadas em março (final da estação chuvosa), foi detectado comportamento contrário entre os sistemas, ocorrendo maiores médias do teor de NT no sistema sombreado, quando avaliado o terço médio, enquanto que no terço superior as maiores médias foram observadas no sistema a pleno sol (Figura 3.3). Em estudo realizado na Etiópia, Bote (2007) verificou maiores teores de N foliar em cafezais arborizados, em comparação aos mantidos a pleno sol. Entretanto, a partir das observações realizadas no presente trabalho, torna-se evidente a variabilidade de comportamento dos sistemas, quando diferentes estratos da copa do cafeeiro são analisados. Tal divergência de comportamento em relação aos teores de NT foi relacionada à concentração de carga de frutificação. Para os cafeeiros mantidos a pleno sol, foi verificada maior concentração de carga de frutificação no terço médio da copa dos cafeeiros; para os cafeeiros arborizados, o maior pagamento de frutos foi observado no terço superior. Segundo Vaast e outros (2005), em estudo realizado em cafeeiros com cinco anos de idade, cv. Costa Rica 95, o transporte de fotoassimilados para os frutos foi quatro vezes superior ao observado para os ramos durante o terceiro ciclo de produção da cultura. Em decorrência dessa elevada capacidade de acúmulo de carboidratos, Cannel (1985 citado por DaMATTA e outros, 2008), verificou que, na fase final de crescimento, os frutos podem acumular até 95% do N absorvido, constituindo-se, desta forma, também em um potente dreno deste nutriente. Dwomoh e outros (2008) verificaram relação linear positiva entre doses de N fornecidas a cafeeiros e níveis de N dos frutos.

JANEIRO



MARÇO

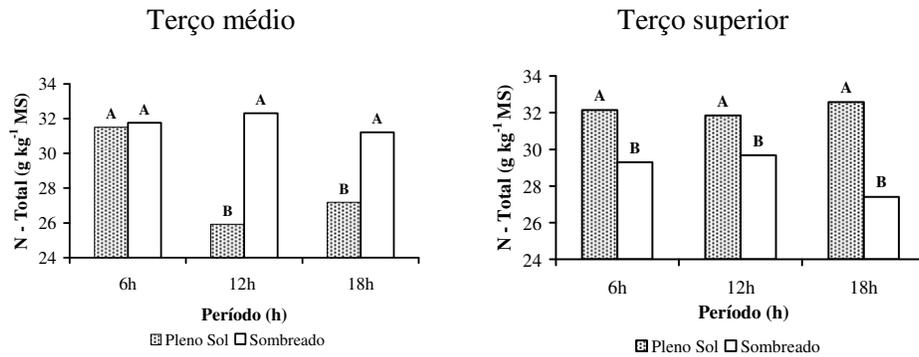


Figura 3.3 – Teores de N total foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

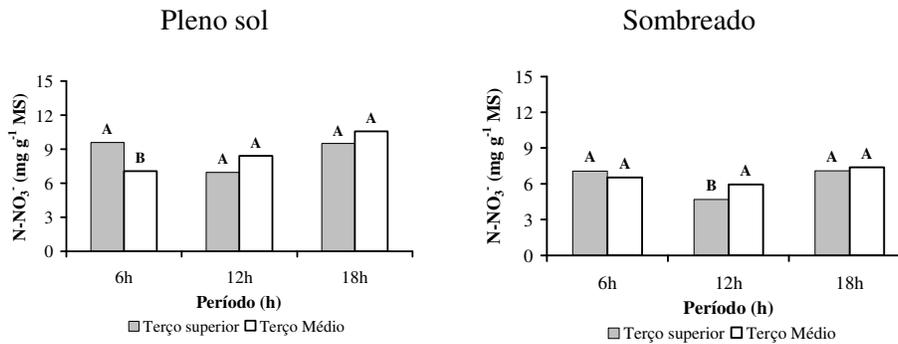
4.2 Teores de nitrato (NO₃⁻) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*)

Uma análise geral sobre o comportamento do teor de nitrato (N-NO₃⁻) revelou que ocorreram diferenças entre os dois terços do cafeeiro cultivado a

pleno sol e sombreado em janeiro, às 06:00h e às 12:00h, respectivamente (Figura 3.4).

Em março o teor de NO_3^- foliar diferiu às 18:00h para o sistema a pleno sol (Figura 3.4), enquanto que no sistema sombreado foi detectado diferença às 06:00h e às 12:00h (Figura 3.4). Analisando os dois sistemas no mesmo período de avaliação, notam-se teores mais elevados de N-NO_3^- no terço superior do cafeeiro em todo período de coleta, com exceção das 18:00h no sistema sombreado, que apresentou comportamento contrário (Figura 3.4). De modo geral, verificou-se variação nos teores de nitrato nos dois sistemas nas duas épocas avaliadas ao longo de todo ciclo diurno. Resultado divergente foi verificado por Queiroz e outros (1993), trabalhando com mudas de cafeeiros Catuaí vermelho em casa de vegetação com seis meses de idade. Estes autores observaram um aumento gradual no teor de nitrato durante o ciclo fotoperiódico, entre 06:00 e 18:00 h. No entanto, entre 18 e 24 horas, o nitrato foliar decresceu. Essa aversão de comportamento foi relacionada aos diferentes estágios dos dois estudos. Para estudo realizado por Queiroz e outros (1993), as plantas jovens estavam em casa de vegetação, ambiente totalmente controlado e possuíam particularidades anatômicas das folhas e características metabólicas diferentes de plantas em condição de campo que possuíam estruturas vegetativas já estabilizadas, além disso, os cafeeiros apresentavam carga de frutificação. Em estudos realizados por Amaral e outros (2001) em café arábico em Viçosa – MG, verificaram que embora a presença de frutos nas plantas condicione maior fluxo de nitrato às folhas, o conteúdo de N-NO_3^- foliar em cafeeiros com e sem frutificação foi semelhante. Tal comportamento foi relacionado a maior atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas de plantas com frutos, concomitantemente ao grande direcionamento de transporte de N - NH_4^+ das folhas para os frutos.

JANEIRO



MARÇO

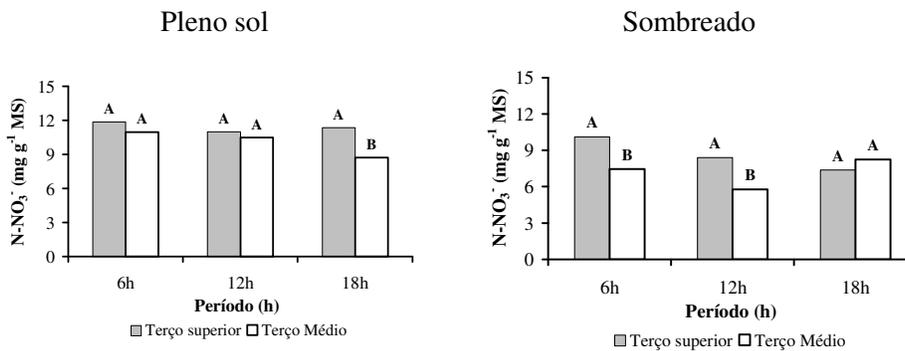


Figura 3.4 – Teores de N – NO₃⁻ foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

Acredita-se, que as maiores médias de nitrato observadas no terço superior dos dois sistemas avaliados em março, se devem a maior disponibilidade hídrica, resultando em maior transpiração ocorrida nas folhas neste período (Figura 3.4). Devido ao nitrato ser transportado preferencialmente através do xilema, pelo processo da corrente transpiratória, tal condição pode ter

contribuído para absorção e transporte de nitrato até este terço. Segundo Coll e outros (2001), o transporte majoritário do nitrato se dá através do xilema até os órgãos superiores, onde ocorre o processo de redução e assimilação.

De modo geral, verificaram-se diferenças nos teores foliares de nitrato entre os dois sistemas, nos terços médio e superior em avaliação realizada em janeiro (Figura 3.5).

Conforme se observa nas Figuras 3.5 c e d, em avaliação realizada em março, foram detectadas diferenças nos teores de N-NO_3^- entre os sistemas a pleno sol e sombreado nos dois terços, com exceção das 18:00 h para o terço médio. Os teores mais elevados de nitrato foram verificados no sistema a pleno sol nas duas avaliações (janeiro e março) em todos os horários de coleta das folhas dos cafeeiros (Figura 3.5). Queiroz e outros (1993) verificaram elevações nos teores de nitrato foliar durante o período diurno em relação ao período noturno (ausência de luz). Entretanto, a atividade da enzima redutase do nitrato foi menor durante o período diurno, quando comparada ao período noturno. O armazenamento do nitrato no vacúolo, organela que impossibilita a interação entre o substrato (nitrato) com a enzima (redutase do nitrato) foi considerado para explicar tal contra-senso. Entretanto, fatores como menor atividade da enzima devido à interferência da luz em nível de atividade gênica também deve ser observada. No presente trabalho, tal efeito também foi verificado. O acúmulo de nitrato nos tecidos foliares nos diferentes sistemas pode estar relacionado à menor atividade da enzima redutase do nitrato. A atividade dessa enzima depende de níveis e fatores de regulação. A atividade gênica e a atividade enzimática são os principais níveis de regulação sendo controlados por fatores como: luz, concentração de nitrato, glicose, trioses fosfato e glicose3-fosfato. Portanto, embora a luz e o teor de nitrato sejam importantes fatores de controle da atividade da enzima redutase do nitrato, no presente estudo, a luz parece ter sido um fator preponderante sobre o teor de nitrato. Para esclarecer tais fatos,

estudos sobre a regulação da atividade gênica e enzimática em cafeeiros devem ser realizados.

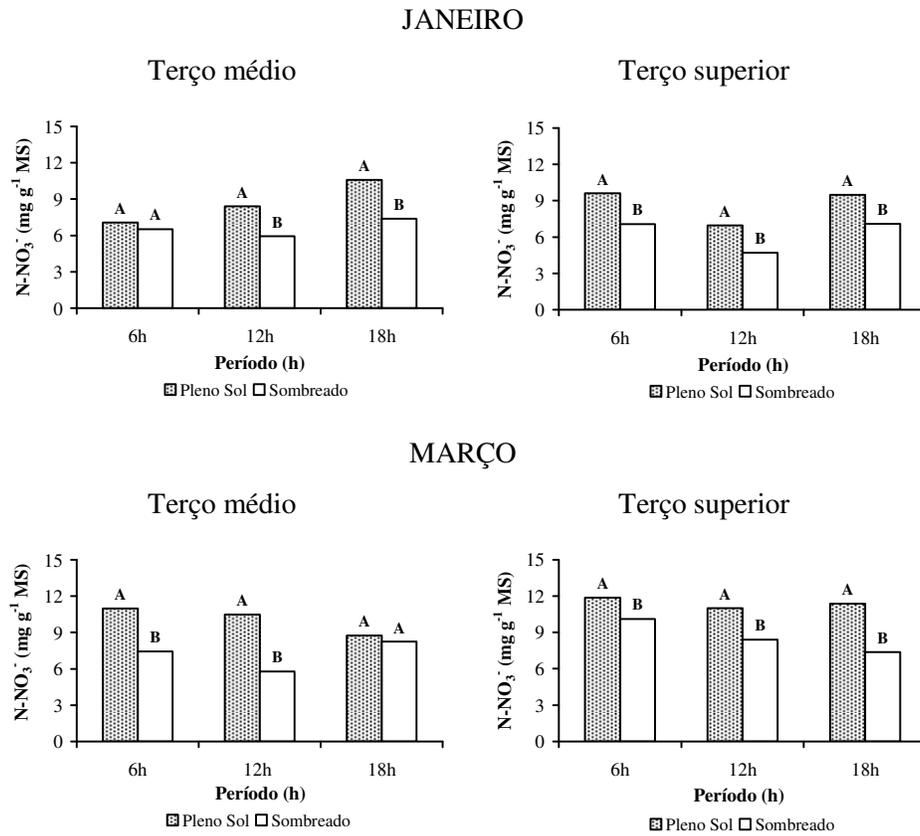


Figura 3.5 – Teores de N – NO₃⁻ foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

4.3 Teores de nitrogênio orgânico (NORG) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*)

A análise do teor de N-orgânico (NORG), entre os terços do cafeeiro a pleno sol e em sistema sombreado em avaliação realizada em janeiro, não revelou diferença estatística, durante todo o ciclo diurno. As médias se igualaram em ambos os sistemas (Figura 3.6).

Para avaliação realizada em março (final da estação chuvosa) foi encontrada diferença do teor de NORG nos sistemas a pleno sol e sombreado (Figura 3.6). Foram observadas maiores médias de NORG no terço superior do cafeeiro a pleno sol. Entretanto, comportamento contrário foi verificado para o sistema sombreado na mesma época, onde se observou maiores teores de NORG no terço médio.

Essas diferenças verificadas em março, seguem comportamento semelhante ao observado quando se avaliou o NT. A diferença na disponibilidade hídrica nas duas épocas foi também um fator preponderante que determinou essa diferenciação nos teores de NORG entre os terços avaliados. O NORG representa a fração de nitrogênio que após incorporação de carboidratos pode ser redistribuído para os frutos e folhas adjacentes. No terço superior do sistema a pleno sol e no terço médio do sistema sombreado, devido a menor ocorrência de botões florais, foi observada redução do direcionamento de fotoassimilados e N para os frutos, conseqüentemente aumentou a concentração de NORG nas folhas. Em estudo realizado por Khouri (2007), não foram encontradas diferenças nos teores de N-orgânico foliar no perfil da planta quando avaliado durante o ciclo reprodutivo com níveis de sombreamento variando de 0 a 48%. No presente trabalho, as diferenças observadas se devem ao fato do sistema associado apresentar intensa restrição de radiação (96,2% de

sombreamento), também devido ao menor vigor dos cafeeiros resultante das condições de baixo índice pluviométrico anual de 570,8mm.

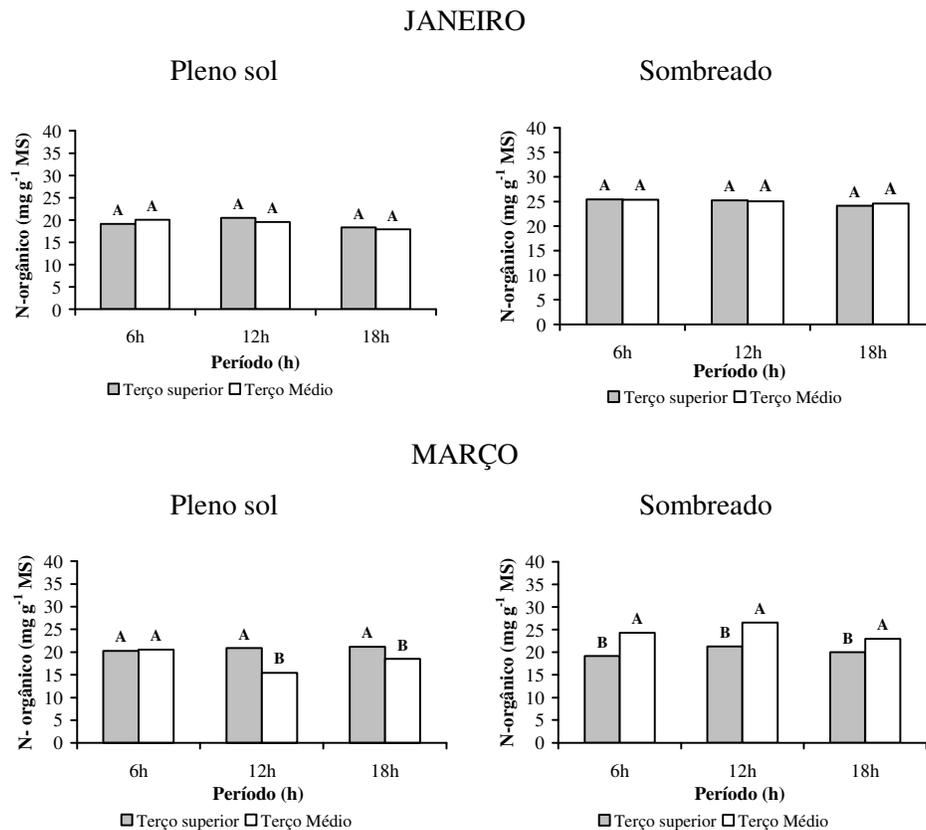


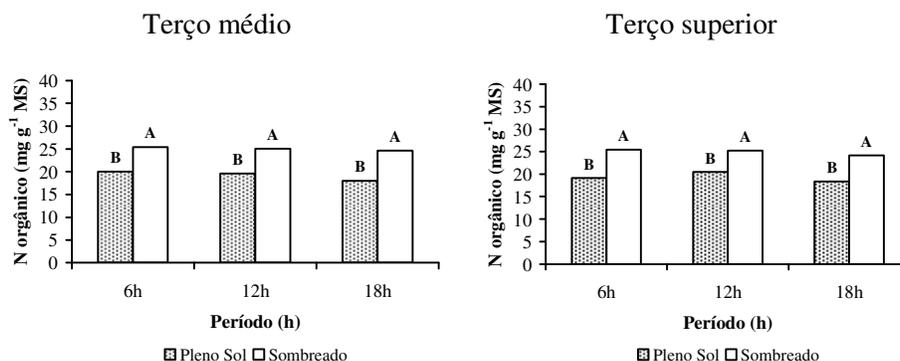
Figura 3.6 – Teor de N – Orgânico foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

Foram detectados teores mais elevados de NORG no sistema sombreado para o terço médio, nos dois períodos de avaliação (Figura 3.7). A concentração

da frutificação dos cafeeiros mantidos a pleno sol, no terço médio da planta, condicionou um intenso transporte de NORG para os frutos, reduzindo o NORG das folhas. Quando foi avaliado o terço superior, em janeiro os teores de NORG nas folhas de cafeeiros sombreados foram superiores às plantas mantidas a pleno sol (Figura 3.7). Entretanto, nas avaliações realizadas em março, os teores de NORG foram semelhantes para os dois sistemas (Figura 3.7). De acordo com Chen e outros (2004), o transporte, metabolismo e acúmulo de açúcares nos frutos, de maneira geral, estão condicionados por fatores ambientais e práticas culturais. Os cafezais arborizados caracterizam-se por um período mais longo de permanência de fruto nas plantas (MUSCHLER, 2001), resultando em maior capacidade de acúmulo de metabólitos, principalmente açúcares solúveis (FRANCK e outros, 2006) e compostos nitrogenados (AMARAL, 2001). Dessa forma, em janeiro, devido ao estágio de desenvolvimento inicial dos frutos e a menor carga nos sistemas sombreados, menor capacidade de transporte de NORG para os frutos resultou em acúmulo de NORG nas folhas no terço superior dos cafeeiros sob arborização. A redução dos valores de NORG nas folhas dos cafeeiros sombreados promoveu igualdade de teores em março para os dois sistemas. Nos sistemas arborizados o teor de NORG foi reduzido devido às maiores taxas de transporte das folhas do terço médio para os frutos que, nesta época, encontrava-se em estágio mais avançado de desenvolvimento.

JANEIRO



MARÇO

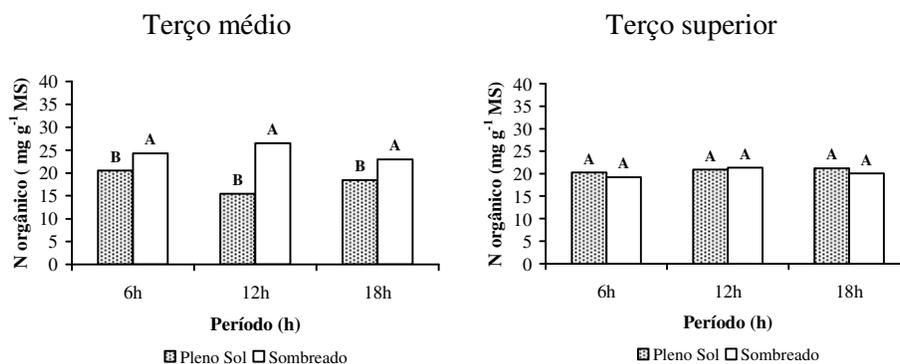


Figura 3.7 – Teores de N – orgânico foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

4.4 Cinética enzimática: estudo do efeito de incubação sobre atividade da redutase do nitrato em folhas de cafeeiros

A produção de nitrito nos sistemas sombreado e a pleno sol, por discos foliares de cafeeiros em função do tempo de incubação, caracterizou-se por uma fase latente nos primeiros 10 minutos, seguindo-se uma fase de linearidade (Figura 3.8). Essa fase latente tem sido associada ao oxigênio remanescente nos

tecidos (SAWHNEY e outros, 1978 citado por RODRIGUES, 1988), decorrente de uma infiltração ineficiente, uma vez que a redução do nitrato *in vivo* é extremamente sensível ao oxigênio. Embora não tenha sido verificadas diferenças na produção de nitrito nos sistemas em estudo, observou-se maior acúmulo de nitrito no sistema arborizado (café x grevilea) com 60 minutos de incubação do material, sendo a produção cerca de 14% mais elevada em relação ao cafeeiro cultivado a pleno sol.

Verificou-se também que a taxa de produção de nitrito nos sistemas sombreado e a pleno sol variou de 2,4 a 5,8 $\mu\text{mol N-NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MS}$. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues (1988), trabalhando com mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí Vermelho. Entretanto, as variedades Mundo Novo e UFV-1359, foi observado pelo autor uma fase latente de 20 minutos, com comportamento semelhante ao da variedade Catuaí.

A variedade Catuaí, IAC -144 avaliado em campo, em estágio de desenvolvimento adulto, devido a ocorrência de uma fase latente inicial no estudo da cinética enzimática, os parâmetros utilizados para atividade da RN foram obtidos no intervalo de 20 a 40 minutos de incubação.

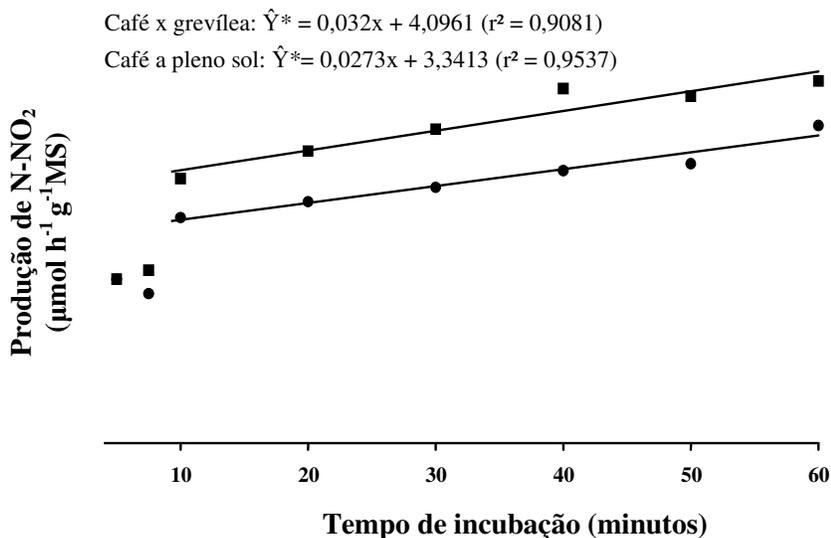


Figura 3.8 – Cinética enzimática da redutase do nitrato em função do tempo de incubação em cafeeiros em sistema associado com grevêlea (*Grevillea robusta.*) e a pleno sol. Vitória da Conquista, Bahia, 2007.

4.5 Atividade da redutase de nitrato (RN) em folhas de café arábica entre terços e sistemas a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*)

Para avaliação realizada em janeiro, nos sistemas a pleno sol e sombreado foram observado diferença às 18:00h na atividade da redutase do nitrato (RN) entre os terços (Figura 3.9). Nesse horário, maior atividade da RN foi detectada para o terço superior, para os dois sistemas de cultivo de café (Figura 3.9).

As maiores médias da atividade enzimática da RN observadas às 18:00 h em janeiro foram relacionadas à parte das reservas da energia produzida durante

o período luminoso. Segundo Bachmann e outros (1995), a RN pode ser ativada na ausência de luz mediante o fornecimento de açúcar às folhas.

Quando as avaliações foram realizadas em março, foi observado comportamento contrário ao mês de janeiro. Para o sistema a pleno sol as médias da atividade da RN se igualaram entre os terços avaliados (Figura 3.9). No entanto, para o sistema sombreado foram observadas diferenças, ocorrendo maiores médias da atividade da RN no terço médio do cafeeiro (Figura 3.9). Essa diferença entre os terços foi marcante às 06:00 h e às 18:00 h para o sistema sombreado em março (Figura 3.9).

A diferença no estágio de desenvolvimento do cafeeiro ocorrido entre as duas avaliações (janeiro e março) foi o fator determinante para a diferenciação da atividade enzimática da RN no perfil da planta, pois em estudos realizados por Carelli e outros (1989), verificaram que a atividade da RN, nas folhas do cafeeiro, aumenta nas fases fenológicas com intensa demanda de metabólitos e nutrientes dos drenos.

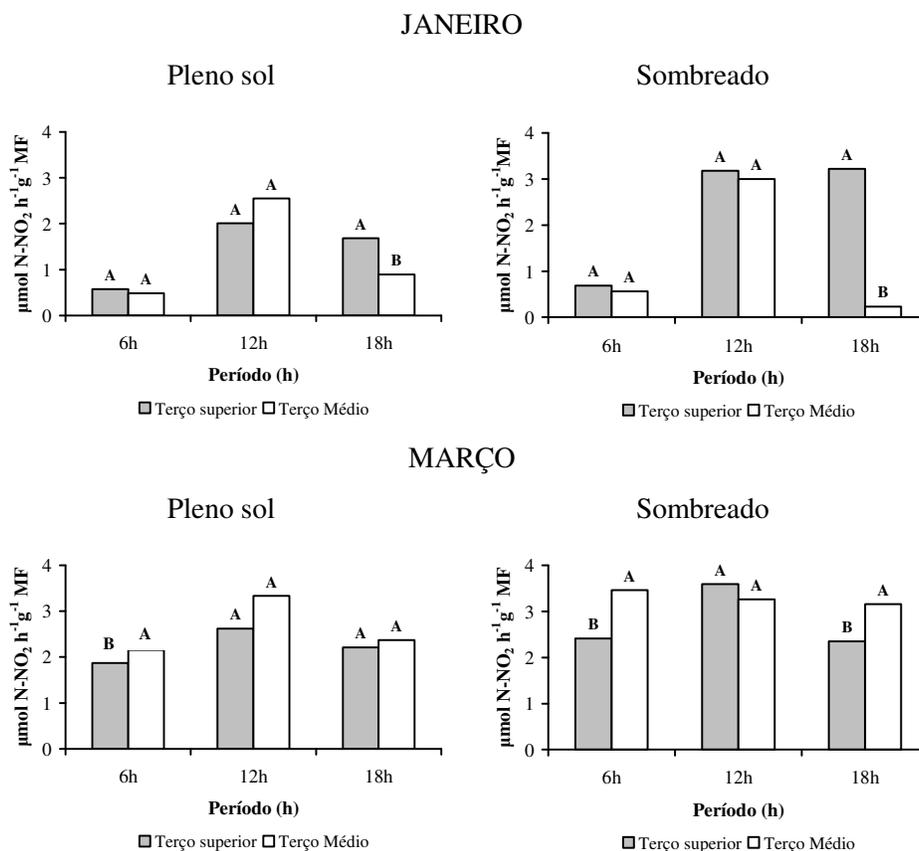


Figura 3.9 – Atividade enzimática da redutase do nitrato (RN) em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*), avaliados no terço superior e médio, na estação úmida, sob veranico de janeiro e final da estação (março). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

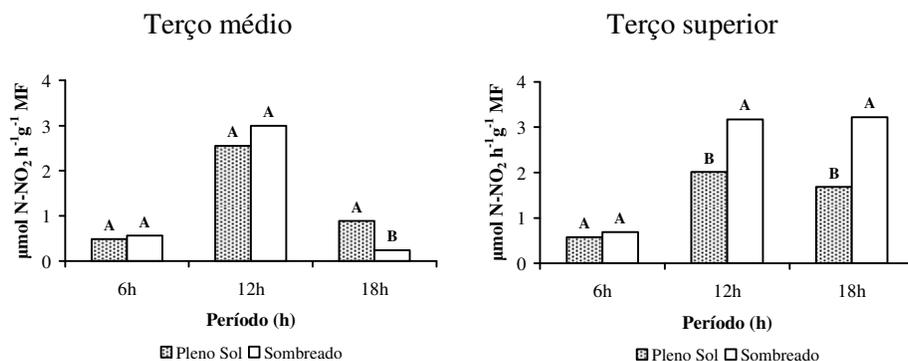
De maneira geral, verificaram-se maiores médias da atividade enzimática da RN no cafeeiro cultivado em sistema sombreado nas duas épocas avaliadas, apresentando maior atividade enzimática da RN ao meio dia (Figura 3.10). Entretanto, comportamento anômalo em relação à tendência foi observado no terço médio em janeiro, quando comparado entre os dois sistemas em estudo

(Figura 3.10). Em relação ao terço superior neste mesmo período de avaliação, notam-se diferenças, onde maior atividade enzimática da RN foi observada às 12:00 h e às 18:00h no sistema sombreado (Figura 3.10).

Em março, para os dois terços foram detectadas diferenças nas médias da atividade da RN (Figura 3.10). Quando avaliado o terço médio do cafeeiro, observou-se diferença às 06:00 h e às 18:00h e no terço superior diferenças às 06:00h e às 12:00h, com o sistema sombreado apresentando maior atividade enzimática da RN (Figura 3.10)

As maiores médias da atividade enzimática da RN observada no sistema sombreado foram favorecidas pela restrição da radiação luminosa promovida pela presença das árvores, que condicionou um microclima favorável à atividade da enzima (Figura 3.10). Em estudos realizados por Andrade Netto (2005) em cafeeiro arábica, observou uma atividade superior da RN durante o período luminoso, no período de maior irradiância. Segundo o autor, o aumento da atividade da RN às 12:00 h a meia sombra (50% de luz) foi uma consequência da absorção de nitrogênio do solo, uma vez que a condutância estomática e a taxa de transpiração mantiveram o fluxo xilemático, tendo apresentado valores superiores àqueles obtidos nas plantas a pleno sol.

JANEIRO



MARÇO

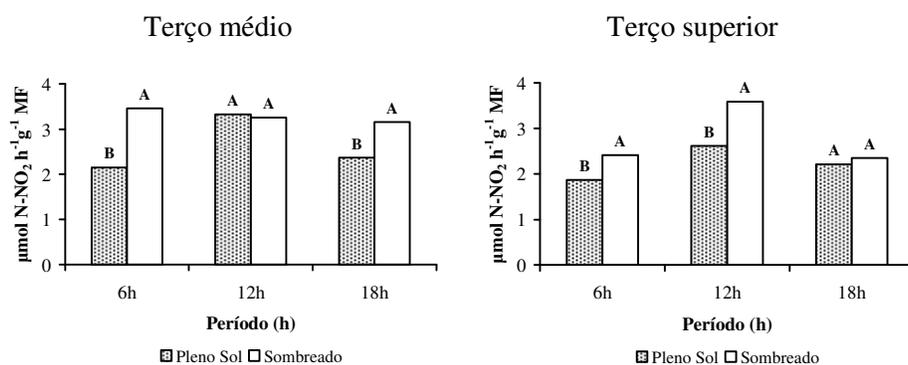


Figura 3.10 – Atividade enzimática da redutase do nitrato (RN) em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí cultivado em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*). Barra do Choça, Bahia, 2007.

*Letras distintas entre duas barras consecutivas representam diferença entre médias (cinco repetições), pelo teste t (p =10%).

5 CONCLUSÕES

- ❖ A diferença na disponibilidade hídrica ocorrida entre as duas épocas de avaliação (janeiro e março) foi o fator determinante para a diferenciação do metabolismo de nitrogênio e da atividade enzimática da redutase do nitrato no perfil da planta;
- ❖ De maneira geral, as plantas sob sombreamento apresentaram maiores teores de N total e tendência de maiores médias da atividade enzimática da redutase do nitrato, quando avaliado entre os terços superior e médio do cafeeiro.
- ❖ Os maiores teores de nitrato foram verificados no sistema a pleno sol, tanto na época seca, quanto na época chuvosa, sugerindo que não houve limitações na disponibilidade de substrato e de energia para o processo de redução de nitrato;
- ❖ A concentração da frutificação dos cafeeiros mantidos a pleno sol, no terço médio da planta, condicionou um intenso transporte de nitrogênio orgânico para os frutos, reduzindo o nitrogênio orgânico das folhas.
- ❖ A produção de nitrito nos sistemas sombreado e a pleno sol em Vitória da Conquista - BA caracterizou-se por uma fase latente nos primeiros 10 minutos, seguindo-se uma fase de linearidade.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. da E. et al. Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 179-192, 2004.
- AMARAL, J. A. T.; Da MATTA, F. M.; RENA, A. B. Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and to nitrate reductase activity. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 13, p. 66-74, 2001.
- AMORIM C. H. F. **Associação de cafeeiros com árvores de grevílias dispostas em renques no município de Barra do Choça – BA.** 2004. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA.
- ANDRADE NETTO, J. F. de. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamine sintetase em cafeeiro arábica.** 2005. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- ANDREWS, S. M. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. **Plant Cell Environment**, v. 9, p. 11-519, 1986.
- BACHMANN, M. et al. Partial purification and characterization of a calcium-dependent protein kinase and an inhibitor protein required for inactivation of spinach leaf nitrate reductase. **Plant Physiology**, v. 108, p. 1083-1091, 1995.
- BEER, J. Café bajo sombra en América Central: hace falta más investigación sobre este sistema agroflorestal exitoso? **Agroforestería em las Américas**, v. 38, n. 1-3, p. 4-5, 1997.
- BEER, J. W. et al. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 139-164, 1998.
- BLACK, C. R.; ONG, C.K. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 104, p. 25-47, 2000.
- BLOOM, A. J. Nitrogen as a limiting factor: crop acquisition of ammonium and nitrate. In: JACKSON, L.E. (Ed.). **Ecology in Agriculture**. San Diego: Academic Press, 1997. p. 145-172.

BOTE, A. D. **Physiological effect of shade on growth and production of organic coffee in Ethiopia.** 2007. 74p. (Masters Thesis) - Wageningen University, Netherlands.

CAI, Z. Q. et al. Responses of two field-grown coffee species to drought and re-hydration. **Photosynthetica**, v. 43, n. 2, p. 187-193, 2005.

CAMARGO A. P. de. **Arborização de cafezais.** 2007. O Agrônomo, Campinas. Disponível em:<http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/59_1/artigo2.pdf>. Acesso em: dez. 2007.

CAMPANHA, M. M. **Análise comparativa de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e monocultivo na Zona da Mata de Minas Gerais.** 2001. 132p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na Zona da Mata -MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

CARAMORI, P. H. et al. **Espécies intercalares para proteção contra geadas.** Setembro 2001. Disponível em <<http://coffeebreak.com.br/ocafezal.asp?SE=8&ID=255>>. Acesso em: jan. 2007.

CARELLI M. L. C.; FAHL, J. I. Partitioning of nitrate reductase activity and its relation to carbon assimilation under different irradiance regimes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 3, p. 397-406, 2006.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; MAGALHÃES, A.C. Assimilação de nitrato durante o desenvolvimento reprodutivo de plantas de café. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 13, p. 59-64, 1989.

CARELLI, M. L.C.; FAHL, J. I.; MAGALHÃES, A. C. Redução de nitrato em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e de nitrogênio. **Bragantia**, v. 49, n. 1, p. 1-9, 1990.

CARELLI, M. L. C. et al. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 2, p. 63-68, 1999.

CARVALHO FILHO, A. M. et al. Caracterização da fertilidade do solo em cafeeiros na região sudoeste da Bahia. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO, 4., SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 1999. **Anais...** Vitória da Conquista – BA, 1999. p. 9 -16.

CATALDO, D. A. et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. **Communication Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, n. 1, p. 71-81, 1975.

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

CHEN, J. W.; ZHANG, S. L.; ZHANG, L. C. Sugar transport, metabolism, accumulation and their regulation in fruits. **Journal of Plant Physiology and Molecular Biology**, v. 30, n. 1, p. 1-10. 2004.

COELHO, R. A. et al. Desenvolvimento vegetativo de cafeeiros conduzidos sob diferentes formas de cultivo em Barra do Choça - BA. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007. **Resumos expandidos...** Águas de Lindóia – SP, 2007. CD – ROM.

COLL, J. B. et al. **Fisiologia Vegetal**. 9. ed. Madrid, 2001, 568p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra 2007/2008**.

Disponível em:

<<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/Boletim.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2007.

CORRÊA, F. L. de O. et al. Produção de serapilheira em sistema agroflorestal. multiestratificado no estado de Rondônia - Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1099-1105, 2006.

CORUZZI, G.; BUSH, D. R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants. **Plant Physiology**, v. 125, n. 1, p. 61-64, 2001.

CRAWFORD, N. M., GLASS, A. D. M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends in Plant Science**, v. 3, n. 10, p. 389-395, 1998.

CRUZ, C. M. LIPS, S. H.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A. Nitrogen assimilation and transport in carob plants. **Plant Physiology**, v. 89, p. 524-531, 1993.

CRUZ, C. M.; SOARES, M. I. M.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A. Nitrate reduction in seedlings of carob (*Ceratonia siliqua* L.). **New Phytologist**, v. 119, p. 413-419, 1991.

DaMATA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. **O estado da arte de tecnologias na produção do café**. UFV, 2002. p. 93-135.

DaMATTA, F. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2008.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99 -114, 2004.

DaMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DaMATTA, F. M.; MAETRI, M. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. **Photosynthetica**, v. 34, p. 439- 446, 1997.

DaMATTA, F.; RODRÍGUEZ, N. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. **Revista Agronomía Colombiana**, v. 25, n.1, p. 113-123, 2007.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA - FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semi-decídua montana em Lavras - MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

DWOMOH E. A. et al. Effects of fertilizer on nitrogen contents of berries of three coffee clones and berry infestation by the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **African Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 2, p. 111-114, 2008.

FAHL J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**. v. 69, p. 161-169, 1994.

FAHL, J. L.; CARELLI, M. L. C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de coffeea. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CAFÉ ADENSADO, Londrina, 1994. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p. 289-290.

FRANCK, N. et al. Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea arabica*. **Tree Physiology**, v. 26, n. 4, p. 517-525, 2006.

FREITAS, R. B. de et al. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 4, p. 804-810, 2003.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **SAEG - Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. Versão 9.1, 2000.

GALLO, L. A. **Dinâmica da absorção e assimilação do nitrogênio em feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L.** 2001. 199 p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no Sudeste da Bahia - Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 193-207, 2002.

GOJON, A.; PLASSARD, C.; BUSSI, C. Root/shoot distribution of NO_3^- assimilation in herbaceous and woody species. In: GARNIER, R. J. E. (Ed). **A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions**, 1994, p. 131-147.

GOLBERG, A. D. et al. Effects and aftereffects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabusta* Capot and Aké Assi. **Café, Cacao and Thé**, v. 32, n. 1, p. 1116, 1988.

GORDON, J. C. Effect of shade on photosynthesis and dry weight distribution in yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) seedlings. **Ecology**, v. 50, n. 5, p. 924-926, 1989.

GUTIÉRREZ, M. V.; MEINZER, F. C.; GRANTZ, D. A. Regulation of transpiration in coffee hedgerows: Covariation of environmental variables and apparent responses of stomata to wind and humidity. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 1305-1313, 1994.

HAYNES, R. J. Nitrification. In: CAMERON, K. C.; GOH, K. M.; SHERLOCK, R. R. (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Orlando: Academic Press, 1986. p. 127-164.

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 to sunflower. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 1, n. 2, p. 155-161, 1989.

HSIAO, T.C. Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v. 14, p. 59-84, 1979.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no Norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2006.

KANTEN, R. V.; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 67, p. 187-202, 2006.

KHOUR, I C. R. **Atividade da redutase do nitrato, teores de nitrogênio e de carboidratos em cafeeiro influenciados pelo sombreamento e estágio fenológico**. 2007. 63p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

KOEPPEN, W. Des geographischen system der klimate. In: W. KOEPPEN y R. GEIGER. **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Borhtraeger, 1938.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 94 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Potafós. Piracicaba, SP. 1989, 201p.

MARIN, F. R. et al. Solar radiation interception and its relation with transpiration in different coffee canopy layers. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 1- 6, 2003.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MATIELLO, J. B. et al. Níveis de sombreamento em cafezal na região serrana de Pernambuco – Parte III. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15., 1989. **Anais...** Maringá, 1989, p. 182.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Observações sobre sistemas de arborização a longo prazo em cafezais de sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: PROCAFE, 2001. p. 62-63.

MATIELLO, J. B.; BARROS, U.V.; GARÇON, C. Arborização de cafeeiros com bananeiras na região de altitude elevada na cafeicultura de montanha – Resultados iniciais na produção e sobre *Phoma*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: PROCAFE, 2001. p. 21-22.

MIGUEL, A.E. J.B. et al. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995. Caxambu. **Anais...** Caxambu: MARA/PROCAFÉ, 1995. p. 55-60.

MORAIS, H. et al. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, 2004.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. de A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1131-1137, 2003.

MOREIRA, P. R.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, Lavras: Ed. UFLA, 2002. p. 235-307.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131-139, 2001.

NAZARENO R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro rubi em respostas a doses de N, P e K e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 903-910, 2003.

NIINEMETS, U. et al. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. **Tree Physiology**, v. 18, n. 10, p. 681-696, 1998.

NUNES, M. A.; RAMALHO, J. C.; DIAS, M. A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal Experimental Botany**, v. 44, p. 893-899, 1993.

OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 739-750, 1994.

PALM, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**, n. 30, p. 105-124, 1995.

PEZZOPANE, J. R. M et al. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/coqueiro-anão verde. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 293-302, 2003.

QUEIROZ, C. G. S. et al. Efeito do cloranfenicol, propanol, pH e temperatura sobre a atividade in vivo da redutase de nitrato em cafeeiros jovens. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 14, p. 73-77, 1991.

QUEIROZ, C. G. S. et al. Ritmo diurno na atividade da redutase de nitrato em folhas e raízes de *Coffea arabica* L. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 787-795, 1993.

RAMALHO, J. C. et al. High irradiance impairments on photosynthetic electron transport, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase / oxygenase and N assimilation as a function of N availability in *Coffea arabica* L. plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, p. 319-326, 1999.

RAMALHO, J. C. et al. Nitrogen dependent changes in antioxidant systems and in fatty acid composition of chloroplast membranes from *Coffea arabica* L. plants submitted to high irradiance. **Plant Science**, v. 135, p. 115-124, 1998.

RAMALHO, J. C. et al. Photosynthetic acclimation of high light conditions in mature leaves of *Coffea arabica* L.: role of xanthophylls, quenching mechanisms and nitrogen nutrition. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 27, p. 43-51, 2000.

RAMALHO, J. C. et al. Photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term high light exposure in relation to N availability. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 229-239, 1997.

REIS, A. R. dos. **Metabolismo do nitrogênio e estado nutricional do cafeeiro (*Coffea arabica*)**. 2007. 79p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHIERI, H. R. **Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Novembro 2002. Disponível em: < www.planetaorganico.com.br/TrabRibaski.htm> Acesso em: 10 nov. 2007.

RICCI, M. dos S. F. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

RICCI, M. S. F. et al. Cultivo orgânico do café (*Coffea arabica* L.) nos sistemas a pleno sol e sombreado. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2., 2004, Porto Alegre-RS. **Resumos expandidos...** Porto Alegre, 2004. 1CD-ROM.

RODRIGUES, O. **Efeito da deficiência hídrica na fotossíntese, na resistência estomática, na atividade da redutase do nitrato e no acúmulo de prolina livre em *Coffea arabica* L.** 1988. 52p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

RODRÍGUEZ, L. et al. Growth, relative water content, transpiration and photosynthetic pigment content in coffee trees (*Coffea arabica* L.) growing at different sunlight regimes. **Cultivos Tropicales**, v. 22, n. 4, p. 37-41, 2001.

RUFTY, T. W. JR.; VOLK, R. J. Alterations in enrichment of NO_3^- and reduced-N in xylem exudate during and after extended plant exposure to 15NO_3 . **Plant and Soil**, v. 91, n. 3, p. 329-332, 1986.

SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 51, p. 119-125, 1965.

SEVERINO, L. S.; OLIVEIRA, T. S. de. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Baturité, Ceará. **Revista Ceres**, v. 46, n. 268, p. 635-652, 1999.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, C.A. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. 235p.

SOUSA, S. A. et al. Caracterização e classificação climática de Barra do Choça – BA. In: SEMANA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UESC, 9., 2007, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: UESC, 2007. Disponível em: <<http://www.seminarioicuesc.com.br/sistema/resumos/2007268.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TISCHINER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, p. 1005-1024, 2000.

UHLAND, R. E. Rapid method for determining soil moisture. **Proceedings of Soil Science Society of American**, v. 15, p. 391-393, 1951.

VAAST, P. et al. Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. **Tree Physiology**, v. 25, p. 753-760, 2005.

VAUGHN, K. C. e CAMPBELL, W. G. Immunogold localization of nitrate reductase in maize leaves. **Plant Physiology**, v. 88, p. 1354-1357, 1988.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

YANEVA, I. A.; BAYDANOVA, V. D.; VUNKOVA-RADEVA, R. V. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, p. 495-501, 2000.

APÉNDICE



Figura 1A - Cafeeiro em sistema a pleno sol (A) e associados com abacateiro (*Persea americana*) e ingazeiro (*Inga edulis*) (B) cultivado em Barra do Choça, Bahia, 2007.



Figura 2A - Cafeeiro em sistema associado com grevília (*Grevillea robusta*) (A) e café em sistema a pleno sol (B) cultivado na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia em Vitória da Conquista, Bahia, 2007.