

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ
CURSO DE MESTRADO EM BIOLOGIA VEGETAL TROPICAL

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE PIMENTA LONGA
(*Piper hispidinervum* C.DC.) SUBMETIDA A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE IGARAPÉ-AÇU, PA

ENILSON SOLANO ALBUQUERQUE SILVA

BELÉM
PARÁ-BRASIL
2000

ENILSON SOLANO ALBUQUERQUE SILVA
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE PIMENTA LONGA
(*Piper hispidinervum* C.DC.) SUBMETIDA A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE IGARAPÉ-AÇU, PA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, como parte das exigências do curso de Mestrado em Biologia Vegetal Tropical, área de concentração, Ecofisiologia Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Dr. OLINTO GOMES DA ROCHA NETO

BELÉM
PARÁ-BRASIL
2000

SILVA, Enilson Solano Albuquerque. Respostas ecofisiológicas de pimenta longa (*Piper hispidinervum* C.DC.) submetida a diferentes condições de manejo no município de Igarapé-Açu, PA. 2000. 83p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 2000.

CDD - 581.1098115

CDU - 581.1 (811.5)

ENILSON SOLANO ALBUQUERQUE SILVA

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE PIMENTA LONGA
(*Piper hispidinervum* C.DC.) SUBMETIDA A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE IGARAPÉ-AÇU, PA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, como parte das exigências do curso de Mestrado em Biologia Vegetal Tropical, área de concentração, Ecofisiologia Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 31 de outubro de 2000

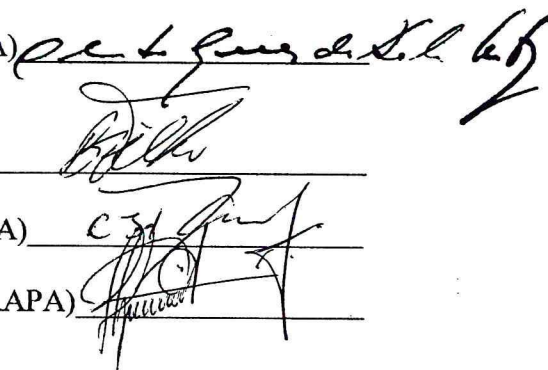
Comissão Examinadora:

Eng. Agrôn., D.Sc. Olinto Gomes da Rocha Neto (EMBRAPA)
(Orientador)

Eng. Agrôn., D.Sc. Benedito Gomes dos Santos Filho (FCAP)

Eng. Agrôn., D.Sc. Cláudio José Reis de Carvalho (EMBRAPA)

Eng. Agrôn., D.Sc. Francisco José Câmara Figueirêdo (EMBRAPA)



DEDICO,

Aos meus pais,

Tomaz, pelos exemplos de humildade e dignidade

Deuzarina, por ter construído o alicerce desta conquista

Aos meus irmãos,

Pela amizade e companheirismo.

Ao meu Filho,

Endy, simplesmente por sua existência.

OFEREÇO,

A todos, como forma de contribuição.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter direcionado o meu caminho para mais esta conquista e por estar sempre presente em todos nossos momentos.

À Embrapa Amazônia Oriental, pela oportunidade do aprimoramento profissional e pelo apoio técnico e instrumental.

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, por possibilitar mais um passo, no infinito campo do conhecimento.

Ao Department for International Development, pelo apoio financeiro, que tornou possível a realização das viagens para coletas de dados.

Ao professor e orientador Dr. Olinto Gomes da Rocha Neto, pelo direcionamento de nosso trabalho, pelos constantes conhecimentos transmitidos, durante o curso e nas atividades profissionais, pelo incentivo e também por compreender nossas dificuldades e limitações.

Ao Dr. Francisco José Câmara Figueirêdo, pela eficiente co-orientação em todas as etapas deste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos, através de exemplos, de como conduzir suas atividades profissionais.

Aos professores do curso de Mestrado em Biologia Vegetal Tropical, pelos importantes conhecimentos que nos foram transmitidos.

Aos colegas do curso, pela amizade e incentivo, em especial a Marli Cardoso dos Reis, pela convivência, amizade e colaboração na execução do trabalho.

Aos pesquisadores da Embrapa, Cláudio José Reis de Carvalho, pela atenção e disponibilidade, sempre que foi solicitado; Moacyr Bernardino Dias Filho, que se fez sempre disponível na elucidação de dúvidas e também pelo apoio nos "abstracts" desta dissertação; Saturnino Dutra, pelo apoio e orientação na análise estatística dos dados e Marcos Jaime Araújo, pela revisão do português.

Ao Amigo Cleo Marcelo de Araújo Sousa, pois sua importante contribuição, nas coletas de campo, análises de laboratório e tratamento dos dados, tornou possível a elaboração desta dissertação.

Aos amigos Ivanildo Marli e Elisana, que participaram de várias campanhas de coletas de dados, pelo incentivo e companheirismo.

Ao Sr. Edinelson Queiroz, que realizou a manutenção do experimento e participou de todas as coletas de campo, agradeço também pelo companheirismo e amizade.

Aos colegas de trabalho do laboratório de Ecofisiologia vegetal, aos bolsistas e estagiários, pela convivência e amizade.

Aos pesquisadores David Baker e Alberdan Silva, pelo apoio nas análises de safrol e também pela convivência e amizade.

Aos colegas do laboratório de agroindústria, Solange Vilar e Ruterlei dos Santos, pelo apoio nas análises de safrol e de proteínas.

A todas as pessoas, que de alguma forma, contribuíram e tornaram possível a conclusão deste trabalho, meus agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (A) Valores médios mensal da precipitação pluviométrica (mm) da estação meteorológica Marcelino - 01° 12' S; 47° 36' W, Igarapé-Açu, PA (Fonte: Embrapa Amazônia Oriental); (B) Comportamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em dias típicos do período chuvoso e do período seco, Igarapé-Açu, PA.....	36
Figura 2. (A) Comportamento da Temperatura (°C) e da Umidade Relativa (%), em dias típicos do período chuvoso e do período seco, no local do experimento, Igarapé-Açu, PA.....	37
Figura 3. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do potencial hídrico foliar (ψ_f) em um dia típico do período chuvoso (A), e um dia típico do período seco (B), de plantas de pimenta longa em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	38
Figura 4. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do teor de água no solo, no período de Nov/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.....	39
Figura 5. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do potencial hídrico foliar (ψ_f) às 5:30h e 14:30h de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.....	40
Figura 6. Valores médios ($\pm$ erro padrão) da resistência estomática (R_s) em um dia típico do período chuvoso (A), e um dia típico do período seco (B), de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	42
Figura 7. Valores médios ($\pm$ erro padrão) da resistência estomática (R_s) às 9:00h e 14:00h de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.....	44
Figura 8. Valores médios ($\pm$ erro padrão) da transpiração (T) - (A) e fotossíntese líquida (FL) - (B) de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.....	45
Figura 9. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do conteúdo de clorofila a (A) e de clorofila b (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	58
Figura 10. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do conteúdo de clorofila total (A) e relação clorofila a/b (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	59
Figura 11. Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de açúcares solúveis totais da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	61
Figura 12. Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de proteína da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	62

Figura 13. Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de fósforo da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	63
Figura 14. Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de potássio da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	64
Figura 15. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do acúmulo de matéria seca das folhas e ramos finos (A) e da haste principal (B), em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	73
Figura 16. Valores médios ($\pm$ erro padrão) do acúmulo de matéria seca da parte aérea (A) e da raiz (B), em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	74
Figura 17. Desenvolvimento de plantas de pimenta longa em cultivos sem suplementação hídrica (A) e com suplementação hídrica (B), aos 6 meses após o plantio, Igarapé-Açu, PA.....	75
Figura 18. Valores médios ($\pm$ erro padrão) da área foliar (A) e da relação raiz/parte aérea (B), em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	76
Figura 19. Alocação de matéria seca na raiz ■, Haste principal □, e folha + ramo fino ▣, em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1995, coletados na estação climatológica Marcelino, Igarapé-Açu, PA (01° 12'S 47° 36'W).....	A
Tabela 2 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1996, coletados na estação climatológica Marcelino, Igarapé-Açu, PA (01° 12'S 47° 36'W).....	A
Tabela 3 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1997, coletados na estação climatológica Marcelino, Igarapé-Açu, PA (01° 12'S 47° 36'W).....	A
Tabela 4 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1998, coletados na estação climatológica Marcelino, Igarapé-Açu, PA (01° 12'S 47° 36'W).....	A
Tabela 5 - Valores de precipitação pluviométrica coletados na estação climatológica Marcelino e no local do experimento, no período de Julho/1998 a Março/1999 - Igarapé-Açu, PA.....	A
Tabela 6 - Avaliação da produção de matéria seca e do rendimento e produção de óleo essencial de pimenta longa, aos 7 meses após o plantio, Igarapé-Açu, PA.....	78
Tabela 7. Avaliação da produção de matéria seca e do rendimento e produção de óleo essencial de pimenta longa, aos 11 meses após o plantio, Igarapé-Açu, PA.....	78
Tabela 8 - Avaliação do teor de safrol e do rendimento de óleo de pimenta longa, em laboratório, no período de setembro/98 a março/99, Igarapé-Açu, PA.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Apêndice
ψ_r	Potencial hídrico foliar
R_s	Resistência estomática
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
TAS	Teor de água no solo
T	Transpiração
FL	Fotossíntese líquida
MSF+Rf	Matéria seca da folha e ramo fino
MSHp	Matéria seca da haste principal
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSR	Matéria seca da raiz
R/Pa	Relação raiz/parte aérea
Ca	Clorofila a
Cb	Clorofila b
C total	Clorofila total
a/b	Relação clorofila a / clorofila b

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	x
SUMÁRIO	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS.....	15
1.2 - METODOLOGIA GERAL.....	17
1.3 - REVISÃO DE LITERATURA.....	18
1.3.1 - Pimenta longa.....	18
1.3.2 - Déficit hídrico e comportamento ecofisiológico de plantas.....	19
1.3.2.1 - Aspectos biofísicos.....	19
1.3.2.2 - Aspectos bioquímicos.....	21
1.3.2.3 - Aspectos do crescimento.....	22
1.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES HÍDRICAS E FOTOSSÍNTESE DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (<i>Piper hispidinervum</i> C.DC) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇÚ, PA	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
2.1 - INTRODUÇÃO.....	31
2.2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
2.2.1 - Material vegetal e condições de cultivo.....	32
2.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental.....	33
2.2.3 - Variáveis de respostas.....	33
2.2.3.1 - Características micrometeorológicas do ambiente de estudo.....	33
2.2.3.2 - Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e teor de água no solo (%).....	34
2.2.3.3 - Comportamento estomático, Fotossíntese líquida (FL) e Transpiração (T).....	34
2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.3.1 - Características micrometeorológicas.....	35
2.3.2 - Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e Teor de água no solo (TAS).....	37
2.3.3 - Resistência estomática (RE), Transpiração (T) e Fotossíntese líquida (FL).....	41
2.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
CAPÍTULO 3 - COMPORTAMENTO BIOQUÍMICO DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (<i>Piper hispidinervum</i> C.DC) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇÚ, PA	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
3.1 - INTRODUÇÃO.....	51
3.2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.2.1 - Material vegetal e condições de cultivo.....	52
3.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental.....	53
3.2.3 - Variáveis de respostas.....	53
3.2.3.1 - Determinação das concentrações de clorofila.....	53
3.2.3.2 - Determinação dos teores de açúcares solúveis totais.....	54

3.2.3.3 - Determinação de macroelementos e proteínas totais.....	55
3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.3.1 - Conteúdo de clorofila.....	57
3.3.2 - Teores de açúcares solúveis totais e proteínas.....	59
3.3.3 - Teores de fósforo e potássio.....	63
3.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
CAPÍTULO 4 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DE ÓLEO ESSENCIAL DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (<i>Piper hispidinervum</i> C.DC) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-ACÚ, PA	67
RESUMO	67
ABSTRACT	68
4.1 - INTRODUÇÃO	69
4.2 - MATERIAIS E MÉTODOS	70
4.2.1 - Material vegetal e condições de cultivo.....	70
4.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental.....	71
4.2.3 - Variáveis de respostas.....	71
4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.3.1 - Matéria seca das folhas e ramos finos (MSF+Rf) e Matéria seca da haste principal (MSHp).....	72
4.3.2 - Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca da Raiz (MSR), Área foliar e Relação raiz/parte aérea (R/Pa).....	73
4.3.3 - Alocação de biomassa.....	76
4.3.4 - Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de Safról.....	77
4.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	82

RESUMO

Objetivando direcionar manejos adequados ao cultivo da pimenta longa, estudaram-se, no período de maio/98 a março/99, em condições de campo, no Município de Igarapé-Açu, PA, as relações hídricas, as respostas bioquímicas, a produção e alocação de biomassa e a produção de óleo essencial de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica. Os tratamentos foram: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. A partir do sexto dia sem precipitação pluviométrica, foram verificadas alterações nas variáveis biofísicas. No 15º dia de déficit hídrico, nos tratamentos sem suplementação hídrica, observaram-se os maiores impactos sobre as variáveis, onde o Ψ_f de base reduziu de valores de -0,05 MPa para -0,5 MPa, a R_s elevou-se de aproximadamente 0,3 s.cm⁻¹ para mais de 5,0 s.cm⁻¹, às 9:00h, e a fotossíntese líquida reduziu de 20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, para valores em torno de 1,4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Após os períodos de déficits, as plantas mostraram capacidade de recuperação, apresentando valores próximos aos verificados nas plantas sem deficiência hídrica. Com relação as respostas bioquímicas, observou-se que nos meses mais secos ocorreu redução no conteúdo de clorofila, independente do tratamento aplicado, sendo a clorofila a, mais afetada. O estresse hídrico reduziu os teores de açúcares solúveis totais e de potássio, enquanto os teores de proteínas e fósforo se mantiveram praticamente constantes durante o período de observação. Nas plantas irrigadas, os teores de potássio aumentaram com a idade das plantas. A deficiência hídrica afetou a matéria seca de todas as partes da planta e também reduziu o estande em aproximadamente 30%. A produção de biomassa e de óleo essencial reduziram em 50%, comparadas com os tratamentos irrigados, até o sétimo mês após o plantio, quando se verificou mudanças no padrão de alocação de biomassa nos tratamentos irrigados, que deslocaram assimilados para a haste principal da planta. No nono mês, com o restabelecimento da precipitação pluviométrica, observou-se recuperação de crescimento das plantas sem suplementação hídrica. Desse modo, constatou-se que a ocorrência de deficiência hídrica em qualquer fase do desenvolvimento da planta afeta a produção de óleo essencial.

ABSTRACT

Aiming to address appropriate management in the cultivation, it was studied, between May/98 and March/99, in field conditions, in the Municipal district of Igarapé-Açu, PA, the water relations, the biochemical responses, biomass production and allocation, and essential oil production in plants of *pimenta longa* cultivated with and without irrigation. The treatments were: T1 - irrigated and non-fertilized; T2 - irrigated and fertilized; T3 - non-irrigated and non-fertilized; T4 - non-irrigated and fertilized. Starting from the 6th day without the rainfall, alterations were observed on the biophysical variables. In the 15th day of water stress, in the treatments without irrigation, it was observed the largest impact on the variables, where the pre-dawn water potential was reduced from -0.05 MPa to -0,5 MPa, the stomatal resistance increased from approximately 0.3 s.cm⁻¹ to more than 5.0 s.cm⁻¹, at 9:00h a.m, and net photosynthesis was reduced from 20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, to values around 1.4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. After the periods of deficits, the plants showed recovery capacity, displaying values close to the ones observed in the plants without water stress. It was observed that in the driest months, there was a reduction in the chlorophyll content, independent of the treatment, being chlorophyll a, more affected. Water stress reduced the contents of total soluble sugars and of potassium, while the protein and phosphorus contents stayed practically constant, during the observation period. In the irrigated plants, potassium contents increased with plants age. Water deficiency affected dry mass production of all plant parts, and it also reduced the number of plants in approximately 30%. Biomass and essential oil productions were reduced by 50%, compared to the irrigated treatments, until the 7th month after planting, when changes in the biomass allocation pattern were noticed in the irrigated treatments. In the 9th month, with the re-establishment of the rainfall, recovery of plant growth was observed in the non-irrigated treatment. Thus, water deficiency in any phase of the plant development, affects the production of essential oil.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

1.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS

O conhecimento científico sempre crescente tem confirmado a potencialidade dos recursos naturais a serem explorados na Amazônia Brasileira. A flora, com a sua diversidade e com a exploração baseada no extrativismo, tem sido de fundamental importância para a economia dessa região.

A crescente demanda por produtos naturais, assim como sua importância no contexto econômico, tem despertado o interesse de pesquisadores nos estudos de caracterização e domesticação de plantas nativas, dentre as quais destacam-se as plantas medicinais e as aromáticas. A utilização de óleos essenciais de plantas tropicais como matéria-prima para a indústria, abre perspectivas de crescimento, tanto no mercado nacional quanto no internacional, possibilitando, assim, o aproveitamento destes produtos em prol do desenvolvimento da região.

Pesquisas, com o objetivo de levantar o potencial de plantas aromáticas, verificaram a ocorrência de mais de dez espécies de plantas da família Piperaceae como produtoras de óleo essencial na Amazônia. Dentre essas, a pimenta longa (*Piper hispidinervium* C.DC.), destaca-se como produtora de safrol (Maia et al. 1987).

Em seu habitat natural, a pimenta longa desenvolve-se em condições pouco favoráveis e, segundo Alencar et al. (1971), adapta-se muito bem a solos pobres em nutrientes. Esta característica, dentre outras, é importante fator que credencia a pimenta longa como uma espécie potencial para ser cultivada em áreas alteradas da Amazônia, apresentando-se como uma fonte alternativa para a produção natural de óleo essencial contendo safrol.

A existência de um mercado efetivo para a produção renovável do safrol, a partir da pimenta longa, superior a 3.000 t, aliada às vantagens da exploração agroindustrial agregadora de valor, traduz-se em benefícios econômicos, assim como, contribui para o desenvolvimento sustentável da produção familiar na Amazônia.

Estudos ligados à domesticação da pimenta longa tem comprovado a adaptabilidade da espécie aos ecossistemas amazônicos (Rocha Neto et al. 1999). Entretanto, em 1997, que teve como característica, período seco muito prolongado, registraram-se muitas perdas em plantios de pimenta longa, localizados no Município de Igarapé-Açu, PA. Por outro lado, observaram-se alterações morfológicas em plantas desta espécie, principalmente em indivíduos com menos de 1 ano de idade.

Rocha Neto et al. (1997) relatam que as situações edafoclimáticas predominantes na Amazônia dificultam as recomendações de manejo para as espécies cultivadas, tornando-se fundamental o conhecimento de respostas das espécies em domesticação às variações ambientais.

Neste sentido, a expansão do cultivo na Amazônia deve levar em conta a sensibilidade da planta ao estresse hídrico, provocado pela baixa disponibilidade de água no solo, fator que pode se constituir em um obstáculo para o cultivo dessa espécie na região.

Este estudo se propõe a avaliar o comportamento de plantas de pimenta longa diante das variações climáticas sazonais, durante o período de estabelecimento da cultura em condições de campo, e definir os limites das plantas, em relação ao déficit hídrico decorrente da sazonalidade climática. Por outro lado, será proposta a implementação de técnicas de manejo, com o propósito de amenizar os distúrbios metabólicos provocados pelas condições estressantes, impostas pelo ambiente amazônico.

Os resultados do presente trabalho contribuirão para o direcionamento de manejos mais adequados, com a finalidade de possibilitar o cultivo racional e econômico da pimenta longa na região.

1.2 - METODOLOGIA GERAL

O trabalho foi conduzido em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, no Município de Igarapé-Açu, nordeste do Estado do Pará. As respostas das plantas, às condições de cultivo, impostas pelos tratamentos, durante a fase experimental, foram avaliadas a cada 2 meses, através de parâmetros biométricos, bioquímicos e biofísicos. Os tratamentos testados foram os seguintes: T1 - Irrigado e Não-adubado; T2 - Irrigado e Adubado; T3 - Não-irrigado e Não-adubado; e T4 - Não-irrigado e Adubado. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado e os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas.

As mensurações dos parâmetros estudados foram executadas no local do experimento, e as análises laboratoriais, realizadas nos laboratórios de ecofisiologia e de agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental.

Os parâmetros biométricos foram determinados segundo Benincasa (1988) e as variáveis estudadas foram: Matéria seca das folhas + ramos finos (MSF+Rf); Matéria seca da haste principal (MSHp); Matéria seca da raiz (MSR); Matéria seca da parte aérea (MSPA); Relação raiz/parte aérea (R/Pa). Determinou-se ainda, a área foliar (AF), a alocação de biomassa (AB) e a produção e o rendimento de óleo essencial, que foi calculado com base na eficiência de 70% das análises de laboratório.

Nos parâmetros biofísicos, avaliou-se o comportamento estomático, com a utilização do porômetro de difusão AP-4 Delta T - Devices - Cambridge. U.K; a fotossíntese líquida e a transpiração, através do analisador a gás infravermelho - IRGA, LI - 6200; o potencial hídrico foliar (Ψ), determinado com uma câmara de pressão (Scholander et al. 1965); e o teor (%) de água no solo, através do método gravimétrico (Claessen et al. 1997). Houve a monitoração ainda, da precipitação pluviométrica com pluviômetros de medição direta; a radiação fotossinteticamente ativa, com o ceptômetro marca Accu PAR; da temperatura e da umidade relativa do ar, utilizando-se um psicrômetro de ventilação forçada, marca SIBATA.

Nas avaliações bioquímicas, determinou-se a concentração de clorofila, segundo a metodologia proposta por Arnon (1949); os teores de açúcares solúveis totais, pelo método colorimétrico adaptado de Yemm & Willis (1954); e as proteínas, pelo método adaptado de Sarruge & Haag (1974). Os macroelementos foram determinados pelos seguintes métodos: Nitrogênio - método adaptado de Sarruge & Haag (1974); Fósforo - método colorimétrico adaptado de Chen Jr. et al. (1956); Potássio - método de fotometria de chama adaptado de Salinas & Garcia (1985).

As amostras para as análises de óleo essencial foram coletadas a cada 2 meses, e as extrações foram feitas por arraste a vapor. O teor de safrol, contido no óleo essencial de pimenta longa, foi determinado através de cromatografia gasosa, de acordo com o trabalho de Heath (1977).

1.3 - REVISÃO DE LITERATURA

1.3.1 - Pimenta longa

A pimenta longa (*Piper hispidinervium* C.DC) é uma espécie de ocorrência natural na Amazônia, com grande potencial oleífero. Vegeta naturalmente em capoeiras abertas do Estado do Acre, onde atinge até 7 m de altura, apresentando o caule geniculado. As folhas são anfiestomáticas, e os estômatos são raros na epiderme adaxial. O limbo apresenta-se membranáceo e é a parte da planta que concentra a maior quantidade de ideoblastos oleíferos, que são células secretoras produtoras de óleo essencial (Nascimento, 1997; Nascimento & Vilhena-Potiguara 1999).

De acordo com Mesquita (1996), esta espécie é encontrada em tipos climáticos com índices pluviométricos elevados e períodos curtos de deficiência hídrica. A temperatura média anual gira em torno de 24,5 °C, com uma temperatura máxima de 32 °C e a mínima de 18 °C. A umidade relativa é elevada, durante todo o ano, com médias variando entre 80% e 90%.

A pimenta longa apresenta, em sua constituição química o safrol, componente químico aromático utilizado na indústria como matéria-prima na produção de heliotropina, utilizada como fixador de perfumes, e de butóxido de piperonila (PBO), usado para otimizar a ação de inseticidas naturais, possuindo uma forte demanda no mercado mundial (Pimentel et al. 1998; Rocha Neto et al. 1999). Na forma pura e em temperatura ambiente, o safrol é um líquido viscoso de aroma canforáceo (Alencar et al. 1971).

De acordo com Anya (1974) e Anon (1992) citados por Silva (1993), o safrol natural foi respectivamente utilizado como aromatizante para cervejas e refrigerantes, e como agente de fragrâncias em produtos, como ceras, sabões e desinfetantes.

Até a década de 80, a produção de óleo essencial rico em safrol era baseada no corte da *Ocotea pretiosa* (Nees) Mez, árvore da família das *lauráceas*, conhecida como canela sassafrás, explorada no vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina (Green & Hone, 1992) e beneficiada com aproximadamente 25 anos de idade. Entretanto, em 1991, o governo brasileiro, através de decreto, proibiu a exploração do sassafrás em matas primárias da Floresta Atlântica, e essa medida provocou uma corrida mundial por alternativas à produção do safrol (Pimentel et al. 1998).

Com uma demanda mundial acima de 3.000 t, que não são atendidas pelos únicos produtores mundiais, a China e o Vietnã, que por outro lado, praticam o mesmo tipo de exploração predatória de plantas nativas, é provável que ocorra uma escassez deste produto químico natural em longo prazo. Portanto, a pimenta longa apresenta-se como uma alternativa econômico-social para os pequenos produtores da Amazônia (Rocha Neto et al. 1999).

1.3.2 - Déficit hídrico e comportamento ecofisiológico de plantas

1.3.2.1 - Aspectos biofísicos

As plantas são reguladas por fatores ambientais, bióticos e abióticos, e também por fatores internos relacionados à própria planta. Dentre os estresses ambientais destacam-se os causados pela temperatura, seca, deficiência de nutrientes, ozônio, infecção por patógenos, danos mecânicos e sombreamento, enquanto os fatores internos são controlados pela idade da planta, desenvolvimento reprodutivo e níveis de fitormônios (Gan & Amasino, 1997).

Nas regiões tropicais, os estresses ambientais são causados principalmente por altas temperaturas, deficiência de nutrientes e a seca sazonal. O estresse por falta de energia radiante dificilmente ocorre em cultivos de campo, principalmente quando se leva em consideração as espécies C3 que se saturam a baixas intensidades de luz (600 a 800 $\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Intensidades luminosas superiores a 2.000 $\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ são frequentes, entretanto, em regiões úmidas, a radiação incidente é interceptada, devido à umidade relativa e às impurezas sólidas (Pimentel, 1998).

A deficiência hídrica é um dos fatores ambientais que mais afetam a estabilidade da produção agrícola. De acordo com Kramer & Boyer (1995), a variabilidade, quanto à tolerância à seca, é muito grande entre as espécies, e depende, principalmente, da intensidade do estresse que a planta é submetida (Brunini & Cardoso, 1998).

Diversos processos fisiológicos dos vegetais, tais como condutância estomática, transpiração e suprimento de CO_2 para a fotossíntese são afetados pela deficiência hídrica (Hsiao, 1973; Nogueira et al. 1998). A eficiência no uso da radiação também é afetada pelo déficit de água (Rudorff et al. 1997; Moreira et al. 1999), assim como o rendimento quântico da cadeia de transporte de elétrons no fotossistema II (Epron, 1997).

Estudando a dinâmica de resposta dos estômatos em condições de campo, Maier-Maercker (1998) observou que o quantitativo diário das taxas transpiratória e fotossintética foram mais dependentes das condições atmosféricas que do potencial hídrico do solo. Este autor sugere que a dinâmica do mecanismo diário do controle estomático pode ser explicada por sua interdependência, onde a recuperação do potencial hídrico durante a noite permite a abertura durante o dia, e, por outro lado, uma alta taxa transpiratória poderá causar decréscimos no potencial hídrico, especialmente se o suprimento de água for limitante, como foi verificado por Salinas et al. (1996) na cultura da soja, onde o decréscimo de água no solo favoreceu a diminuição da turgescência celular, provocando o fechamento dos estômatos e diminuindo a condutância.

Em condições de campo, a ocorrência de estresses ambientais simultâneos é muito comum e, segundo Chaves (1991), a imposição de estresses combinados têm efeitos aditivos, podendo ter influências

significativas no comportamento fisiológico das plantas. O efeito associado do déficit hídrico e alta radiação foi verificado por esse autor em diferentes espécies de plantas. Epron (1997) constatou, em *Cedrus sp.*, que a combinação do estresse de alta radiação e alta temperatura alterou significativamente o fotossistema II, enquanto Garcia-Plazaola et al. (1997) observaram decréscimos na fotossíntese e na condutância estomática, em resposta ao aumento da temperatura e do déficit de pressão de vapor entre o ar e a folha.

O controle da transpiração, exercido pelo fechamento dos estômatos, é uma das primeiras reações das plantas em resposta ao déficit hídrico, pois é um processo rápido e responde mais prontamente às variações ambientais que outros processos, como as alterações do ciclo de vida e crescimentos da raiz e área foliar, que são mais aptos nas adaptações em longo prazo (Chaves, 1991). Por outro lado, o mecanismo de controle da perda de água, através do fechamento dos estômatos, limita a absorção de CO₂ e, como consequência, reduz a taxa fotossintética (Hsiao, 1973; Chaves, 1991; Gomes et al. 1997; Nogueira et al. 1998; Brunini & Cardoso, 1998; Regina & Carbonneau, 1999).

O controle da perda de água está associado ao suprimento de CO₂, de modo que a condutância estomática, durante o dia, deve variar para permitir um mínimo de perda de água e máxima fixação de CO₂. A transpiração é proporcional ao déficit de pressão de vapor da atmosfera, desse modo as características dos estômatos são importantes no controle de perda de água e são variáveis dependendo da espécie. De acordo com Chaves (1991), o controle fisiológico da abertura estomática é mais importante para determinar a condutância estomática, em condições de estresse hídrico, do que as variações de tamanho e frequência de estômatos.

Algumas espécies de plantas têm a capacidade de tolerar a imposição do estresse hídrico, mantendo baixo potencial osmótico e máximo turgor, ou ainda pelo acúmulo de solutos no tecido, reduzindo a turgescência celular. Este mecanismo é definido como ajustamento osmótico, que é variável entre espécies e variedades de espécies (Morgan, 1984). Com o ajustamento osmótico, a planta extrai mais água do solo e perde menos para a atmosfera, mantendo os estômatos abertos e possibilitando a absorção de CO₂. Entretanto, de acordo com Hanson & Hitz (1982) e Chaves (1991), a velocidade e a duração do estresse são determinantes, pois se a planta sofrer uma redução no potencial hídrico foliar superior a -1,0 MPa por dia, não consegue se ajustar osmoticamente (Hanson & Hitz, 1982).

1.3.2.2 - Aspectos bioquímicos

O acúmulo de compostos orgânicos na forma de carboidratos, lipídeos e proteínas é importante para assegurar o fornecimento de carbono e energia química, para manter o crescimento em condições de estresse, onde a produção de assimilados é reduzida (Pimentel, 1998). O desdobramento de macromoléculas e a mobilização de assimilados podem ocorrer em resposta aos fatores ambientais externos, como a deficiência de nitrogênio, a limitação de luz e o déficit hídrico (Buchanan-Wollaston, 1997).

As plantas respondem a falta de água, através de alterações morfológicas, fisiológicas e do seu metabolismo. De acordo com Cellier et al. (1998), em nível celular, a imposição do déficit hídrico pode causar danos na integridade da célula. Neste sentido, segundo Hall & Rao (1994), um déficit hídrico severo levará à desestabilização das membranas, em decorrência do desdobramento de proteínas sob a ação das proteinases, ou ainda, de lipídeos pela ação das lipases ou por sua oxidação.

Para completar seu ciclo, a folha passa por fases distintas, onde primeiramente ocorre a expansão com a importação de carbono e nitrogênio, a partir da qual se inicia a síntese de proteínas, que vai até a completa eficiência fotossintética. Com a maturação, a folha entra em atividade, contribuindo com a produção de carbono (Buchanan-Wollaston, 1997). A senescência foliar é o estágio final do desenvolvimento da folha. Nesta fase, ocorre uma intensa mobilização de nutrientes para diversas partes das plantas (Buchanan-Wollaston, 1997; Gan & Amasino, 1997). Estes mesmos autores citam que o início deste processo pode ser abreviado em resposta aos fatores ambientais, dentre os quais a limitação da água e a deficiência de nitrogênio são os que mais afetam o desenvolvimento das plantas.

O rompimento das membranas dos cloroplastos é a mais rápida e mais significativa modificação da célula de folhas senescentes. Esta organela responde por mais de 70% da proteína da folha (Gan & Amasino, 1997), que citam ainda que o catabolismo da clorofila e de macromoléculas como proteínas, lipídeos e RNA são responsáveis pela reposição de energia. Contudo, de acordo com Buchanan-Wollaston (1997), a degradação de proteínas, provavelmente, seja o processo de desdobramento mais significativo, uma vez que a remobilização de aminoácidos é imprescindível para promover o desenvolvimento de órgãos na planta.

As variações na sensibilidade dos vegetais para enfrentar os períodos de déficits hídricos é dependente da intensidade do estresse e dos mecanismos de adaptação à seca. Segundo Hsiao (1973), as adaptações aos estresses ambientais oferecem custo energético para as plantas. Sobre esta demanda de energia, Chaves (1991) descreve que uma mudança no particionamento, favorecendo a quebra de amido, e formando sacarose, é um efeito da desidratação sobre o metabolismo de fotoassimilados.

O Ácido Abscísico (ABA) exerce um papel importante na tolerância das plantas, às condições de

deficiência hídrica. Segundo Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki (1997), nestas condições, as células perdem água e a pressão de turgor diminui e, como consequência, aumenta a concentração desse hormônio. O acúmulo de ABA nas células guardas, induz o fechamento dos estômatos, controlando a perda de água pela transpiração e levando a planta a suportar a imposição do déficit hídrico (During & Scienza, 1980). Além da importância nas respostas fisiológicas das plantas, o ABA tem função importante na expressão de genes, que induzidos, sob condições de estresse, funcionam tanto na proteção da célula pela produção de proteínas metabólicas como na regulação de genes para a transdução de sinais (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 1997).

A nutrição mineral também tem grande importância nas respostas do vegetal a falta de água. O transporte de solutos é realizado através de canais de íons, que são proteínas de membranas integrais e exercem papel indispensável neste transporte (Maathuis et al. 1997). De acordo com Turner & Jones (1980), o potássio, os açúcares solúveis e os aminoácidos representam 60% a 100% dos componentes que atuam no ajustamento osmótico. Na cultura do milho, sob déficit hídrico, a adição de potássio possibilitou a redução da resistência estomática, favoreceu a estabilidade da membrana celular e promoveu o ajustamento osmótico (Premachandra, 1991).

1.3.2.3 - Aspectos do Crescimento

A água como principal constituinte do vegetal é a responsável por inúmeras funções, indispensáveis à manutenção e desenvolvimento da planta. Atua no transporte de solutos, na turgescência e no metabolismo celular, no movimento dos estômatos, no aprofundamento das raízes e na forma e estrutura dos órgãos.

De acordo com Munns (1988), o crescimento é dependente da expansão celular, mas é influenciado, também, pelo coeficiente de elasticidade da parede. Segundo Pimentel (1999), o coeficiente de elasticidade é afetado pelo estresse hídrico e também pela ação de enzimas, que são responsáveis por alterações na composição da parede celular. Para o autor, as plantas que primeiramente executam ajuste de parede para um posterior ajuste osmótico, conseguem manter o conteúdo relativo de água mais elevado. Em estudos com a cultura do algodoeiro, Marur (1999) observou que o módulo de elasticidade aumentou proporcionalmente sob deficiência hídrica.

A expansão foliar é dependente do gradiente de potencial hídrico para deslocar a água na célula e promover o crescimento. Na cultura da soja, a diferença brusca de potencial foi a causa primária da inibição do crescimento (Nonami et al. 1997). No trigo, em condições controladas, não foi observada desidratação em nenhum estágio do desenvolvimento, quando as plantas foram submetidas a um potencial hídrico de até -2,0 MPa. Somente quando as plantas sofreram um déficit hídrico de -3,0 MPa foram verificadas reduções significativas no rendimento de grãos (Rodrigues et al. 1998).

A deficiência hídrica afeta o crescimento de todos os órgãos do vegetal, afetando a expansão foliar e, como consequência, reduz a matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, influenciando na produtividade da planta.

Muitas culturas possuem um estágio de desenvolvimento, no qual a deficiência hídrica causa maior redução na produção. O estresse imposto na fase vegetativa, caracterizado pela expansão foliar, tem efeito indireto na produtividade do feijoeiro, com redução da área assimilatória no período de enchimento de grãos (Guimarães et al. 1996a). No amendoim, a área foliar, a matéria seca da parte aérea e a produtividade de grãos foram mais afetados também na fase vegetativa (Araújo & Ferreira, 1997). Na fase reprodutiva, a deficiência hídrica diminuiu a produção de trigo em 30% (Machado et al. 1993), afetou o índice de área foliar e o peso específico foliar em genótipos de feijão (Guimarães et al. 1996a), e, na soja, prejudicou o enchimento de grãos e proporcionou o aumento de sementes pouco desenvolvidas (Salinas et al. 1996).

Segundo Tschaplinski et al. (1998), a redução da produtividade causada pelo déficit hídrico está em função do tempo de resposta dos mecanismos que evitam a seca. Esses autores relatam que a produção temporária de raízes, durante a seca, favorece o deslocamento de carbono a partir de tecidos da parte aérea da planta, limitando o crescimento desta em curto prazo, mas, em longo prazo, este mecanismo evita a seca, mantendo um balanço hídrico mais favorável.

O mecanismo de ajustamento osmótico é função da idade da folha. Folhas jovens expandidas têm a capacidade de exercer importante desempenho no influxo de água para os tecidos, permitindo a continuação do crescimento (Chaves, 1991). O ajuste do porte da planta, com redução do número de nós na haste principal e de ramos secundários, foi verificado por Guimarães et al. (1996a), em resposta a deficiência hídrica em plantas de feijão.

O aprofundamento do sistema radicular é um mecanismo fisiológico utilizado por muitas plantas como forma de manter o balanço hídrico e favorecer o desenvolvimento da planta, em condições de pouca disponibilidade hídrica. Em estudos com variedades de caupi, observou-se a capacidade das plantas de aprofundar as raízes em resposta à falta de água (Costa et al. 1997), enquanto no feijão, Guimarães et al. (1996b) verificaram que a eficiência radicular, para a absorção de água, aumentou com a profundidade do solo.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, R.; LIMA, R.A.; CORRÊA, R.G.C.; GOTTLIEB, O.R.; MARX.; M.C.; SILVA, M.L.; MAIA, J.G.S.; MAGALHÃES, M.T.; ASSUMPÇÃO, R.M.V. Óleos Essenciais de Plantas Brasileiras. *Acta Amazônica*, v.1, p. 41-43, 1971.
- ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenaloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ARAÚJO, W.F.; FERREIRA, G.R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do Amendoim. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 5, p. 481-484, 1997.
- BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: Funesp, 1988. 42p.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial de água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n. 7, p. 1053-1060, 1998.
- BUCHANAN-WOLLASTON, V. The molecular biology of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 307 p. 181-199, 1997.
- CELLIER, F.; CONÉJÉRO, G.; BREITLER, J. C.; CASSE, F. Molecular and physiological responses to water deficit in drought-sensitive lines of sunflower. Accumulation of dehydrin transcripts correlates with tolerance. *Plant Physiology*, v. 116, p. 319-328, 1998.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 234 p. 1-16, 1991.
- CHEN Jr., P.S., TORIBARA, T.Y.; WARNER, H. Micro determination of phosphorus. *Analytical Chemistry*. v. 28, p. 1756-1758, 1956.
- CLAESSEN, M.E.C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J.L. de.; DUARTE, M.N. *Manual de Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.
- COSTA, M.M.M.N; TÁVORA, F.J.A. F; PINHO, J.L.N.; MELO, F.I.O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 1, p. 43-50, 1997.
- DURING, H.; SCIENZA, A. Drought resistance of some vitis species and cultivars. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAPE BREEDING, 3., 1980, Davies. *Proceedings*. Davies: (s.n.), 1980. p. 179-190.

EPRON, D. Effects of drought on photosynthesis and on the thermotolerance of photosystem II in Seedlings of cedar (*Cedrus atlantica* and *C. libani*). *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 315, p. 1835-1841, 1997.

GAN, S.; AMASINO, R.M. Making sense of senescence. Molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiology*, v. 113, p. 313-319, 1997.

GARCIA-PLAZAOLA, J.L.; FARIA, T.; ABADIA, J.; ABADIA, A.; CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S. Seasonal changes in zanthophyl composition and photosynthesis of cork oak (*Quercus suber* L.) leaves under mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 314, p. 1667-1674, 1997.

GOMES, M.M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MACHADO, E.C.; FURLANI, P.R. Trocas gasosas e quantificação do ácido abscísico em duas cultivares de arroz de sequeiro submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v 9, n. 3, p. 177-183, 1997.

GREEN, C.L.; HONE, G.A. *Essential Oil Production in Developing Countries*. In: Proceeding the 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON AROMATIC AND MEDICINAL PLANTS HELD IN NYONS, France December 1992; pp 197-202. Published by Center de Formation Professionales et de Promotion Agricole (CFPPA), Nyons, 1992.

GUIMARÃES, C.M.; BRUNINI, O.; STONE, L.F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. I. Densidade e eficiência radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v 31, n. 6, p. 393-399, 1996b.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agrônômicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v 31, n. 7, p. 481-488, 1996a.

HALL, D.O.; RAO, K.K. *Photosynthesis. Studies in biology*. Cambridge University Press. Cambridge, 1994.

HANSON, A.D.; HITZ, W.D. Metabolic responses of mesophytes plants to water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 33, p. 163-203, 1982.

HEATH, H.B. *Flavorings, condiments and relishes*. In: DESROSIER, N.W., ed. *Elements de Food Technology*. Westport: The Avipublishing Company, INC.1977. p.666-701.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 24, p. 519-570, 1973.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. *Water relations of plants and soils*. San Diego, Academic Press, 1995. 495p.

- MAATHUIS, F.J.M.; ICHIDA, A.M.; SANDERS, D.; SCHROEDER. Roles of higher plant K⁺ channels. *Plant Physiology*, v. 114, p. 1141-1149, 1997.
- MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A.; TICCELLI, M. Relações fonte dreno em trigo submetido à deficiência hídrica no estágio reprodutivo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 5, n. 2, p. 145-150, 1993.
- MAIA, J.G.S.; SILVA, M.L.; LUZ, A.I.R.; ZOGHBI, M.G.B.; RAMOS, L.S. Espécies de *Piper* da Amazônia rica em safrol. *Química Nova*. São Paulo, v. 10, n. 3, p. 200-204, 1987.
- MAIER-MAERCKER, U. Dynamics of change in stomatal response and water status of *Picea abies* during a persistent drought period: a contribution to the traditional view of plant water relations. *Tree Physiology*, v. 18, p. 211-222, 1998.
- MARUR, C. J. Curvas pressão-volume e expansão foliar em cultivares de algodoeiro, submetidos a déficit hídrico. *Scientia Agrícola*, v. 56, 3, p. 563-569, 1999.
- MESQUITA, C.C. de. *O clima do Estado do acre*. Rio Branco, AC: IMAC, 1996. 53p.
- MOREIRA, M.A.; R. ANGULO FILHO; B.F.T. RUDORFF. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. *Scientia Agrícola*, v.56, n.3, p. 597-603, 1999.
- MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 35, p. 299-319, 1984.
- MUNNS, R. Why measure osmotic adjustment? *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p. 717-726, 1988.
- NASCIMENTO, M. E.; VILHENA-POTIGUARA, R. P. Aspectos anatômicos dos órgãos vegetativos de *Piper hispidinervium* C. DC. (*Piperaceae*) e suas estruturas secretoras. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica, v. 15, n. 1, 1999.
- NASCIMENTO, M. E. Aspectos anatômicos dos órgãos vegetativos de *Piper hispidinervium* C. DC. (*Piperaceae*) e suas estruturas secretoras. Tese de Mestrado. Belém, PA, Centro de ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará e do Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. 78p.
- NOGUEIRA, R.J.M.; SANTOS, R.C.; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 12, p. 1963-1969, 1998.

- NONAMI, H.; WU, Y.; BOYER, S. Decreased growth-induced water potential. A primary cause of growth inhibition at low water potentials. *Plant Physiology*, v. 114, p. 501-509, 1997.
- PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: EDUR, 1998. 159p.
- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999.
- PIMENTEL, F.A.; PEREIRA, J.B.M.; OLIVEIRA, M.N. de. Zoneamento e caracterização de habitats naturais de pimenta longa (*Piper hispidinervium*) no Acre. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC, 1998. 17p (Embrapa-CPAF/AC. Boletim de Pesquisa, 20).
- PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 239, p. 739-745, 1991.
- REGINA, M. A.; CARBONNEAU, A. Trocas gasosas em *Vitis vinifera* sob regime de estresse hídrico. II. Fotorrespiração e comportamento varietal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 1, p. 37-43, 1999.
- ROCHA NETO, O.G.; FIGUEIREDO, F.J.C.; SOUZA, N.G. Comportamento estomático e fotossintético de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Teobroma grandiflorum* Schum.) In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1, 1996, Belém, Pa, Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997, p. 89-102.
- ROCHA NETO, O.G.; OLIVEIRA Jr., R.C.; CARVALHO, J.E.U.; LAMEIRA, O.A.; SOUSA, A.R.; MARADIAGA, J.B.G. *Principais produtos extrativos da Amazônia e seus coeficientes técnicos*. Brasília: IBAMA, 1999. p.41-47.
- RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 6, p. 839-846, 1998.
- RUDORFF, B.F.T.; MOREIRA, M.A.; OVIEDO, A.; FREITAS, J.G. Efeito do nitrogênio e do déficit hídrico na resposta espectral de cultivares de trigo. In: *Memorias del VIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, 2-7 Nov., Mérida, Venezuela. CD-ROM, 1997.
- SALINAS, A.R.; ZELENER, N.; CRAVIOTO, R.M.; BISARO, V. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 5, p. 331-338, 1996.

SALINAS, J.G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y forrajera*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. 83p.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Departamento de Química, E.S.A. Luiz de Queiroz. USP, Piracicaba, SP, 1974, 170p.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v. 149, p. 920-922, 1965.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene expression and signal transduction in water-stress response. *Plant Physiology*, v. 115, p. 327-334, 1997.

SILVA, M. H. L. *Tecnologia de cultivo e produção racional de Pimenta Longa (Piper hispidinervium C. DC.)*. Tese de Mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1993. 120p.

TSCHAPLINSKI, T.J.; TUSKAN, G.A.; GEBRE, G.M.; TODD, D.E. Drought resistance of two hybrid *Populus* clones grown in large-scale plantation. *Tree Physiology*, v. 18, p. 653-658, 1998.

TURNER, N. C.; JONES, M. M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. *Adaptation of plants to water and higher temperature stress*. New York: J. Wiley, 87-103, 1980.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone. *Biochemical Journal*. (57):508-514, 1954.

CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES HÍDRICAS E FOTOSSÍNTESE DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC), EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇU, PA

RESUMO

Estudou-se no período de maio/98 a março/99, em condições de campo, no Município de Igarapé-Açu, PA, as relações hídricas de plantas de pimenta longa em cultivos com e sem suplementação hídrica. Os tratamentos foram: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. Avaliou-se a resistência estomática, a transpiração, a fotossíntese líquida, o potencial hídrico foliar e o teor de água no solo. Monitorou-se ainda, no local do experimento, a precipitação pluviométrica, a radiação fotossinteticamente ativa e a umidade relativa. A partir do sexto dia sem precipitação pluviométrica, verificaram-se alterações nas variáveis estudadas. No 15º dia de déficit hídrico, nos tratamentos sem suplementação hídrica, observaram-se os maiores impactos sobre as variáveis, onde o Ψ_f de base reduziu de valores de -0,05 MPa para -0,5 MPa, a R_s elevou-se de aproximadamente 0,3 s.cm⁻¹ para mais de 5,0 s.cm⁻¹, às 9:00h, e a fotossíntese líquida reduziu de 20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, para valores em torno de 1,4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Após os períodos de déficits, as plantas mostraram capacidade de recuperação, apresentando valores próximos aos verificados nas plantas sem deficiência hídrica.

CHAPTER 2 - WATER RELATIONS AND PHOTOSYNTHESIS OF PLANTS OF PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF CULTIVATION IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF IGARAPÉ-AÇU, PA

ABSTRACT

It was studied, between May/98 and March/99, in field conditions, in the Municipal district of Igarapé-Açu, PA, the water relations of plants of pimenta longa cultivated with and without irrigation. The treatments were: T1 - irrigated and non-fertilized; T2 - irrigated and fertilized; T3 - non-irrigated and non-fertilized; T4 - non-irrigated and fertilized. Stomatal resistance, transpiration, net photosynthesis, leaf water potential and soil water content were evaluated. It was also evaluated the local, rainfall, the photosynthetically active radiation and the relative humidity. Starting from the 6th day without the rainfall, alterations were observed on the studied variables. In the 15th day of water stress, in the treatments without irrigation, it was observed the largest impact on the variables, where the pre-dawn water potential was reduced from -0.05 MPa to -0,5 MPa, the stomatal resistance increased from approximately 0.3 s.cm⁻¹ to more than 5.0 s.cm⁻¹, at 9:00h a.m., and net photosynthesis was reduced from 20 µmol.m⁻².s⁻¹, to values around 1.4 µmol.m⁻².s⁻¹. After the periods of deficits, the plants showed recovery capacity, displaying values close to the ones observed in the plants without water stress.

2.1 - INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais, a deficiência de nutrientes e a falta de água são importantes fatores relacionados aos estresses em vegetais. Segundo Chaves (1991), em condições de campo, a planta está sujeita a estresses ambientais múltiplos, que, impostos em conjunto, proporcionam efeitos muitas vezes aditivos, limitando a aquisição de carbono e o crescimento. Esse mesmo autor relata ainda que o conhecimento da interação de fatores ambientais é essencial para o entendimento do comportamento das plantas na natureza.

Os processos fisiológicos dos vegetais estão ligados às variações das condições ambientais. A deficiência hídrica reduz o potencial hídrico da planta, reduzindo a condutância estomática, pelo fechamento dos estômatos. Por outro lado, a absorção de CO_2 é afetada, com consequências sobre a fotossíntese líquida (Hsiao, 1973; Chaves, 1991; Gomes et al. 1997; Nogueira et al. 1998; Brunini & Cardoso, 1998; Regina & Carbonneau, 1999).

Em condições de campo, Mair-Maercher (1998) observou que as variações na fotossíntese líquida e na taxa transpiratória foram mais em função das variáveis atmosféricas, do que do potencial hídrico do solo. Este autor sugere a interdependência do controle estomático, onde a recuperação do potencial hídrico à noite permite a abertura durante o dia, e que altas taxas transpiratórias podem causar decréscimos no potencial hídrico se o suprimento de água for limitante.

De acordo com Chaves (1991), o impacto do tipo de estresse sobre a planta é dependente da interação relacionada ao controle genético interno e ao estresse. Nesse sentido, as respostas dos vegetais ao estresse hídrico são variáveis entre as espécies (Kramer & Boyer, 1995), sendo dependente principalmente da intensidade à que a planta é submetida (Brunini & Cardoso, 1998).

O estudo do comportamento ecofisiológico de plantas, em fase de domesticação, possibilita a adequação de manejos, visando aumento da produtividade. Dessa forma, este trabalho pretende estudar as respostas biofísicas de pimenta longa às variações climáticas sazonais, com o objetivo de contribuir para o conhecimento fisiológico da espécie e direcionar manejos adequados para o seu cultivo comercial.

2.2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 - Condições de cultivo e material vegetal

O experimento foi conduzido em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, em pequena propriedade rural no Município de Igarapé-Açu, no nordeste do Estado do Pará, (1°16'758" S, 47°35'575" W). O solo predominante é o Latossolo Amarelo textura arenosa. O clima, segundo a classificação de Köppen (Embrapa, 1986), é Am, e apresenta, baseado em dados da estação climatológica Marcelino, da Embrapa Amazônia Oriental, relativo período seco, que se estende de setembro a novembro. A precipitação média anual é de 2.500 mm, com a temperatura média, em torno de 26 °C e a umidade relativa do ar de 84%.

As plantas foram provenientes de sementes selecionadas pela Embrapa Acre, com base no teor de safrol. Depois de germinadas, as plântulas foram repicadas para copos de plástico com capacidade para 200 mL, contendo terra vegetal, serragem e esterco de gado curtido, na proporção volumétrica de 2:2:1, e enviveiradas por um período de 3 meses. Após este período, as plantas foram selecionadas e plantadas no campo no espaçamento de 1 m x 1 m.

Por ocasião do plantio, efetuou-se a adubação orgânica na base de 1 litro de raspa de mandioca curtida e 200 ml de torta de mamona comercial/cova nos tratamentos com adubação, assim como a aplicação de 7g de superfosfato triplo. Após o plantio, efetuou-se a cobertura do solo com raspa de mandioca curtida em todos os tratamentos. Durante o período experimental, realizaram-se as adubações químicas de manutenção, em todos os tratamentos, na base de 3g de uréia e 2g de cloreto de potássio, por planta.

A suplementação da irrigação foi efetuada de forma empírica, a partir do mês de outubro/98, na base de 1,5 L de água/planta/dia, realizada sempre que não houve precipitação pluviométrica por 2 dias consecutivos. No sistema de irrigação utilizou-se fonte de água natural, captada por bomba tipo sapo (Ananzer 800), e armazenada em caixa d'água de 1.000 L e, a partir da qual, por gravidade, e através de mangueiras de polietileno, com pequenas perfurações, situados em fileiras alternadas e espaçados a cada 2 m, possibilitava a irrigação localizada próxima à região das raízes.

2.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental

A área experimental constou de duas áreas de 40 m x 40 m, distantes aproximadamente de 20 m, sendo uma irrigada e outra não-irrigada. Cada área foi constituída de dois grupos de plantas, em que um foi plantado com matéria orgânica e outro sem matéria orgânica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com unidades experimentais variáveis, de acordo com a característica estudada.

Os tratamentos foram os seguintes: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. Para as avaliações de porometria e fotossíntese, selecionaram-se seis plantas, para cada tratamento, onde foram medidas duas folhas/planta, totalizando 12 mensurações. Na determinação do potencial hídrico, avaliaram-se quatro plantas, sendo medido um ramo/planta, num total de oito mensurações.

Os dados foram analisados, seguindo os procedimentos da análise de variância para o delineamento utilizado. As diferenças entre os tratamentos foram verificadas pelo teste de Tukey, em nível de erro de 0,05, utilizando-se o SAS (Software estatístico).

2.2.3 - Variáveis de respostas

As respostas biofísicas das plantas às variações ambientais foram avaliadas a cada 2 meses, contudo, as mensurações foram intensificadas nos meses mais secos.

2.2.3.1 - Características micrometeorológicas do ambiente de estudo

A determinação das variações climáticas no local do experimento é de fundamental importância para o entendimento das respostas das plantas às modificações ambientais. Para tanto, monitorou-se a Precipitação Pluviométrica (PP), com pluviômetros de medição direta; a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), através de ceptômetro, marca Accu PAR; e a Temperatura (T) e a Umidade Relativa do ar (UR), utilizando-se psicrômetro de ventilação forçada, marca SIBATA.

O comportamento anual da precipitação pluviométrica foi obtido da média de 5 anos (1994 - 1999) da estação climatológica Marcelino - 01° 12' S; 47° 36' W, Igarapé-Açu, PA, Embrapa Amazônia Oriental.

2.2.3.2 - Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e teor de água no solo (TAS)

O potencial hídrico foliar foi determinado utilizando-se uma câmara de pressão (Scholander et al. 1965), e as medidas foram tomadas às 5:30h (potencial de base); 9:00h; 11:00h; 14:00h e 16:00h. Utilizaram-se ramos apicais que foram cortados e acondicionados em sacos de plástico, segundo a dinâmica do processo.

Para a determinação do teor (%) de água no solo, coletaram-se amostras de peso conhecido, nas entrelinhas de plantio, as profundidades de 0 cm a 10 cm; 10 cm a 20 cm; 20 cm a 30 cm; 30 cm a 40 cm; e 40 cm a 60 cm. Posteriormente, colocaram-se as amostras para secagem em estufa a 105 °C e o teor de água foi calculado pelo método gravimétrico (Claessen, 1997). Como não foram observadas variações marcantes, utilizou-se a média das diferentes profundidades.

2.2.3.3 - Comportamento estomático, Fotossíntese líquida (FL) e Transpiração (T)

O comportamento estomático foi avaliado através do curso diário de abertura estomática em resposta à resistência difusiva dos estômatos (R_s) ao vapor d'água, obedecendo aos seguintes horários: 9:00h; 11:00h; 14:00h e 16:30h. As leituras foram realizadas com o porômetro de difusão AP-4 Delta T - Devices - Cambridge. U.K. Para tanto, utilizou-se folhas fisiologicamente maduras, situadas na parte média superior das plantas.

A fotossíntese líquida e a transpiração foram determinadas utilizando-se o analisador a gás infravermelho - IRGA, LI - 6200, e as leituras realizadas no horário de 10:00h às 12:00h. As folhas selecionadas para leitura seguiram o mesmo padrão das utilizadas para porometria.

2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 - Características micrometeorológicas do ambiente de estudo

O comportamento da precipitação pluviométrica e da radiação fotossinteticamente ativa estão representados nas Figuras 1A e 1B, respectivamente. Analisando os valores pluviométricos médios (Figura 1A), observam-se dois períodos distintos. O primeiro (Jan/Jun) apresenta uma média mensal superior a 200 mm, com uma distribuição regular; enquanto o segundo (Jul/dez), a média mensal é inferior a 160 mm e a distribuição é bastante irregular, onde se observaram anos apresentando até 2 meses consecutivos com precipitação pluviométrica próxima a zero, como pode ser observado nas Tabelas 1, 2, 3, e 4 (Apêndice).

Os dados de precipitação pluviométrica da estação climatológica, assim como os coletados no local do experimento, mostraram que o período seco do ano de 1998 não foi tão intenso. Contudo, observaram-se períodos de até 20 dias sem chuva, que influenciaram significativamente as variáveis estudadas (Tabela 5 - Apêndice).

De acordo com Pimentel (1998), em regiões úmidas, a radiação incidente é reduzida em decorrência da umidade relativa e das impurezas sólidas. No decorrer do período experimental, verificou-se que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi bastante influenciada pela presença de nebulosidade. Na Figura 1B, representa-se o comportamento característico da RFA, em dias típicos dos períodos chuvoso e seco. Os valores da RFA, foram, em média, sempre superiores a $1.200 \text{ mmol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pela parte da manhã, independente da época do ano. Observou-se, também, que a maior intensidade de precipitação, assim como a presença constante de nebulosidade, diminuiu consideravelmente a RFA na época chuvosa, principalmente no período vespertino. Sobre esse aspecto, Carvalho et al. (1998) observaram comportamento semelhante na região do estuário amazônico.

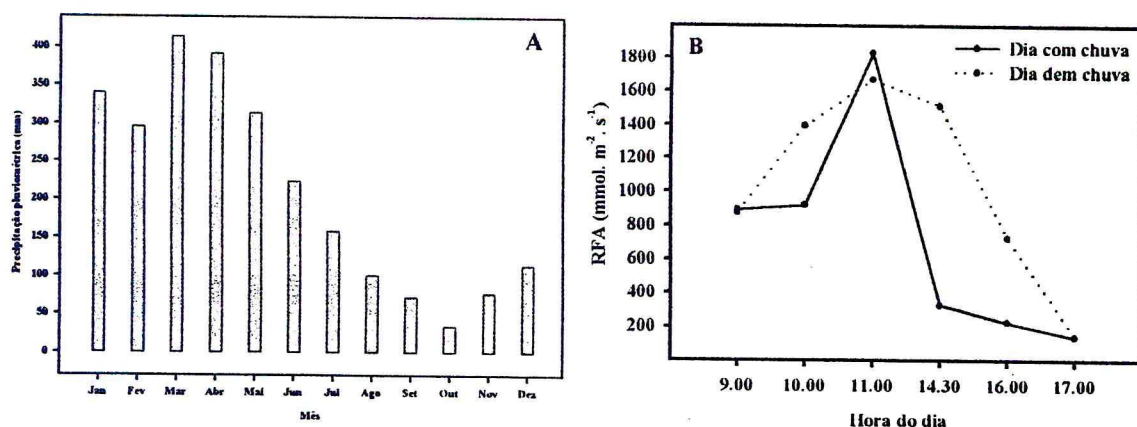


Figura 1 - (A) Valores médios mensal da precipitação pluviométrica (mm) da estação meteorológica Marcelino - 01° 12' S; 47° 36' W, Igarapé-Açu, PA (Fonte: Embrapa Amazônia Oriental); **(B)** Comportamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em dias típicos do período chuvoso e do período seco, no local do experimento, Igarapé-Açu, PA.

As variações de temperatura e de umidade relativa do ar, em dias típicos dos períodos chuvoso e seco, no local do experimento, estão representadas nas Figuras 2A e 2B, respectivamente. No período chuvoso, observaram-se pequenas alterações diurnas para essas variáveis, onde a temperatura cresceu de 25,5 °C a 28,6 °C e a umidade relativa reduziu de 91% para 77%. No período seco, as variações são mais expressivas, com a temperatura crescendo de 25,8 °C a 33,4 °C e a umidade relativa reduzindo de 87% para 60%.

O comportamento apresentado por essas variáveis estão relacionados diretamente à presença de nebulosidade, que no período chuvoso é mais constante, e a presença de nuvens de chuva mantém a umidade relativa elevada e uma temperatura mais baixa. Nesse sentido, Pimentel (1998) relata que, em regiões tropicais, a radiação solar é reduzida pela ação da umidade relativa, que favorece a reflexão da luz. No período seco, devido a uma maior intensidade luminosa durante o dia, o comportamento é inverso, observando-se maior variação de temperatura e de umidade relativa, durante o decorrer do dia.

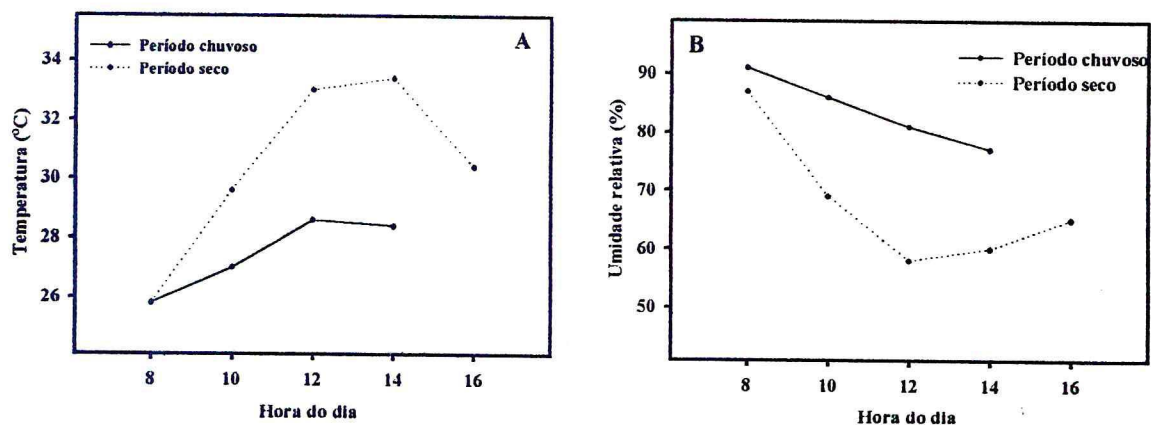


Figura 2 - (A) Comportamento da Temperatura (°C) e da Umidade Relativa (%), em dias típicos do período chuvoso e do período seco, no local do experimento, Igarapé-Açu, PA.

2.3.2 - Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e Teor de Água no Solo (TAS)

A determinação do Ψ_f permite avaliar a condição do status hídrico da planta. Na Figura 3, observa-se o comportamento de plantas de pimenta longa, em condições contrastantes. No primeiro caso (Figura 3A), verifica-se o comportamento do Ψ_f no período chuvoso, onde são observados valores de potencial de base às 5:30h, em torno de -0,05 MPa, independente do tratamento aplicado. A partir das primeiras horas da manhã, devido, provavelmente, ao aumento da demanda transpiratória o Ψ_f diminuiu proporcionalmente, atingindo valores mínimos próximo à -0,8 MPa, às 16:00h.

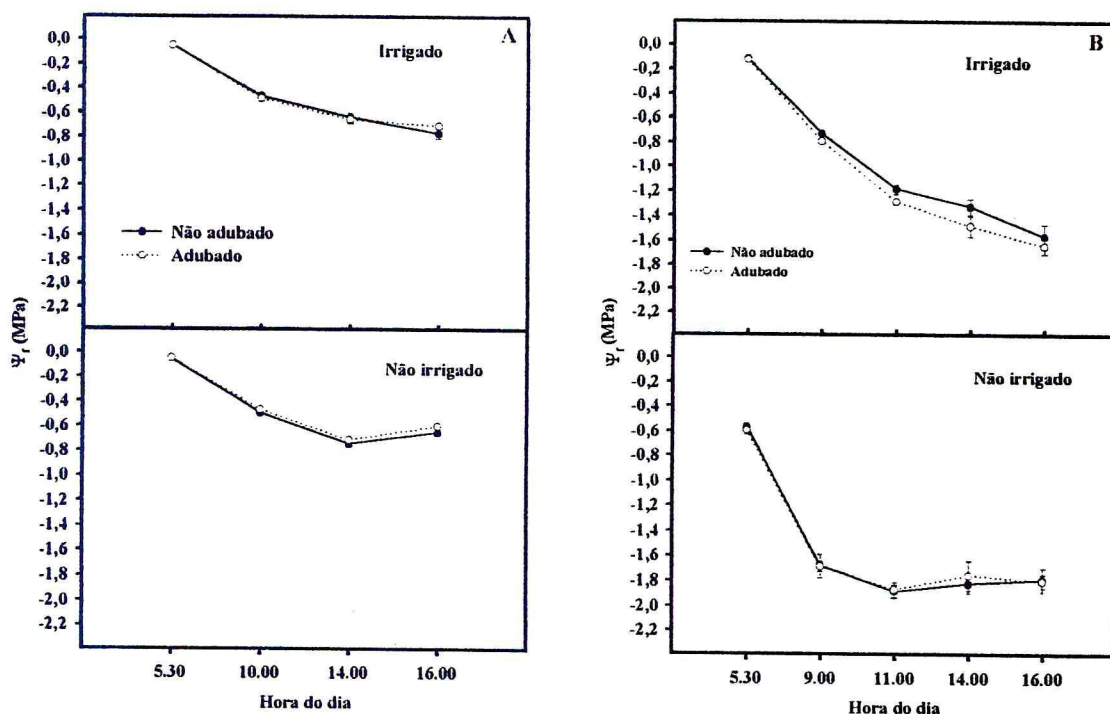


Figura 3 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do potencial hídrico foliar (ψ_f), em um dia típico do período chuvoso (A) e em dia típico do período seco (B), de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

No período seco (Figura 3B), o potencial de base permaneceu alto nos tratamentos irrigados, variando em torno de -0,07 MPa, enquanto para os tratamentos sem irrigação, os valores ficaram abaixo de -0,5 MPa. Neste período, o Ψ_f sofreu uma variação marcante no decorrer do dia, chegando a -1,6 MPa e -1,9 MPa, nos tratamentos com e sem irrigação, respectivamente. Contudo, nos tratamentos sem irrigação, os valores ficaram próximos do mínimo, observados a partir das 9:00 h, enquanto nos tratamentos irrigados, observou-se diminuição gradual até às 16:00h. Os valores de Ψ_f mais baixos, neste período, foi devido, provavelmente, a uma maior intensidade da radiação e também pela redução do conteúdo hídrico do solo (Figura 4), que afetaram o ajuste hídrico das plantas.

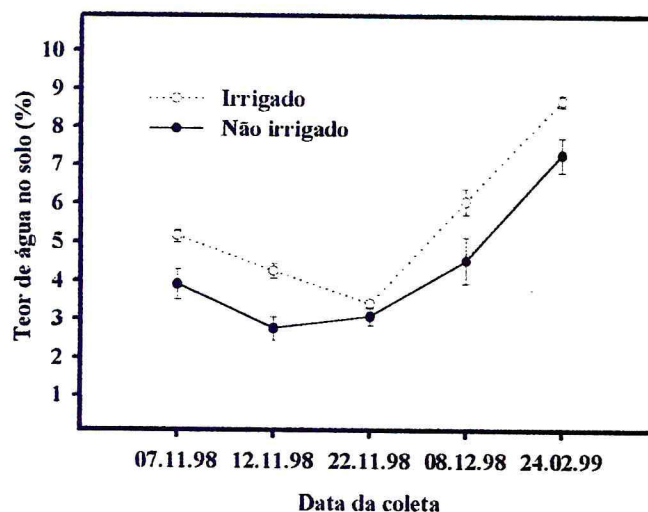


Figura 4 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do teor de água no solo, no período de Nov/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.

As variações do Ψ_f parecem estar ligados às variações ambientais decorrentes da sazonalidade climática. Na Figura 5 representam-se os valores de Ψ_f em condições naturais de cultivo, durante o período experimental. A análise dos dados mostrou que os efeitos das variações foram principalmente devidos à irrigação, e que com a intensificação da deficiência hídrica, as diferenças se acentuaram. Sobre esse aspecto, Maier-Maercker (1998) verificou que, em condições de campo, o potencial hídrico foliar de *Picea abies* sofreu variações, mas apresentou tendência de decréscimo com o tempo. Nos tratamentos com irrigação, não se verificaram variações nos valores de Ψ_f , que permaneceram com potencial de base em torno de -0,07 MPa, e, no horário de maior demanda hídrica às 14:00h, ficaram em média -1,2 MPa.

Nos tratamentos sem irrigação, a partir do sexto dia, após a última chuva, as plantas começaram a apresentar reduções significativas no Ψ_f , apresentando os menores valores no 15º dia de falta de água, onde o potencial hídrico de base ficou abaixo de -0,5 MPa, chegando próximo de -2,0 MPa, às 14:30h. Medina et al. (1999) observaram, em condições controladas, que o Ψ_f de plantas de laranjeiras decresceu progressivamente com a imposição do estresse e, ao nono dia, o Ψ_f medido às 7:00h, apresentou valores entre -2,0 MPa e -2,5 MPa.

Após esta fase de estresse, devido à ocorrência de precipitação pluviométrica, as plantas de pimenta longa, recuperaram o estado hídrico, aumentando o potencial de base para -0,07 MPa.

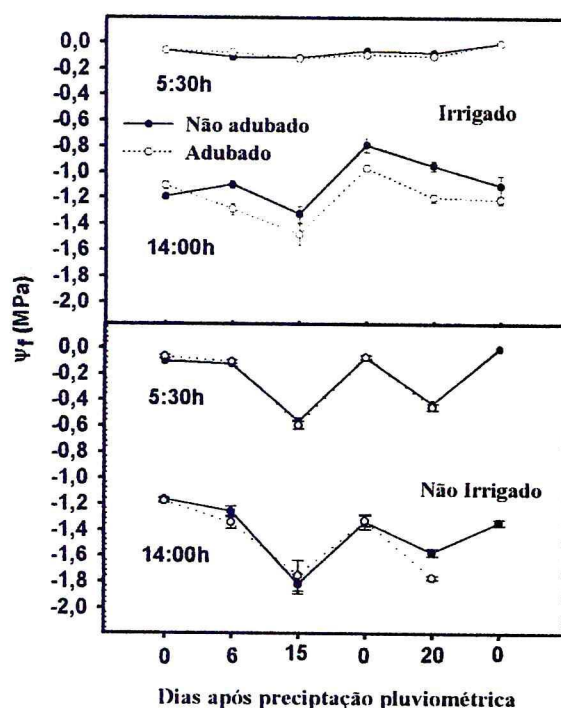


Figura 5 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do potencial hídrico foliar (Ψ_f), às 5:30h e 14:00h, de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.

O conteúdo hídrico do solo é dependente das variações do ambiente e tem papel fundamental nas flutuações do Ψ_f . Na segunda fase, após 20 dias sem precipitação pluviométrica, o potencial hídrico de base reduziu significativamente para valores próximos de -0,4 MPa, maiores que os observados na primeira fase. As diferenças observadas nas reduções do Ψ_f , entre as duas fases de estresse, devem ter sido influenciadas, tanto pelas variações do teor de água no solo (Figura 4) como também pelas variações microclimáticas (Figuras 1 e 2), ou ainda pela interação desses fatores. Por outro lado, Pimentel (1999) relata que o Ψ_f foi superior em plantas de milho que já haviam sofrido o primeiro ciclo de estresse, o que as possibilitou um maior ajuste osmótico.

2.3.3 - Resistência estomática (Rs), Transpiração (T) e Fotossíntese líquida (FL)

A medida da resistência difusiva avalia a perda de vapor d'água da planta para a atmosfera, através dos estômatos. Na Figura 6, verifica-se o curso diário da abertura estomática, em dias típicos dos períodos chuvoso e seco. Na Figura 6A, nota-se que o comportamento estomático das plantas, em um dia típico do período chuvoso, apresenta valores de Rs próximos de $0,4 \text{ s.cm}^{-1}$ de 9:00h até às 14:00h, aumentando às 16:30h, com variação de $1,0 \text{ s.cm}^{-1}$ a $1,8 \text{ s.cm}^{-1}$ entre os tratamentos com e sem irrigação, respectivamente. Essa variação, no período da tarde, é explicada pela dinâmica das condições do ambiente, principalmente, da presença de nebulosidade, que reduz a RFA e provoca aumento na resistência estomática.

Na Figura 6B representam-se os valores de Rs, em um dia típico do período seco, onde, nas plantas irrigadas, verificou-se valores em torno de $0,4 \text{ s.cm}^{-1}$ às 9:00h, com aumento gradual até às 14:00h, verificando-se valores próximos de $2,0 \text{ s.cm}^{-1}$ e, às 16:30h, os valores de Rs foram bastante elevados, chegando a 18 s.cm^{-1} . Em plantas de algodão, sob deficiência hídrica, Marur et al. (1996) verificaram aumento da Rs, no período de 12:00h até 18:00h. O aumento da Rs, a partir das 14:00h, no tratamento irrigado; e, a partir das 11:00h, no tratamento sem irrigação, em plantas de pimenta longa, deve estar relacionado à pressão das variáveis atmosféricas, como por exemplo a redução da precipitação pluviométrica e a radiação solar mais intensa no período (Figura 1); maior variação nos valores de temperatura e de umidade relativa durante o dia (Figura 2), ou ainda a presença constante de ventos, que se observou durante as mensurações. Nesse sentido, Maier-Maercker (1998) observou que as condições atmosféricas, durante o dia, podem ser determinantes na duração do período do estresse.

Nos tratamentos sem irrigação, as Rs observadas foram mais elevadas, em decorrência, principalmente, da redução da água do solo, que provocou o fechamento dos estômatos, a partir das primeiras horas do dia. Reduções na condutância estomática, provocadas pela deficiência hídrica, foram descritas por Chaves (1991); Salinas et al. (1996); Calbo & Moraes (1997); Nogueira et al. (1998) e Sasaki & Machado (1999).

Nos tratamentos sem adubação na cova, verificaram-se Rs de 2,21; 7,59; 7,08 e 22,52 s.cm^{-1} , respectivamente, no decorrer dos horários das observações, enquanto no tratamento com adubação, os valores foram de 5,03; 22,13; 24,69 e 27,06 s.cm^{-1} nos mesmos horários de observação. Os maiores valores de Rs encontrados no tratamento adubado ocorreram, provavelmente, devido à maior área foliar desenvolvida por este tratamento, nos períodos que precederam o estresse hídrico, o que induziu a planta à maior demanda hídrica, durante o período.

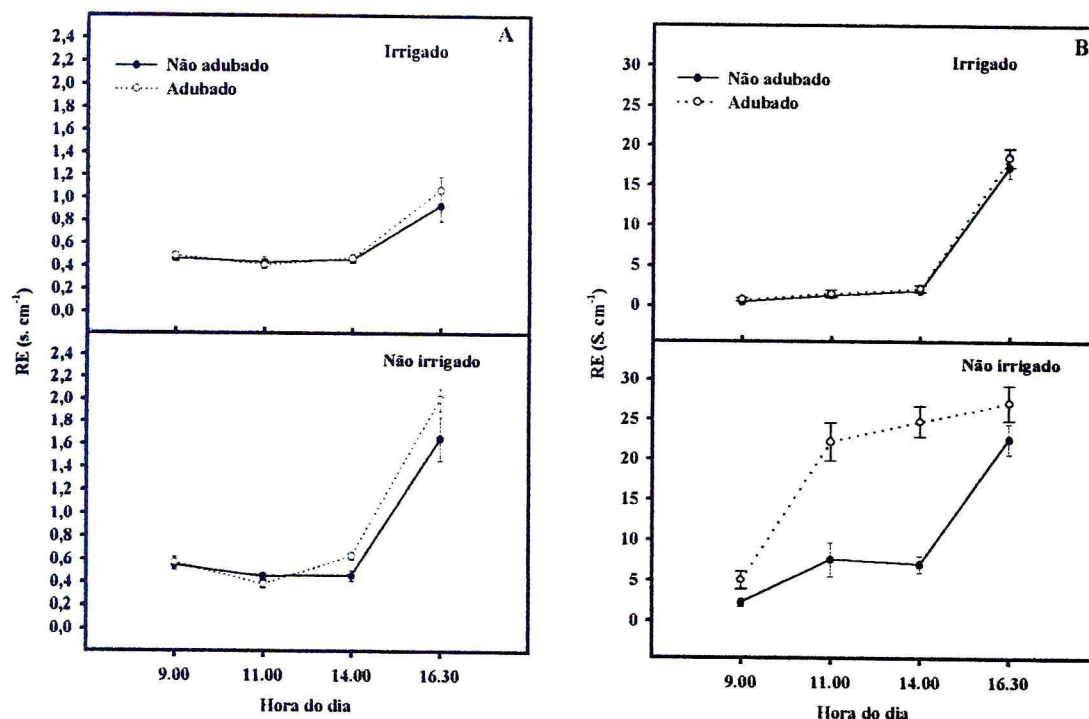


Figura 6 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) da resistência estomática (R_s), em um dia típico do período chuvoso (A), e em dia típico do período seco (B), (escalas diferentes em função dos diferentes valores entre os dois períodos) de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

As variações sazonais da R_s estão demonstradas na Figura 7. Muitas vezes, as diferenças estatísticas observadas para esta variável ocorreram mais em função da dinâmica nas respostas dos estômatos às variáveis atmosféricas, do que variações de tratamentos. Nas plantas sem deficiência hídrica, a R_s se manteve praticamente constante, durante todo o período experimental, com valores variando de $0,28 \text{ s.cm}^{-1}$ a $0,84 \text{ s.cm}^{-1}$ às 9:00h; e $0,29 \text{ s.cm}^{-1}$ a $1,88 \text{ s.cm}^{-1}$ às 14:00h.

Os resultados mostram que a pimenta longa responde à suplementação hídrica, permanecendo com os estômatos abertos, mesmo em horários de elevada demanda transpiratória. Em *Piper hispidum*, Mooney et al. (1983) observaram grande resposta da condutância estomática ao aumento da umidade relativa, e que o estômato tem função primária no controle de perda de água.

Os valores de R_s encontrados para plantas túrgidas se assemelham aos encontrados por Santos et al. (1998), e são considerados baixos, quando comparado com outras plantas mesófitas C_3 . Em clones de seringueira, Rocha Neto et al. (1983) encontraram valores, entre $4,5 \text{ s.cm}^{-1}$ e $7,0 \text{ s.cm}^{-1}$, que foram justificados pela espessa camada da cutícula foliar, enquanto Brunini & Cardoso (1998) encontraram valores médios em mudas desta mesma planta, de $6,0 \text{ s.cm}^{-1}$, em clones; e $15,0$ a 18 s.cm^{-1} , em pé franco. Para plantas jovens de cupuaçuzeiros, os valores mínimos encontrados foram $0,63 \text{ s.cm}^{-1}$ (Rocha Neto et al. 1997).

Com relação às plantas sem irrigação, os valores de R_s foram significativamente maiores nos períodos de maior deficiência hídrica no solo, que induziram a redução do Ψ_f e proporcionou o fechamento dos estômatos. No 15º dia sem precipitação pluviométrica, devido à intensificação do estresse hídrico, observaram-se os maiores valores de R_s . No algodão, Marur (1991) observou aumento gradativo da R_s , com o aumento da deficiência hídrica, o que foi observado também por Calbo & Moraes (1997), em plantas de buriti.

No tratamento sem adubação, a R_s variou de 2,21 s. cm⁻¹ a 7,08 s. cm⁻¹, enquanto no adubado, em consequência de uma maior área foliar, essa variação foi de 5,03 s. cm⁻¹ a 24,69 s. cm⁻¹, nos horários de 9:00h e 14:00h, respectivamente. Após este período, devido à incidência de chuva, as plantas não-irrigadas restauraram o turgor e diminuíram a R_s , apresentando valores de 0,28 s. cm⁻¹ às 9:00h, e 0,33 s. cm⁻¹ às 14:00h. A recuperação da R_s , após período de déficit hídrico, também foi verificada por Gomes et al. (1997) na cultura do arroz.

No segundo período de estresse, 20 dias sem precipitação pluviométrica, as plantas seguiram a mesma tendência do primeiro período, aumentando a resistência à perda do vapor d'água. Entretanto, os valores de R_s , apesar de significativos, foram menores, variando de 0,70 s. cm⁻¹ a 1,58 s. cm⁻¹ e 1,95 s. cm⁻¹ a 4,57 s. cm⁻¹ às 9:00h e 14:00h, respectivamente, para os tratamentos não-adubado e adubado. Este comportamento pode ter sido influenciado pelas condições atmosféricas do período, cuja presença constante de nebulosidade reduziu a radiação solar, proporcionando temperaturas mais amenas e umidades relativas mais elevadas, que, como consequência, favoreceram o balanço hídrico da planta. O processo de endurecimento, que ocorrem em plantas que já sofreram ciclos anteriores de estresses, possibilitando maior ajuste osmótico, também pode ter influenciado este comportamento (Pimentel, 1999).

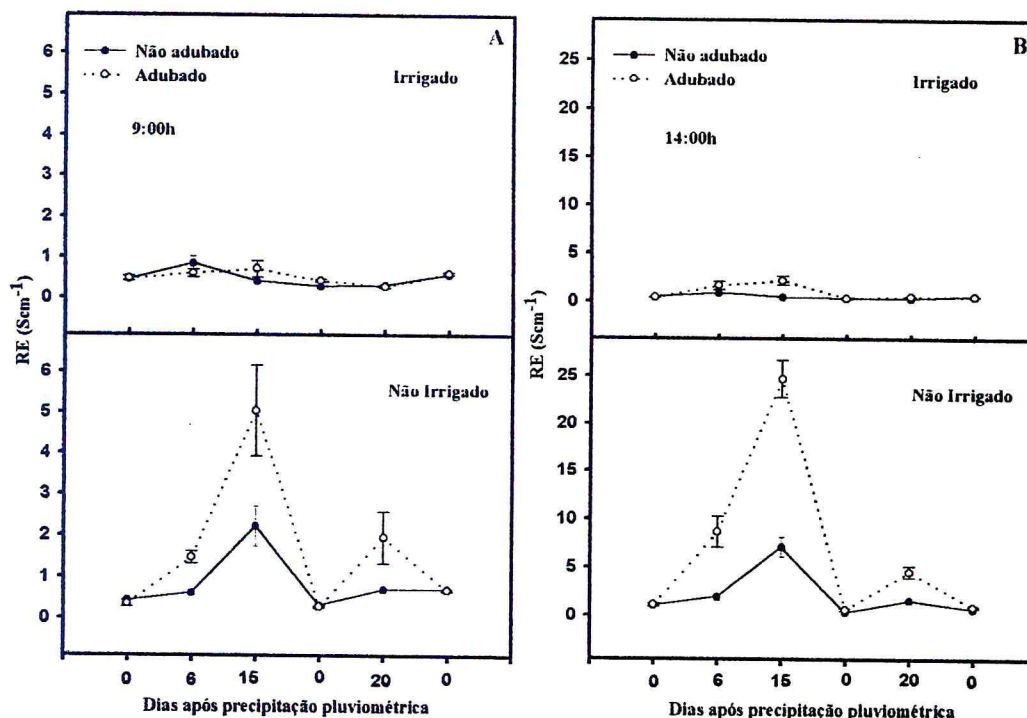


Figura 7 Valores médios ($\pm$ erro padrão) da resistência estomática (RE) às 9:00h (A) e às 14:00h (B) (escalas diferentes em função dos diferentes valores entre os dois períodos) de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.

O comportamento sazonal da fotossíntese líquida e da transpiração está representados na Figura 8. Na Figura 8B, observou-se que a FL se manteve elevada nas plantas irrigadas, com valores variando entre $15,00 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $20,00 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, que são valores considerados altos para uma planta mesófito C_3 , mas estão de acordo com os resultados obtidos por Santos et al. (1998), em condições semelhantes. Os valores mais baixos verificados nas plantas irrigadas, nos períodos de maior deficiência hídrica, podem ter sido em função da suplementação hídrica proporcionada, ter sido insuficiente para manter os níveis de FL da época chuvosa. Esta observação é sustentada pelo comportamento da transpiração, observada aos 20 dias sem precipitação (Figura 8A), que, como forma de prevenção, foi menor no cultivo adubado, pela maior demanda hídrica das plantas, em decorrência da maior área foliar formada até o período.

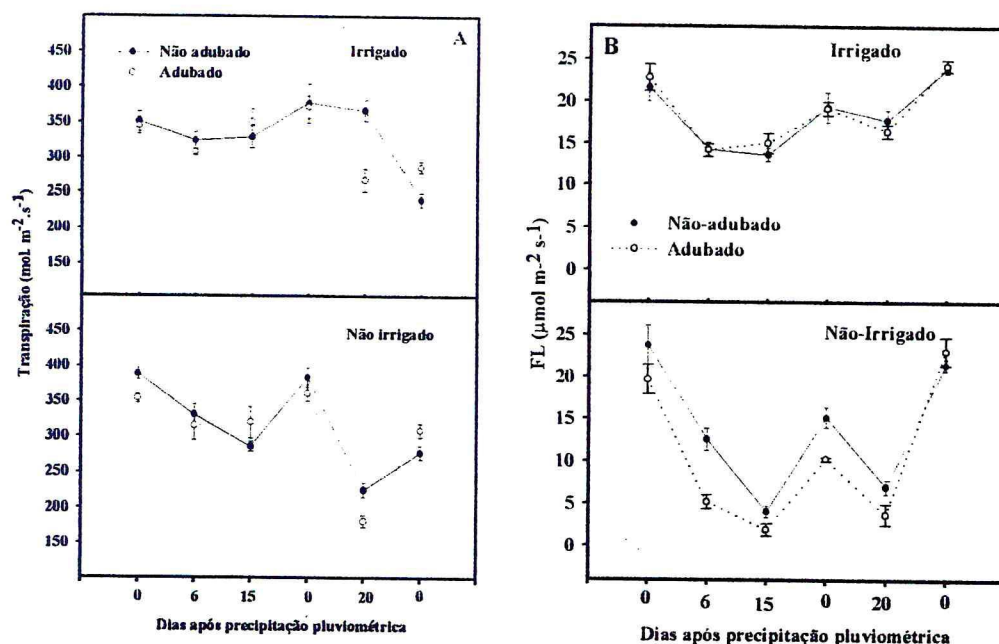


Figura 8 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) da transpiratória (T) - (A); e fotossíntese líquida (FL) - (B) de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de Set/98 a Mar/99, Igarapé-Açu, PA.

O padrão de resposta nos tratamentos sem irrigação foi semelhante para FL e TT, que apresentaram as menores taxas, coincidindo com os períodos de déficit hídrico. O fechamento dos estômatos, provocado por uma redução do potencial hídrico de base, de -0,05 MPa para -0,6 MPa, provavelmente, teve efeito direto na absorção de CO_2 , afetando significativamente a FL, que no 15º dia sem precipitação atingiu os valores mais baixos, variando de $1,94 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $4,12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ nos tratamentos com e sem adubação, respectivamente. O mecanismo de controle estomático, para evitar a perda de água com consequências sobre a assimilação de CO_2 , tem sido abordado por diversos autores (Hsiao, 1973; Chaves, 1991; Nogueira et al. 1998; Regina & Carbonneau, 1999; Sasaki & Machado, 1999). Nesse período, observaram-se ainda modificações fenotípicas nas plantas, tais como enrolamento, desidratação e queda de folhas. Estes mecanismos, juntamente com o controle estomático, são estratégias utilizadas pelas plantas para enfrentar períodos de seca (Subbarao et al. 1995).

De acordo com Larcher (1995), as plantas mesófitas herbáceas chegam à fotossíntese zero em potenciais hídricos na faixa de -1,5 MPa e -2,5 MPa, enquanto em árvores de floresta tropical, isso ocorre em potenciais entre -1,5 MPa e -4,0 MPa. Em buriti, a fotossíntese foi nula, com potencial hídrico de -2,1 MPa (Calbo & Moraes, 1997); para plantas de laranjeiras, o potencial hídrico, que induziu a fotossíntese próxima de zero, ficou entre -2,0 MPa e -2,5 MPa (Medina et al. (1999). Em plantas de pimenta longa, no tratamento com adubação, a fotossíntese líquida foi reduzida de aproximadamente $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em

plantas irrigadas, para valores mínimos, em torno de $1,94 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, aos 15 dias sem precipitação pluviométrica, com um potencial hídrico de base em torno de -0,6 MPa.

Segundo Chaves (1991), a recuperação das plantas após períodos de imposição de estresse é uma característica importante, e está relacionada com a restauração do Ψ_f , da abertura estomática, da condutividade hidráulica das raízes e do funcionamento de processos bioquímicos e fotoquímicos. Após as imposições dos períodos de déficit hídrico, a pimenta longa teve a capacidade de recuperar, em um curto espaço de tempo, os mecanismos fisiológicos, apresentando valores das variáveis estudadas similares às plantas que não sofreram deficiência hídrica. Respostas semelhantes foram observadas por Gomes et al. (1997), que verificaram em cultivares de arroz a recuperação da assimilação de CO_2 , da transpiração e da condutância estomática, após estresse hídrico e, por Rocha & Moraes (1997), que observaram a recuperação total da fotossíntese líquida, da condutância estomática e do Ψ_f , após 48h de reidratação de plantas de *Stryphnodendron adstringens*, depois de um período de 30 dias de estresse.

2.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial de água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 7, p 1053-1060, 1998.

CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmóticos de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 9 n. 2, p. 117-123, 1997.

CARVALHO, C.J.R.; ROMBOLD, J.; NEPSTAD, D.C.; SÁ, T.D.A. Relações hídricas do açazeiro em mata de várzea do estuário do Amazonas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 10 3, p. 213-218, 1998.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.

CLAESSEN, M.E.C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J.L. de; DUARTE, M.N. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA-CPATU. *Pesquisa sobre utilização e conservação do solo*. Relatório final do convênio Embrapa-CPATU/GTZ. Belém: Embrapa-CPATU, 1986. 291p. (Embrapa-CPATU, Documento, 40).

- GOMES, M.M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MACHADO, E.C.; FURLANI, P.R. Trocas gasosas e quantificação do ácido abscísico em duas cultivares de arroz de sequeiro, submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 9, n. 3, p. 177-183, 1997.
- HSIAO, T.C. Plant response to water stress. *Annual review of plant physiology*, v. 24, p. 519-570, 1973.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. *Water relations of plants and soils*. San Diego, Academic Press, 1995. 495p.
- LARCHER, W. *Physiological Plant Ecology*. New York, Springer-Verlag, 1995. 506p.
- MAIER-MAERCKER, U. Dynamics of change in stomatal response and water status of *Picea abies* during a persistent drought period: a contribution to the traditional view of plant water relations. *Tree Physiology*, v. 18, p. 211-222, 1998.
- MARUR, C.J. Comparação das taxas de fotossíntese líquida, resistência estomática e produtividade de duas cultivares de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n. 2, p. 153-161, 1991.
- MARUR, C.J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A.C. Carbon assimilation and export in leaves of cotton plants under water deficit. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 8, n. 3, p. 181-186, 1996.
- MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'valência' sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.
- MOONEY, H.A.; FIELD, C.; VÁSQUEZ YANES, C.; CHU, C. Environmental controls on stomatal conductance in a shrub of the humid tropics. *National Academy Science*, v. 80, p. 1295-1297, 1983.
- NOGUEIRA, R.J.M.; SANTOS, R.C.; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 12, p. 1963-1969, 1998.
- PIMENTEL, C. *Metabolismo de carbono na agricultura tropical*. Seropédica: EDUR, 1998. 159p.
- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999.
- REGINA, M.A.; CARBONNEAU, A. Trocas gasosas em *Vitis vinifera* sob regime de estresse hídrico. II. Fotorrespiração e comportamento varietal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 1, p. 37-43, 1999.

ROCHA NETO, O.G.; CANO, M.A.O.; TIEBAUT, J.T.L. Eficiência no uso da água em plântulas de seringueira submetidas a déficit hídrico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 18, n. 4, p. 363-369, 1983.

ROCHA NETO, O.G.; FIGUEIREDO, F.J.C.; SOUZA, N.G. *Comportamento estomático e fotossintético de plantas jovens de cupuaçuzeiro (Theobroma grandiflorum Schum.)* In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA DO REINO E CUPUAÇU, 1, 1996, Belém-Pa, Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997, p. 89-102.

ROCHA, A.M.S.; MORAES, J.A. P.V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Covile. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 9, n. 1, p. 43-48, 1997.

SALINAS, A.R.; ZELENER, N.; CRAVIOTO, R.M.; BISARO, V. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 5, p. 331-338, 1996.

SANTOS, E.B.; SOUZA, C.M.A.; SILVA, E.S.A.; ROCHA NETO, O.G. *Produtividade primária de plantas de pimenta longa (Piper hispidinervium C. DC)* , In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 4, 1998. Belém, PA. Resumos. Belém: FCAP, 1998. p.507.

SASSAKI, R.M.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 9, p. 1571-1579, 1999.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v. 149, p. 920-922, 1965.

SUBBARAO, G.V.; JOHANSEN, C.; SLINKARD, A.E.; RAO, R.C.N; SAXENA, N.P.; CHAUHAN, Y.S. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critical Reviews of plant Science*, v. 14, p. 469-524, 1995.

CAPÍTULO 3 - COMPORTAMENTO BIOQUÍMICO DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ AÇU, PA

RESUMO

Respostas bioquímicas de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, foram estudadas em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, no Município de Igarapé-Açu, PA. Adotaram-se os seguintes tratamentos: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. Avaliou-se o efeito do estresse hídrico através do conteúdo de clorofila, dos teores de açúcares solúveis e proteínas totais, e dos teores de fósforo e potássio. Observou-se que nos meses mais secos, ocorreu a redução do conteúdo de clorofila, independente do tratamento aplicado, sendo a clorofila a, a mais afetada. O estresse hídrico reduziu os teores de açúcares solúveis totais e de potássio, enquanto os de proteínas e fósforo se mantiveram praticamente constantes, durante o período de observação. Nas plantas irrigadas, os teores de potássio aumentaram com a idade das plantas.

CHAPTER 3 - BIOCHEMICAL BEHAVIOR OF PLANTS OF PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF CULTIVATION IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF IGARAPÉ-AÇU, PA

ABSTRACT

The biochemical responses of plants of pimenta longa, cultivated with and without irrigation, were studied under field conditions, between May/98 and March/99, in the Municipal district of Igarapé-Açu, PA. the following treatments were tested: T1 - irrigated and non-fertilized; T2 - irrigated and fertilized; T3 - non-irrigated and non-fertilized; T4 - non-irrigated and fertilized. To evaluate the effect of water stress, chlorophyll content, total soluble sugar content, total protein content and phosphorus and potassium content. It was observed that in the driest months, there was a reduction in the chlorophyll content, independent of the treatment, being chlorophyll a, more affected. Water stress reduced the contents of total soluble sugars and of potassium, while the protein and phosphorus contents stayed practically constant, during the observation period. In the irrigated plants, potassium contents increased with plants age.

3.1 - INTRODUÇÃO

O estresse hídrico afeta a absorção e a translocação de água e nutrientes, induzindo nas plantas diversas modificações bioquímicas e alterando dessa forma o metabolismo celular. Segundo Cellier et al. (1998), a deficiência hídrica pode resultar em danos na integridade da célula. Sobre esse aspecto, Sousa et al. (1999) observaram que o déficit hídrico afetou a diferenciação celular, causou danos nas células e a desorganização em tecidos de eucalipto.

As plantas acumulam matéria seca na forma de carboidratos, proteínas e lipídios para suprir a demanda de energia na falta de produção de assimilados, como acontece à noite ou em condições de estresse (Pimentel, 1998). Segundo Hanson & Hitz (1982), o crescimento está ligado à síntese de novos constituintes celulares. Contudo, a deficiência hídrica, altera o transporte e os processos bioquímicos, com consequências sobre o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Buchanan-Wollaston (1997) e Gan & Amasino (1997), a senescência foliar é abreviada em resposta a fatores ambientais. Nessa fase, a degradação de proteínas é o processo de desdobramento mais significativo, pois a remobilização de aminoácidos é necessária para o desenvolvimento em outras partes da planta (Buchanan-Wollaston, 1997).

A desidratação causa mudanças no particionamento e forma sacarose, em um grande número de espécies (Chaves, 1991). Contudo, a deficiência hídrica também causa reduções nos teores de açúcares (Premachandra, 1991; Marur et al. 1996).

A clorofila está ligada à eficiência fotossintética e, conseqüentemente, ao crescimento da planta. O déficit hídrico tem efeito sobre a degradação do cloroplasto, causando decréscimos no conteúdo de clorofila (Conceição et al. 1985).

A nutrição mineral tem importância fundamental na resposta do vegetal à deficiência hídrica. O fósforo, dentre outras funções, está envolvido na fotossíntese, em que os primeiros açúcares formados são as trioses e hexoses fosfatos; na regulação de proteínas, pelos processos de fosforilação e desfosforilação; e no movimento de água e nutrientes no xilema (Blevins, 1999). O potássio, por sua vez, está envolvido no movimento estomático e junto com os açúcares solúveis totais e aminoácidos são os maiores contribuintes no mecanismo de ajustamento osmótico (Premachandra et al. 1991).

As avaliações do comportamento bioquímico da planta são de fundamental importância no entendimento das variáveis fisiológicas. Este trabalho teve o objetivo de estudar o comportamento de algumas variáveis bioquímicas de plantas de pimenta longa, durante seu ciclo de desenvolvimento, diante das variações sazonais.

3.2 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 - Condições de cultivo e material vegetal

O experimento foi conduzido em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, em pequena propriedade rural no Município de Igarapé-Açu, no nordeste do Estado do Pará, (1°16'758" S, 47°35'575" W). O solo predominante é o Latossolo Amarelo textura arenosa. O clima, segundo a classificação de Köppen (Embrapa, 1986), é Am, e apresenta, baseado em dados da estação climatológica Marcelino, da Embrapa Amazônia Oriental, relativo período seco, que se estende de setembro a novembro. A precipitação média anual é de 2.500 mm, com a temperatura média em torno de 26 °C e a umidade relativa do ar de 84%.

As plantas foram provenientes de sementes selecionadas, com base no teor de safrol, pela Embrapa Acre. Depois de germinadas, as plântulas foram repicadas para copos de plástico com capacidade para 200 mL, contendo terra vegetal, serragem e esterco de gado curtido, na proporção volumétrica de 2:2:1, e enviveiradas por um período de 3 meses. Após este período, as plantas foram selecionadas e plantadas no campo no espaçamento de 1 m x 1 m.

Por ocasião do plantio, efetuou-se a adubação orgânica na base de 1 litro de raspa de mandioca curtida e 200 mL de torta de mamona comercial/cova nos tratamentos com adubação, assim como a aplicação de 7g de superfosfato triplo. Após o plantio, efetuou-se a cobertura do solo com raspa de mandioca curtida em todos os tratamentos. Durante o período experimental, realizaram-se as adubações químicas de manutenção, em todos os tratamentos, na base de 3g de uréia e 2g de cloreto de potássio parceladas em três aplicações.

A suplementação da irrigação foi efetuada de forma empírica, a partir do mês de outubro/98, na base de 1,5 L de água/planta/dia, realizada sempre que não houve precipitação pluviométrica por 2 dias consecutivos. No sistema de irrigação utilizou-se fonte de água natural, captada por bomba tipo sapo (Ananzer 800), e armazenada em caixa d'água de 1.000 L e, a partir da qual, por gravidade, e através de mangueiras de polietileno, com pequenas perfurações, situados em fileiras alternadas e espaçados a cada 2 m, possibilitava a irrigação localizada próxima à região das raízes.

3.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental

A área experimental constou de duas áreas de 40 m x 40 m, distantes aproximadamente de 20 m, sendo uma irrigada e outra não-irrigada. Cada área foi constituída de dois grupos de plantas, onde um grupo foi plantado com matéria orgânica e o outro sem matéria orgânica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram os seguintes: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado.

Os dados foram analisados, seguindo os procedimentos da análise de variância, de acordo com o delineamento utilizado. As diferenças entre os tratamentos foram verificadas pelo teste de Tukey, em nível de erro de 0,05, utilizando-se o SAS (Software estatístico).

3.2.3 - Variáveis de respostas

As respostas bioquímicas às condições de cultivo impostas pelos tratamentos foram avaliadas a cada 2 meses, durante o período experimental. As avaliações levaram em consideração vários parâmetros.

3.2.3.1 - Determinação das concentrações de clorofila

Para a determinação da concentração de clorofila, extraíram-se cinco discos com um centímetro de diâmetro, de folhas de plantas selecionadas de modo que representasse a lâmina foliar. Após a coleta, os discos foram acondicionados em papel laminado, mantidos em caixa de isopor com gelo e levados imediatamente para análise em laboratório. A determinação foi feita segundo a metodologia proposta por Arnon (1949).

Os discos foram colocados em um almofariz, onde foi adicionado 2,0 mL de acetona 80% e com o auxílio do pistilo procedeu-se a maceração até a formação de um extrato homogêneo. Acrescentou-se mais 3,0 mL de acetona para lavagem do pistilo e parede do almofariz e o extrato foi vertido para um tubo de centrifuga. Realizou-se outra lavagem do almofariz com 5,0 mL de acetona 80% e o resíduo foi novamente vertido para o tubo de centrifuga, com volume final de 10 mL.

O extrato foi centrifugado durante 15 minutos à rotação de 3.000 rpm. Após a centrifugação, o sobrenadante foi vertido para um tubo de ensaio e foi envolto com papel laminado. A leitura das amostras foi realizada em um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 663 nm e 646 nm, com o cuidado de zerar o aparelho com acetona 80%, a cada mudança de comprimento de onda.

As concentrações das clorofila a, b, e total expressas em (mg/cm^{-2}) e a relação a/b foram obtidas através dos seguintes cálculos:

- a) $Ca \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 12,7 \times A663 - 2,69 \times A645$
- b) $Cb \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 22,9 \times A645 - 4,68 \times A663$
- c) $C \text{ Total (mg.L}^{-1}\text{)} = 8,09 \times A663 + 20,2 \times A645$
- d) $\text{Relação } a/b = Ca/Cb$

Os resultados obtidos nas equações a, b e c foram multiplicados por:

$$\frac{V}{1000 \times A}$$

Onde:

V = volume final do extrato em mL.

A = Área dos discos em cm^2 .

3.2.3.2 - Determinação dos teores de açúcares solúveis totais

Para as dosagens das concentrações de açúcares solúveis totais, utilizaram-se as amostras de folhas e raízes de plantas utilizadas para determinações biométricas que, depois de secadas em estufa a 65 °C até peso constante, foram moídas e analisadas.

Para a extração de açúcares solúveis totais, pesou-se 0,1g de matéria seca moída e colocada em tubo de ensaio, onde foi adicionado 8,0 mL de etanol a 70%. A solução foi homogeneizada e levada ao banho-maria por 20 minutos e na extremidade do tubo foram colocadas bolas de gude. Em seguida, procedeu-se a centrifugação a 2.000 rpm por 15 minutos. Finalmente, verteu-se o sobrenadante para um becker devidamente identificado, concluindo-se a primeira extração.

Após a primeira extração, adicionou-se ao resíduo mais 8,0 mL de etanol a 70%, e repetiu-se toda a primeira operação. A solução após o processo de centrifugação foi vertida para o becker identificado, finalizando a segunda extração. Após esta fase, adicionou-se ao resíduo 4 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada e centrifugada da mesma forma da primeira extração, e o sobrenadante vertido para o becker, com o restante das soluções anteriores, completando a terceira extração.

A solução resultante do processo de extração foi evaporada em banho-maria a 80 °C. Após a evaporação total, adicionou-se ao resíduo 5 mL de água destilada para ressuspender o resíduo. Após esta etapa, colocaram-se 2,5 mL de hidróxido de bário 0,3 N e homogeneizou-se a solução, que foi mantida em repouso por 15 minutos. Após esse período, adicionaram-se 2,5 mL de sulfato de zinco 5% e homogeneizou-se novamente. A solução ficou em repouso por 15 minutos e foi centrifugada a 2.000 rpm por mais 15 minutos. O sobrenadante foi vertido para o frasco definitivo e acondicionado em frizer até a dosagem.

Os açúcares solúveis totais foram determinadas de acordo com o método colorimétrico, adaptado de Yemm & Willis (1954).

Da solução resultante da extração, retirou-se uma alíquota de 0,1 mL para um tubo de ensaio e completou-se o volume com água destilada para 1,0 mL. Depois de homogeneizados, os tubos foram mantidos em banho gelado e a eles foram adicionados 2,0 mL do reagente de antrona a 0,2%, em ácido sulfúrico concentrado. Na fase seguinte, o material foi novamente homogeneizado e levado ao banho-maria a 80 °C por 20 minutos. Depois de retirado e resfriado por 15 minutos em temperatura ambiente, realizou-se a leitura das amostras em espectrofotômetro (CELM, modelo E-205-D) a 620 nm.

Fez-se o padrão, a partir de uma solução de glicose (100 µg/mL -p/v), da qual foi construída uma curva para obtenção da equação com pontos de 10; 20; 40; 60; e 80 µg/mL. Os resultados foram expressos em g.kg⁻¹MS.

3.2.3.3 - Determinação de macroelementos e proteínas totais

As amostras para as dosagens de macroelementos e proteínas foram preparadas seguindo-se o mesmo padrão de açúcares solúveis totais.

Para a digestão das amostras para a determinação de macroelementos e proteínas totais, pesou-se 0,1g de matéria seca moída, colocou-se em tubo digestor e adicionaram-se 1,5 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitou-se e deixou-se em repouso por 15. O tubo com o material foi transferido para um bloco digestor, onde a temperatura foi gradativamente elevada até o máximo de 300 °C durante 90 minutos. Após esta fase, a mistura foi resfriada e a ela adicionou-se 1,0 mL de H₂O₂, em seguida, o tubo foi novamente para o bloco digestor para evaporação da água presente na solução. Esta fase foi repetida até que se obteve uma solução límpida, o que caracterizou a digestão total da matéria orgânica.

Na fase seguinte, para as dosagens de fósforo e potássio, o material digerido foi diluído até o volume de 50 mL. Desse volume, transferiram-se 20 mL para um frasco devidamente identificado, que foi conservado em freezer até a dosagem.

Os teores de fósforo foram determinadas pelo método colorimétrico, adaptado de Chen Jr. et al. (1956).

Para as dosagens dos teores de fósforo, colocou-se 0,2 mL de alíquota do digerido em um tubo de ensaio, adicionou-se ácido sulfúrico a 3% até completar volume final de 1,0 mL e agitou-se o material. Em seguida, adicionaram-se 4,0 mL de solução reagente (ácido sulfúrico 6 N; ácido ascórbico a 10% em água destilada (p/v) e molibdato de amônio a 2,5%, em água destilada (p/v). A solução final foi homogeneizada e levada ao banho-maria a 37 °C por 120 minutos. Depois de resfriadas em ambiente natural, f realizaram-se as leituras das amostras em espectrofotômetro em absorbância de 820 nm.

A curva padrão para obtenção da fórmula para calcular os teores de fósforo foi preparada a partir de solução de KH_2PO_4 em ácido sulfúrico a 3%, com solução final de $2,0\mu\text{g}.\text{mL}^{-1}$. Os pontos da curva para obtenção da equação foram 0,1; 0,2; 0,4 e $0,6\mu\text{g}.\text{mL}^{-1}$,

Os teores de potássio foram determinados através do método de fotometria de chama, adaptado de Salinas & Garcia (1985).

As dosagens percentuais dos teores de potássio foram realizadas a partir de leituras diretas das amostras digeridas e diluídas

O padrão foi feito a partir da solução preparada com 1,91g KCl desidratado, diluída em 100 mL de H_2O destilada. A curva para obtenção da equação apresentou pontos de 0; 5; 10; 15; 20; e 25 ppm. Os resultados foram expressos em $\text{g}.\text{kg}^{-1}\text{MS}$.

As dosagens dos teores de proteínas foram determinadas, a partir dos valores de nitrogênio total. O método foi adaptado de Sarruge & Haag (1974).

Após a digestão, as amostras foram levadas ao destilador micro-kjeldahl e adicionaram-se 10 mL de hidróxido de sódio a 70% para neutralizar a amostra. O material destilado foi recolhido para um erlenmeyer, ao qual anteriormente foram adicionados 10mL de ácido bórico a 4% e três gotas de um indicador misto de vermelho de metila e verde de bromocresol.

Destilaram-se aproximadamente 50mL da amostra, que foi titulada com ácido sulfúrico a 0,025 N até que a cor vermelha do indicador foi restabelecida. Anotou-se o volume gasto na titulação. Os resultados foram expressos em $\text{g}.\text{kg}^{-1}\text{MS}$.

Cálculo para determinação das proteínas totais: $\text{PB \%} = (\text{Vg} \cdot \text{F} \cdot 0,035/\text{Pa}) \cdot 6,25$

Onde:

Vg - volume de ácido sulfúrico gasto na titulação;

F - fator do ácido;

0,035 - fator constante para transformação em percentagem de nitrogênio;

Pa - peso da amostra;

6,25 - constante de transformação para proteína bruta.

3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 - Conteúdo de clorofila

As variações no conteúdo das clorofilas a e b, durante o desenvolvimento da planta em condições de campo estão representadas na Figura 9. De modo geral, não se verificaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, apesar dos conteúdos das clorofilas a e b serem sempre menores nos tratamentos sem irrigação e com adubação. Esse comportamento pode ser explicado pela redução da absorção de nitrogênio, em função da menor disponibilidade hídrica (Rudorff et al. 1997). Entretanto, Heitholt et al. (1991) verificaram que o conteúdo de clorofila foi maior em folhas de plantas de trigo, cultivadas com alta concentração de nitrogênio, sob déficit hídrico, que em plantas com alta concentração de nitrogênio e irrigadas.

Com relação a idade das plantas, observou-se que o conteúdo de clorofila a, demonstrado na Figura 9A, decresceu bruscamente aos 5 meses e 7 meses, após o plantio, independente do tratamento aplicado. Esse comportamento deve estar relacionado com as reduções do teor de água no solo, nos períodos de deficiência hídrica que antecederam as coletas das folhas, nas quais foram verificadas ainda, aumentos na resistência estomática (Cap.2 - Figura 7) e conseqüente redução na fotossíntese líquida (Cap.2 - Figura 8B). Contudo, as reduções verificadas na fotossíntese parecem estar mais relacionadas ao fechamento estomático que aos decréscimos no teor de clorofila, pois a fotossíntese sofreu efeito em diferentes intensidades nos tratamentos com e sem suplementação hídrica, mas os teores de clorofila foram similares. Esse aspecto é abordado por Gabrielsen (1948), que cita que a fotossíntese líquida só é afetada por uma redução no teor de clorofila, se esta redução estiver abaixo do teor ótimo para a realização do processo.

Na cultura do cupuaçuzeiro, Rocha Neto et al. (1997), comparando o teor de clorofila em plantas de sol e de sombra, relatam que as variações na concentração de clorofila a, em cultivos a pleno sol, tenham sido decorrentes da baixa fertilidade do solo, aliado ao período de baixa pluviosidade observado. Por outro lado, de acordo com Kramer & Kozłowski (1979), citados por Engel & Poggiani (1991), sob intensidades de luz elevada, a velocidade de degradação é maior que a velocidade de síntese. Portanto, este fator pode ter sido também responsável pela redução nos conteúdos de clorofila.

Nesse sentido, Gan & Amasino (1997) relatam que a senescência foliar pode ser iniciada por fatores intrínsecos, como idade da planta, desenvolvimento reprodutivo e concentrações de fitormônios. Contudo, os fatores ambientais, como a deficiência de nutrientes e a falta de água, podem acelerar este processo natural. Como conseqüência da senescência foliar, ocorre a degradação do cloroplasto, com conseqüente perda de clorofila (Buchanan-Wollaston, 1997).

A clorofila b (Figura 9B) apresentou comportamento semelhante, reduzindo a concentração nos períodos que antecederam os meses mais secos, contudo o decréscimo foi mais gradual. Observou-se também que para essa fração de clorofila não ocorreu a recuperação verificada para a clorofila a, no último período. Sobre esse acontecimento, a literatura aborda mudanças que ocorrem em nível bioquímico, decorrentes de fatores ambientais, como a conversão de clorofila desencadeada por alterações na intensidade e qualidade da luz (Ohtsuka et al. 1997). Contudo, em condições de campo, devido ao dinamismo dos fenômenos e ao controle dos eventos, certas ocorrências são difíceis de serem explicadas.

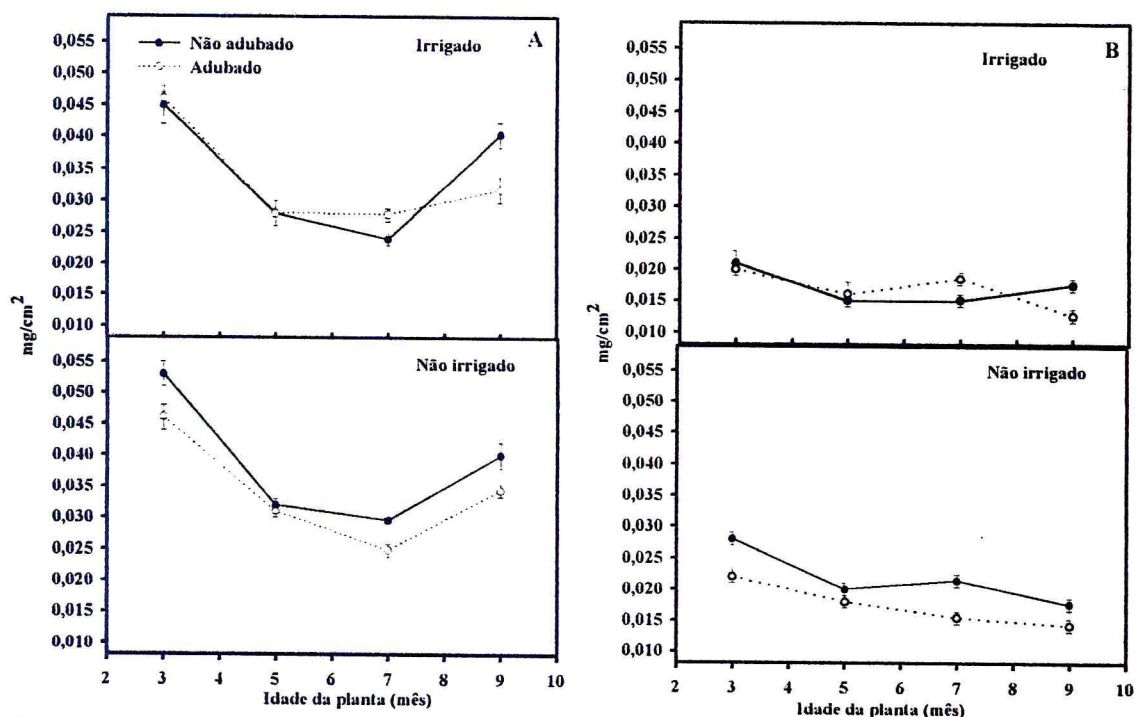


Figura 9 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do conteúdo de clorofila a (A) e de clorofila b (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

Na Figura 10, representa-se o comportamento da clorofila total e da relação a/b. Na Figura 10A, que mostra a variação da clorofila total, a queda acentuada nos meses mais secos foi influenciada pela redução no conteúdo de clorofila a, que apresentou maior variação nesse período. Em híbridos de seringueira, Conceição et al. (1985) verificaram que o aumento do estresse hídrico favoreceu a redução gradual no conteúdo de clorofila total, com redução de 50% do conteúdo normal. Analisando ainda as variações no conteúdo de clorofila total, ficou mais evidente a redução nas concentrações de clorofila no tratamento sem irrigação e com adubação.

A relação clorofila a/b (Figura 10B) também foi afetada pela deficiência hídrica, pois os menores valores dessa relação, que girou em torno de 1,5, foram verificados nos períodos anteceditos por estresses.

Analisando essas respostas, ficou claro que a clorofila a foi mais afetada pelo déficit hídrico que a clorofila b, pois proporcionalmente as reduções foram maiores para a clorofila a. Contudo, em plantas de milho sob condições controladas, verificaram-se aumentos na relação clorofila a/b (Alberte & Thornber, 1997). Esses autores, atribuíram essas respostas à danos causados ao sistema clorofila a/b-proteína, aparato coletor de luz e, local com maior concentração de clorofila b na membrana.

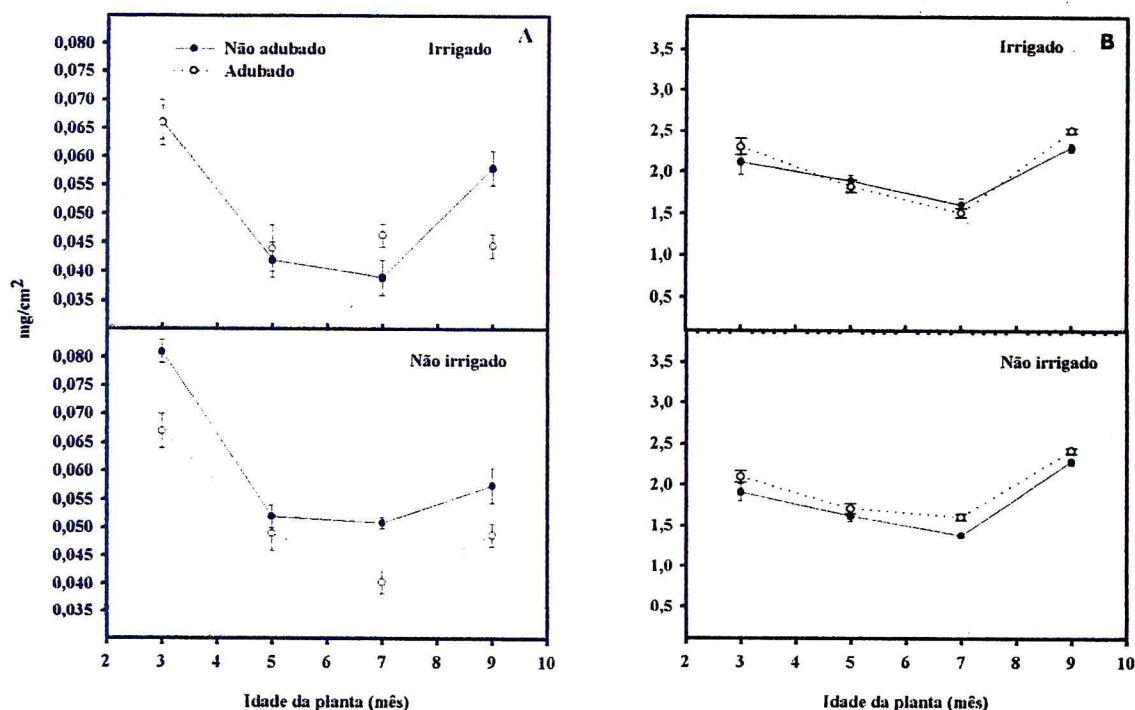


Figura 10 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do conteúdo de clorofila total (A) e relação clorofila a/b (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

3.3.2 - Teores de açúcares solúveis totais e proteínas

Na Figura 11, representam-se os teores de açúcares solúveis totais em folhas e raízes de pimenta longa, submetidas às variações climáticas do período, durante o desenvolvimento da planta. Observou-se que o conteúdo de açúcares solúveis totais apresentou pouca variação entre os diferentes tratamentos, apesar das diferenças significativas verificadas até o quinto mês, mas o comportamento foi bastante irregular, quanto a idade das plantas diante da sazonalidade climática.

Nos primeiros meses após o plantio, que coincidiu com períodos de precipitações pluviométricas elevadas, o conteúdo de açúcares solúveis totais foi alto, tanto nas folhas quanto nas raízes das plantas.

Entretanto, no quinto mês após o plantio, fase precedida de estresse hídrico acentuado, verificou-se um substancial decréscimo nos teores de açúcares solúveis totais, nas folhas (Figura 11A).

Decréscimos nas concentrações de açúcares de plantas, sob deficiência hídrica, foram observados também por Premachanda et al. (1991) na cultura do milho e, por Marur et al. (1996) na cultura do algodão, em que os teores de açúcares solúveis totais foram reduzidos em 55%. Por outro lado, Pimentel (1999) observou um aumento gradativo no teor de carboidratos solúveis no milho, enquanto Guimarães et al (1996a) verificaram redução na translocação de carboidratos, na cultura do feijoeiro, com conseqüente acúmulo no local de síntese. Sobre esse aspecto, Chaves (1991) aborda que a manutenção ou aumento dos teores de açúcares, que ocorre em folhas desidratadas de um grande número de espécies, parece ser conseqüência da regulação que se estabelece entre síntese e translocação de sacarose.

No sétimo mês, após o plantio, período também precedido de estresse, os teores de açúcares ficaram próximos dos observados nos primeiros meses. Vale ressaltar que o potencial hídrico foliar, nesses períodos, foi bastante elevado (Cap.2 - Figura 5) e compatível com as elevadas taxas de fotossíntese líquida (Cap.2 - Figura 8B). Deste modo, supõe-se que esse comportamento pode ter sido em função das diferentes intensidades de estresse que precederam as coletas das folhas, com diferentes reflexos sobre o ajustamento osmótico das plantas (Hanson & Hitz, 1982).

O decréscimo no conteúdo de açúcares observado no nono mês, período com suprimento normal de água, proporcionado pela precipitação pluviométrica, relaciona-se com o acúmulo de matéria seca em diferentes intensidades, dependendo do tratamento, na haste principal. Este comportamento indica uma possível translocação de carboidratos para o desenvolvimento e armazenamento nesta parte da planta, podendo estar relacionado com o ciclo biológico da planta, pois nesse período, verificou-se perda de folhas nas plantas dos tratamentos irrigados, o que é uma característica desta espécie, quando a planta atinge o desenvolvimento vegetativo máximo.

Nesse sentido, segundo Chaves (1991), nas folhas completamente expandidas, o carbono é utilizado pela própria folha e por outras partes da planta, enquanto, em folhas maduras, a maior parte dos assimilados são direcionados para o restante da planta. Esse autor cita ainda que os processos que regulam a folha determinam a quantidade de assimilados para o armazenamento, manutenção e distribuição. Por outro lado, Pimentel (1999) supôs que o aumento de açúcares solúveis totais em plantas de milho sem deficiência hídrica foi devido à aproximação da fase reprodutiva da planta, fase esta demandante de reservas.

Nas raízes (Figura 11B), no quinto mês, após o plantio, os teores de açúcares solúveis totais foram maiores nos tratamentos com suplementação hídrica e nos não-adubados. A partir daí, ocorreu uma brusca redução nos tratamentos irrigados e uma redução gradual nos tratamentos sem irrigação.

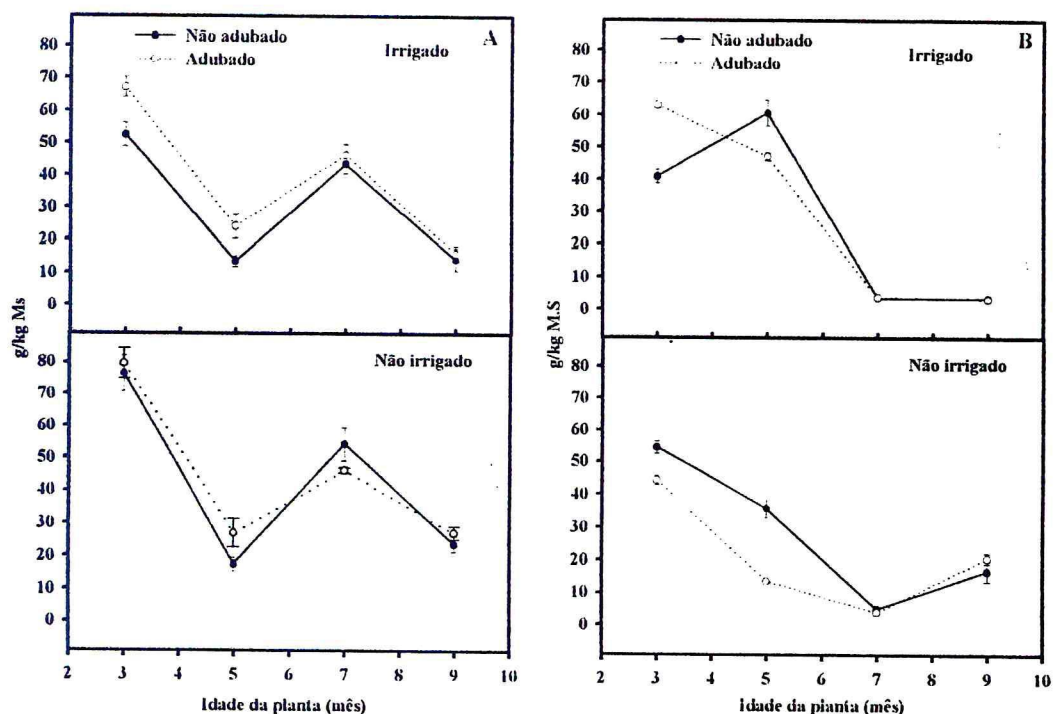


Figura 11 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de açúcares solúveis totais da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

Os teores de proteínas totais nas folhas e raízes de pimenta longa, submetidas às variações sazonais estão expressos na Figura 12. Com base na análise dos dados, verificou-se que, de modo geral, não foram encontradas diferenças significativas quanto aos fatores irrigação ou adubação, sendo algumas diferenças relacionadas a interação desses fatores. Nas folhas de plantas irrigadas (Figura 12A), assim como nas raízes (Figura 12B), verificaram-se reduções nos teores de proteínas nas coletas precedidas de épocas secas. Essas reduções devem estar relacionadas com o maior desenvolvimento das plantas nestes tratamentos, uma vez que as reduções nas plantas adubadas foram maiores. Nesse sentido, Buchanan-Wollaston (1997) enfoca que em folhas maduras as alterações no conteúdo de proteínas ocorrem em níveis muito baixo, até que as condições internas ou externas inicie o processo de senescência. De acordo com Magalhães (1979), a restrição na absorção de água diminui a turgescência celular e causa paralisação do crescimento e da síntese protéica. Nas folhas, local de síntese, os teores de proteínas totais foram muito superiores aos observados nas raízes.

Nas plantas submetidas à deficiência hídrica, os conteúdos de proteínas permaneceram praticamente inalterados durante todo o período observado. A manutenção de teores elevados nos períodos precedidos de épocas secas pode ser devido à degradação de clorofilas que foi observado nessa mesma época. Nesse sentido, estudos de Gan & Amasino (1997) abordam que a quebra da molécula do

cloroplasto, provavelmente, seja a mais rápida e mais significativa mudança na estrutura de uma célula senescente. Esses mesmos autores ressaltam que essa organela possui mais de 70% da proteína da folha e que o produto de seu catabolismo, metabolicamente, é o responsável pela reposição de parte dos assimilados.

Por outro lado, o desdobramento de proteínas, com conseqüente liberação de aminoácidos solúveis, pode ser outro fator responsável pela manutenção dos teores elevados, pois segundo Buchanan-Wollaston (1997), durante a senescência foliar, a degradação de proteínas, com conseqüente remobilização de seus componentes, possivelmente, seja o mais significativo processo de desdobramento que ocorre na célula.

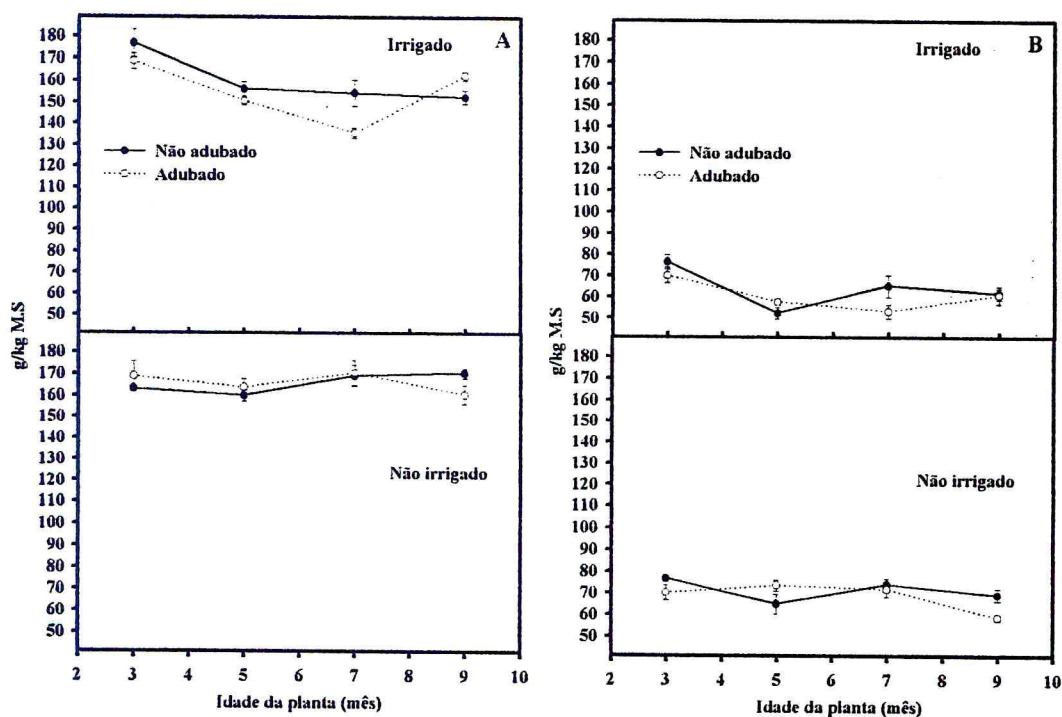


Figura 12 - Valores médios (± erro padrão) dos teores de proteína da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

3.3.3 - Teores de fósforo e potássio

Os teores de fósforo nas folhas e raízes, representados nas Figuras 13A e 13B, respectivamente, tiveram comportamento semelhante, sem grandes variações entre os tratamentos nas épocas verificadas, apresentando os conteúdos nas raízes um pouco menores que nas folhas. A manutenção dos teores de fósforos nas células de plantas, sob deficiência hídrica foram observados na cultura do milho por Premachandra et al. (1991).

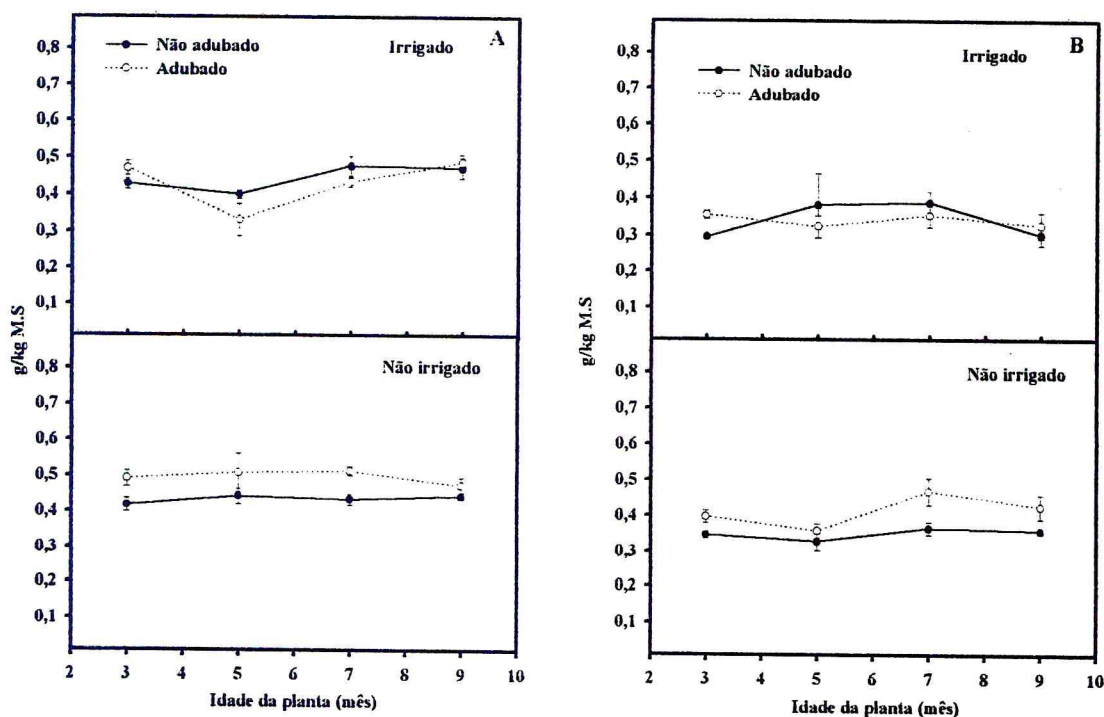


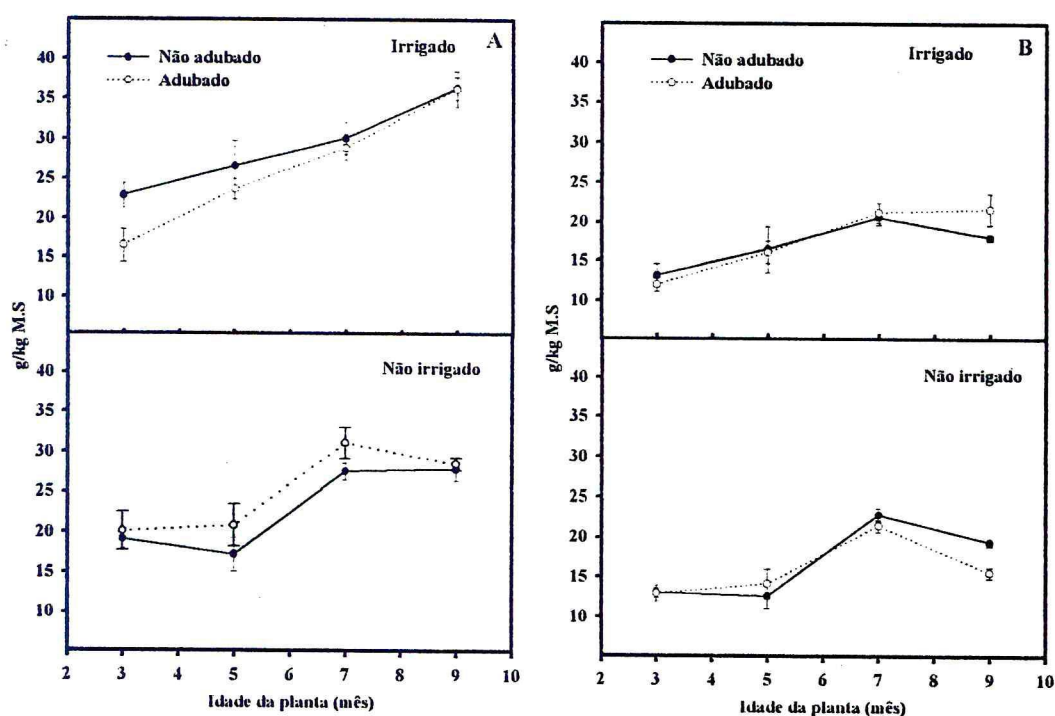
Figura 13 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) dos teores de fósforo da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

Quanto ao acúmulo de potássio, observou-se que, de modo geral, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, nas plantas irrigadas ocorreu um aumento gradativo dos teores deste íon, tanto nas folhas (Figura 14A) quanto nas raízes (Figura 14B) com pequenas variações na fase inicial do desenvolvimento com relação ao tratamento adubado.

Nas plantas cultivadas sem suplementação hídrica, o padrão de comportamento foi semelhante nas folhas e raízes nos diferentes tratamentos. Contudo, os períodos de deficiência hídrica afetaram as concentrações de potássio, pois foram verificadas variações relacionadas a sazonalidade das observações. Em plantas de milho, cultivadas sob deficiência hídrica, não foram verificadas variações quanto aos teores do íon potássio (Pimentel, 1999).

As reduções dos teores de potássio que ocorreram no quinto mês, após o plantio, período precedido de déficit hídrico, relacionam-se com aumentos da resistência estomática (Cap.2 - Figura 7), favorecidos por reduções do potencial hídrico das plantas (Cap.2 - Figura 5), com conseqüente efeito na absorção e translocação deste íon. Neste sentido, Premachandra et al. (1991) observaram diminuição da resistência estomática em plantas de milho, em resposta à adubação com potássio que, por sua vez, aumentou a estabilidade da membrana celular e favoreceu o ajustamento osmótico. Ainda sobre esse aspecto, Maathuis et al. (1997) enfatizam que o potássio é o elemento que mais contribui para a pressão osmótica intracelular.

As reduções que ocorreram nas raízes no nono mês de cultivo, possivelmente, indicam um movimento de potássio em direção as folhas, favorecido pela restauração do potencial de água da planta, em decorrência do restabelecimento da precipitação pluviométrica observada no período.



3.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTE, R.S.; THORNER, J.P. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. *Plant Physiology*, v. 59, p. 351-353, 1977.
- ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v. 24, p. 1-15, 1949.
- BLEVINS, D.G. *Por que as plantas precisam de fósforo*. *Beter Crops*, Norcross, v. 83, n. 2, p. 29, 1999. in: *Informações Agronômicas*, v. 87, n. 2, 1999.
- BUCHANAN-WOLLASTON, V. The molecular biology of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 307, p. 181-199, 1997.
- CELLIER, F.; CONÉJÉRO, G.; BREITLER, J. C.; CASSE, F. Molecular and physiological responses to water deficit in drought-sensitive lines of sunflower. Accumulation of dehydrin transcripts correlates with tolerance. *Plant Physiology*, v. 116, p. 319-328, 1998.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.
- CHEN Jr., P.S., TORIBARA, T.Y.; WARNER, H. Micro determination of phosphorus. *Analytical Chemistry*, v. 28, p. 1756-1758, 1956.
- CONCEIÇÃO, H.E.O.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F.; ROCHA NETO, O.G. Resistência à seca em seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, n. 9, p. 1041-1050, 1985.
- EMBRAPA-CPATU. *Pesquisa sobre utilização e conservação do solo*. Relatório final do convênio Embrapa-CPATU/GTZ. Belém: Embrapa-CPATU, 1986. 291p. (Embrapa-CPATU, Documento, 40).
- ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.
- GABRIELSEN, E.K. Effects of different chlorophyll concentrations on photosynthesis in foliage leaves. *Physiologia Plantarum*, v.1, p. 5-37, 1948.
- GAN, S.; AMASINO, R. M. Making sense of senescence. Molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiology*, v. 113, p. 313-319, 1997.
- GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F. & BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agronômicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996a.
- HANSON, A.D.; HITZ, W. D. Metabolic responses of mesophytes plants to water deficits. *Annual review of plant physiology*, v. 33, p. 163-203, 1982.

- HEITHOLT, J.J.; JOHNSON, R.C.; FERRIS, D.M. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen e drought stressed wheat. *Crop Science*, v. 31, p. 135-139, 1991.
- MAATHUIS, F.J.M.; ICHIDA, A.M.; SANDERS, D.; SCHROEDER. Roles of higher plant K⁺ channels. *Plant Physiology*, v. 114, p. 1141-1149, 1997.
- MAGALHÃES, A.C.N. *Fotossíntese*. In: *Fisiologia Vegetal*. FERRI, M. G. Editora Pedagógica Universitária. São Paulo. pp. 117-180, 1979.
- MARUR, C.J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A.C. Carbon assimilation and export in leaves of cotton plants under water deficit. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 8, n. 3, p. 181-186, 1996.
- OHTSUKA, T., ITO, H.; TANAKA, A. Conversion of chlorophyll b to chlorophyll a and the assembly of chlorophyll with apoproteins by isolated chloroplast. *Plant Physiology*, v. 113, p. 137-147, 1997.
- PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: EDUR, 1998. 159p.
- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999.
- PREMACHANDRA, G.S.; SANEOKA, H.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, p. 239, p. 739-745, 1991.
- ROCHA NETO, O.G.; FIGUEIREDO, F.J.C.; SOUZA, N.G. Comportamento estomático e fotossintético de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.) In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1, 1996, Belém, Pa, Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997, p. 89-102.
- RUDORFF, B.F.T.; MOREIRA, M.A.; OVIEDO, A.; FREITAS, J.G. *Efeito do nitrogênio e do déficit hídrico na resposta espectral de cultivares de trigo*. In Memorias del VIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, 2-7 Nov., Mérida, Venezuela. CD-ROM, 1997.
- SALINAS, J.G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y forrajera*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. 83p.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*, Departamento de Química, E.S.A. Luiz de Queiroz. USP, Piracicaba, SP, 1974, 170p.
- SOUZA, G.M.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. Water deficit in relation to leaf and stem anatomy of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Shoots cultivated in vitro. *Scientia Agrícola*, v. 56, n. 3, 1999.
- YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone. *Biochemical Journal*. v. 57, p. 508-514, 1954.

CAPÍTULO 4 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DE ÓLEO ESSENCIAL DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ AÇU, PA

RESUMO

As produções de matéria seca de diferentes órgãos da planta e a alocação de biomassa foram determinadas em plantas de pimenta longa em cultivos com e sem suplementação hídrica, no período de maio/98 a março/99, em condições de campo, no Município de Igarapé-Açu, PA. O objetivo das avaliações foi determinar a influência do tipo de manejo na produção de biomassa e de óleo essencial de pimenta longa. Os tratamentos testados foram: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. A deficiência hídrica afetou a matéria seca de todas as partes da planta e também reduziu o estande, em aproximadamente 30%. A produção de biomassa e de óleo essencial reduziram em 50%, comparadas com os tratamentos irrigados, até o sétimo mês após o plantio, quando se verificaram mudanças no padrão de alocação de biomassa nos tratamentos irrigados, que deslocaram assimilados para a haste principal da planta. No nono mês, com o restabelecimento da precipitação pluviométrica, observou-se recuperação de crescimento das plantas sem suplementação hídrica. Desse modo, constatou-se que a ocorrência de deficiência hídrica, em qualquer fase do desenvolvimento da planta, afeta a produção de óleo essencial.

CHAPTER 4 - PRODUCTION OF BIOMASS AND OF ESSENTIAL OIL OF PLANTS OF PIMENTA LONGA (*Piper hispidinervum* C.DC.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF CULTIVATION IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF IGARAPÉ-AÇU, PA

ABSTRACT

Biomass production and allocation, and essential oil production were determined in plants of pimenta longa cultivated with and without irrigation, between May/98 and March/99, in field conditions, in the Municipal district of Igarapé-Açu, PA. The objective was to determine the influence of management in the biomass and essential oil production of pimenta longa. The treatments were: T1 - irrigated and non-fertilized; T2 - irrigated and fertilized; T3 - non-irrigated and non-fertilized; T4 - non-irrigated and fertilized. Water deficiency affected dry mass production of all plant parts, and it also reduced the number of plants in approximately 30%. Biomass and essential oil productions were reduced by 50%, compared to the irrigated treatments, until the 7th month after planting, when changes in the biomass allocation pattern were noticed in the irrigated treatments. In the 9th month, with the re-establishment of the rainfall, recovery of plant growth was observed in the non-irrigated treatment. Thus, water deficiency in any phase of the plant development, affects the production of essential oil.

4.1 - INTRODUÇÃO

A sensibilidade das plantas ao estresse hídrico, aliada às irregularidades na distribuição da precipitação pluviométrica, oferece riscos muitas vezes irreparáveis para a produtividade, em regiões com períodos de déficits hídricos significativos. A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos do crescimento das plantas, afetando a expansão celular, reduzindo a fotossíntese líquida e, como consequência, o acúmulo de matéria seca.

Em variedades de caupi, a deficiência hídrica causou redução na área foliar, na matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, assim como nos componentes de produção e, como consequência, afetou a produção (Costa et al. 1997). Na cultura do amendoim, Araújo & Ferreira (1997) observaram reduções semelhantes, nas quais o período vegetativo caracterizado pela expansão foliar foi o mais afetado.

Dependendo da cultura, a planta apresenta um estágio do desenvolvimento mais sensível à redução da produção. No trigo, a deficiência hídrica, em vários estágios do desenvolvimento, afetou a produtividade e o crescimento (Gusta & Chen, 1987). Ainda nesta cultura, Rodrigues et al. (1998) observaram que a área foliar foi afetada pelo estresse hídrico independente do estágio do desenvolvimento. Na fase vegetativa, o estresse afetou a produtividade do feijoeiro (Guimarães et al. 1996a), enquanto na fase reprodutiva, o enchimento de grãos foi prejudicado na cultura da soja (Salinas et al. 1996).

O transporte de fotoassimilados no sistema fonte-dreno também é influenciado pela deficiência hídrica. No feijoeiro, o estresse hídrico reduziu a translocação de carboidratos e provocou o acúmulo nos locais de síntese (Guimarães et al. 1996a).

As avaliações do comportamento produtivo em condições de campo são de fundamental importância para o direcionamento de técnicas de manejo, visando amenizar os impactos de condições ambientais adversas. Este trabalho estudou as respostas de diferentes formas de manejo sobre a produção da pimenta longa diante da sazonalidade climática.

4.2 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 - Condições de cultivo e material vegetal

Conduziu-se o experimento em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, em pequena propriedade rural no Município de Igarapé-Açu, no nordeste do Estado do Pará, (1°16'758" S, 47°35'575" W). O solo predominante é o Latossolo Amarelo textura arenosa. O clima, segundo a classificação de Köppen (Embrapa, 1986), é Am, e apresenta, baseado em dados da estação climatológica Marcelino da Embrapa Amazônia Oriental, relativo período seco, que se estende de setembro a novembro. A precipitação média anual é de 2.500 mm, com a temperatura média em torno de 26 °C e a umidade relativa do ar de 84%.

As plantas foram provenientes de sementes selecionadas, com base no teor de safrol, pela Embrapa Acre. Depois de germinadas, as plântulas foram repicadas para copos de plástico com capacidade para 200 mL, contendo terra vegetal, serragem e esterco de gado curtido, na proporção volumétrica de 2:2:1, e enviveiradas por um período de 3 meses. Após este período, as plantas foram selecionadas e plantadas no campo no espaçamento de 1m x 1m.

Por ocasião do plantio, efetuou-se a adubação orgânica na base de 1 litro de raspa de mandioca curtida e 200 ml de torta de mamona comercial/cova nos tratamentos com adubação, assim como a aplicação de 7g de superfosfato triplo. Após o plantio, efetuou-se a cobertura do solo com raspa de mandioca curtida em todos os tratamentos. Durante o período experimental, realizaram-se as adubações químicas de manutenção, em todos os tratamentos, na base de 3g uréia e 2g de cloreto de potássio parceladas em três aplicações.

A suplementação da irrigação foi efetuada de forma empírica, a partir do mês de outubro/98, na base de 1,5 L de água/planta/dia, realizada sempre que não houve precipitação pluviométrica por 2 dias consecutivos. No sistema de irrigação utilizou-se fonte de água natural, captada por bomba tipo sapo (Ananzer 800), e armazenada em caixa d'água de 1.000 L e, a partir da qual, por gravidade, e através de mangueiras de polietileno, com pequenas perfurações, situados em fileiras alternadas e espaçados a cada 2 m, possibilitava a irrigação localizada próxima à região das raízes.

4.2.2 - Arranjo no campo e delineamento experimental

A área experimental foi composta de duas áreas de 40 m x 40 m, distantes aproximadamente de 20 m, sendo uma área irrigada e outra não-irrigada. Cada área foi constituída de dois grupos de plantas, onde um grupo foi plantado com matéria orgânica e outro sem matéria orgânica. Os tratamentos foram submetidos ao modelo matemático aleatório. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com unidades experimentais variáveis, de acordo com a característica estudada. Os tratamentos foram os seguintes: T1 - Irrigado e Não-adubado; T2 - Irrigado e Adubado; T3 - Não irrigado e Não-adubado; T4 - Não-irrigado e Adubado. As avaliações de crescimento foram avaliadas em 5 parcelas constituídas de três plantas distribuídas em cada tratamento, totalizando 15 plantas amostradas por tratamento.

4.2.3 - Variáveis de respostas

Os parâmetros biométricos foram determinados segundo Benincasa (1988) e as variáveis estudadas foram: Matéria seca das folhas + ramos finos (MSF+Rf); Matéria seca da haste principal (MSHp); Matéria seca da raiz (MSR); Matéria seca da parte aérea (MSPA); Relação raiz/parte aérea (R/Pa). Foram determinadas ainda a Área foliar (AF) e a Alocação de biomassa (AB).

Nas determinações de óleo essencial, as amostras foram coletadas a cada 2 meses e o material foi retirado da base, meio e ápice de plantas selecionadas aleatoriamente. No laboratório, as amostras foram secadas à sombra por um período de 7 dias e posteriormente analisadas. Avaliaram-se a produção e o rendimento de óleo essencial, que foi calculado com base na eficiência de 70% das análises de laboratório. O teor de safrol, contido no óleo essencial de pimenta longa, foi determinado segundo o trabalho de Heath (1977), através de cromatografia gasosa, e o cromatógrafo foi acoplado a um espectrômetro de massa. A temperatura do aparelho variou de 60 °C a 240 °C, com velocidade de 3 °C por minuto. A quantificação foi feita através do método de normalização de área, enquanto a identificação foi feita comparando-se o espectro de massa do safrol inserida na biblioteca do software do equipamento.

4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 - Matéria seca das folhas e ramos finos (MSF+Rf) e Matéria seca da haste principal (MSHp)

O acúmulo de matéria seca nas folhas, ramos finos e na haste principal estão expressos na Figura 15. Analisando esses resultados, observa-se que no intervalo do quinto mês ao sétimo mês, após o plantio, a MSF+Rf (Figura 15A) foi significativamente maior nos tratamentos irrigados, onde o tratamento com adubação superou o não-adubado. Nos tratamentos sem suplementação hídrica, as diferenças com relação à adubação, apesar de significativa, foram menos expressivas. Contudo, no nono mês, após o plantio, a MSF+Rf apresentou maior incremento nos tratamentos sem irrigação. Esse comportamento foi devido ao significativo acúmulo de MSHp (Figura 15B), verificado nos tratamentos irrigados. Nos tratamentos sem irrigação também ocorreu maior incremento de MSHp, mas em menor intensidade.

A deficiência hídrica altera os processos fisiológicos, metabólicos e morfológicos das plantas, levando a danos econômicos, conseqüentes de reduções na produtividade. Segundo Guimarães et al. (1996a), esses danos são dependentes da duração, intensidade, frequência e da fase de desenvolvimento em que ocorrem. Esse autor observou que no feijoeiro o estresse hídrico na fase vegetativa reduziu a produtividade, pelo efeito sobre a área assimilatória na fase de enchimento de grãos.

O acúmulo da MSF+Rf e da MSHp foi afetado pelos períodos de deficiência hídrica, observados nos meses mais secos. A recuperação do crescimento nos tratamentos sem irrigação, após a seca, se correlacionaram com a recuperação do estado hídrico das plantas, onde a restauração do potencial hídrico foliar possibilitou a abertura dos estômatos e manteve elevada a fotossíntese líquida (Cap.2 - Figura 8B).

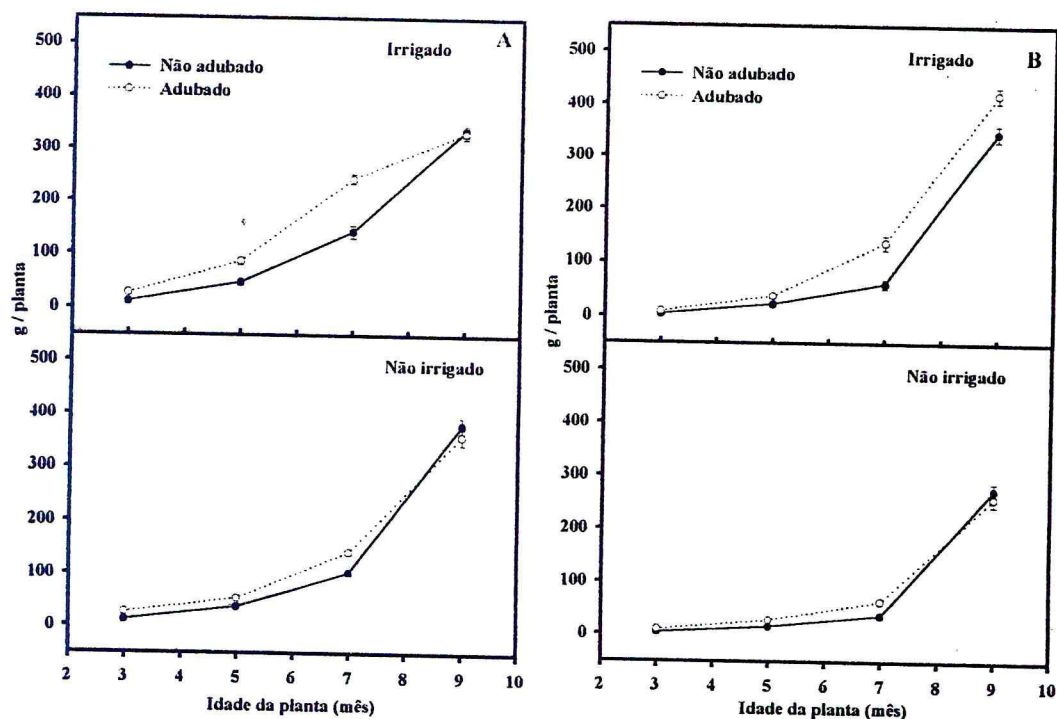


Figura 15 - Valores médios ($\pm$ erro padrão) do acúmulo de matéria seca das folhas, ramos finos (A) e da haste principal (B), em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

4.3.2 - Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca da raiz (MSR), Área foliar e relação raiz/parte aérea (R/Pa)

Nos tratamentos irrigados, o acúmulo de MSPA, representado na Figura 16A, foi influenciado pelo maior acúmulo de MSF+Rf até o sétimo mês, após o plantio, a partir do qual o maior crescimento verificado na parte aérea das plantas foi em função do cúmulo de MSHp. Nos tratamentos sem suplementação hídrica, observou-se uma redução significativa no acúmulo de MSPA, nesse período, em decorrência da imposição de períodos de deficiência hídrica, provocado pela ausência de precipitação pluviométrica. Reduções na MSPA de plantas, sob déficit hídrico, foram observadas por diversos autores (Dias-Filho, 1995; Araújo & Ferreira, 1997; Costa et al. 1997; Pimentel & Perez, 2000). Após a fase de estresse, o incremento da MSPA teve influência marcante da MSF+Rf em decorrência do restabelecimento hídrico das plantas.

Nas raízes (Figura 16B), o padrão de comportamento foi semelhante aos tratamentos irrigados, apresentando superioridade com relação ao acúmulo de matéria seca até o sétimo mês, após o plantio. No final do período, como aconteceu nas folhas, o incremento foi maior nos tratamentos sem irrigação.

O desenvolvimento das plantas, em resposta às condições de cultivo (Figura 17), assim como as reduções no estande em 22% no tratamento não-irrigado e não-adubado; e 34%, no tratamento não-irrigado e adubado, foram consequências da redução da disponibilidade de água no solo (Cap.2 - Figura 4), provocado pelos períodos de estresse hídrico que afetaram as variáveis estudadas no cultivo sem suplementação hídrica. As maiores perdas no tratamento adubado foram em decorrência do aumento da demanda hídrica das plantas, em razão do maior desenvolvimento ocorrido no período que antecederam os meses mais secos.

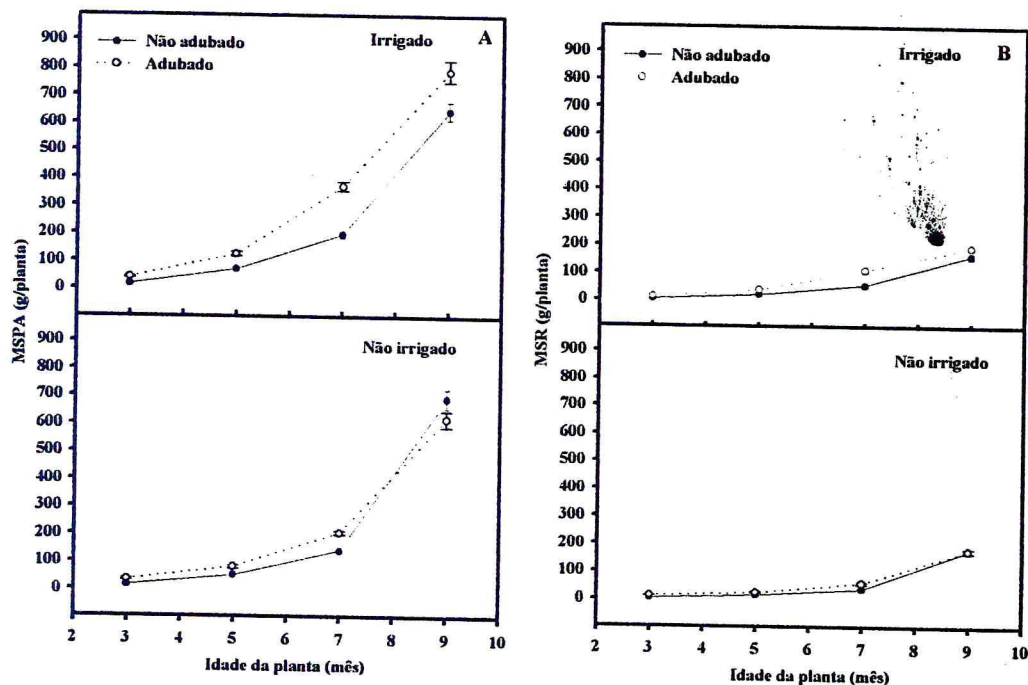


Figura 16 – Valores médios ($\pm$ erro padrão) do acúmulo de matéria seca da parte aérea (A) e da raiz (B), em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

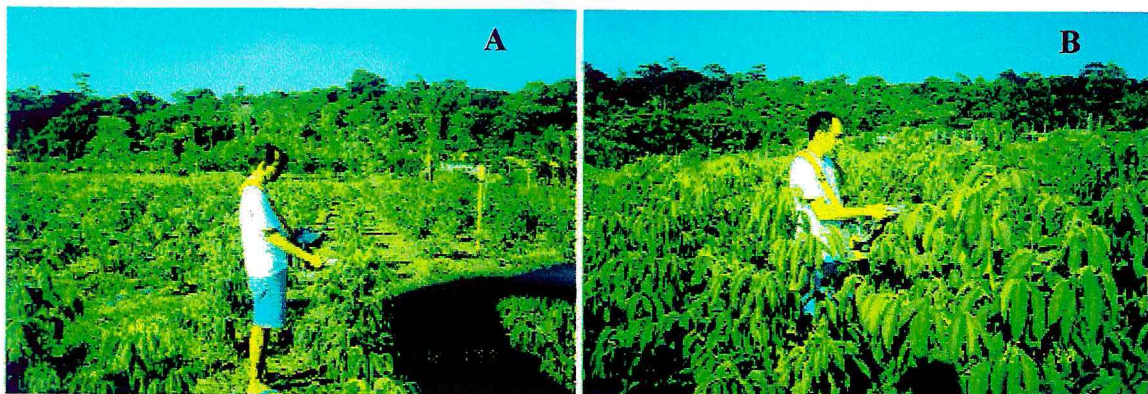


Figura 17 - Desenvolvimento de plantas de pimenta longa em cultivos sem suplementação hídrica (A) e com suplementação hídrica (B), aos seis meses, após o plantio, Igarapé-Açu, PA.

Os efeitos dos tratamentos sobre a área foliar, demonstrados na Figura 18A, refletem o comportamento de toda a parte aérea da planta. Os resultados mostram que a área foliar foi significativamente afetada nos períodos de deficiência hídrica, onde se observa menor acúmulo de matéria seca, em relação aos tratamentos com irrigação. Por outro lado, após os meses mais secos, verificou-se também a maior contribuição da área foliar no acúmulo de MSPA nos tratamentos sem irrigação.

Reduções na área foliar, em resposta ao déficit hídrico, observaram-se por diversos autores. Na cultura do amendoim, Araújo & Ferreira. (1997) verificaram reduções na área foliar no período vegetativo, que é caracterizado pela expansão foliar. No trigo, a deficiência hídrica reduziu a área foliar independente do período de imposição do estresse (Rodrigues et al. 1998). Em genótipos de feijoeiro, a área foliar também foi afetada pela deficiência hídrica (Pimentel & Perez, 2000).

Quanto à relação raiz/parte aérea (Figura 18B), observa-se um padrão de comportamento semelhante, tanto no tratamento irrigado quanto no não-irrigado. Contudo, apesar de praticamente não ter sido observada diferenças significativas, nos tratamentos adubados houve uma tendência de diminuição com o desenvolvimento das plantas, enquanto, nos tratamentos sem adubação, os valores aumentaram nos períodos de deficiência hídrica. Esse aumento pode estar relacionado com o aprofundamento do sistema radicular na tentativa de maximizar a eficiência de absorção. Nesse sentido, Dias-Filho (1995) cita que em plantas invasoras o estresse hídrico provocou o aprofundamento das raízes e o aumento da relação raiz/parte aérea. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (1997), em estudos com variedades de caupi.

O maior aumento na relação, observado no tratamento sem suplementação hídrica, no quinto mês, pode ter sido favorecido pela redução na área foliar, em consequência da perda de folhas causada pelo estresse hídrico que antecedeu a mensuração.

Nas plantas irrigadas, a relação indica ainda um menor desenvolvimento das raízes até o sétimo mês nos tratamentos sem adubação, onde se verificaram as menores médias. Os valores semelhantes na

relação, observados no nono mês, podem estar relacionados à perda de folhas, ocorrida no tratamento adubado em função do ciclo da planta.

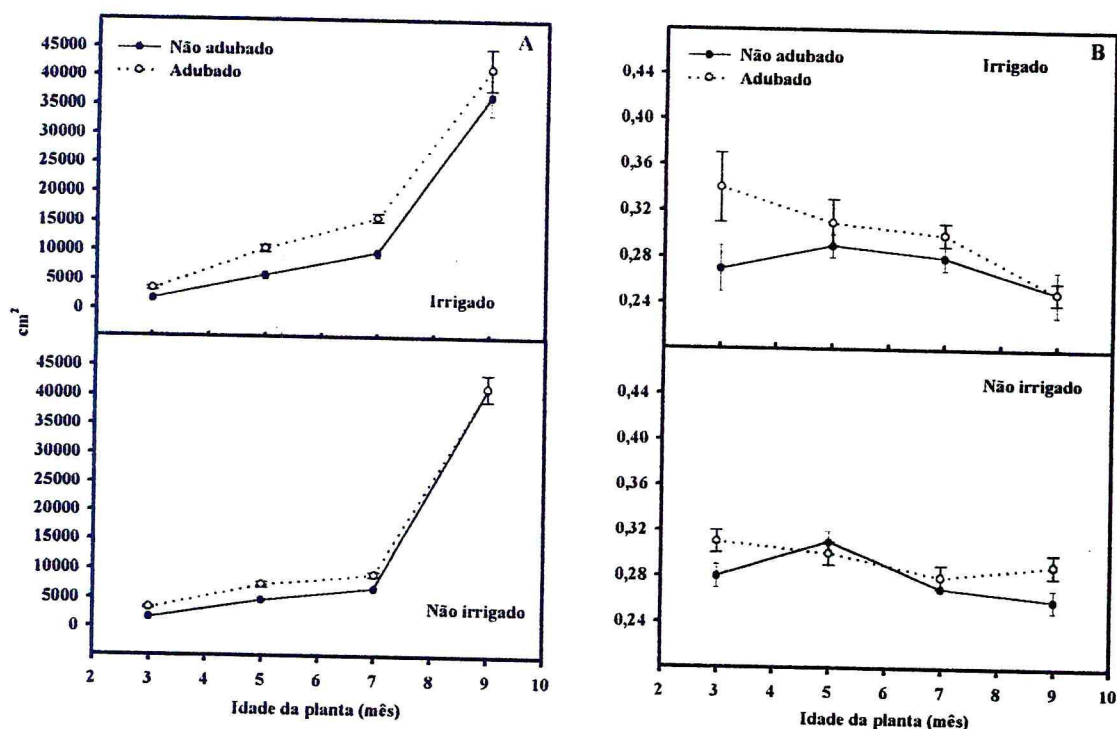


Figura 18 – Valores médios ($\pm$ erro padrão) da área foliar (A) e da relação raiz/parte aérea (B), em função da idade de plantas de pimenta longa em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

4.3.3 - Alocação de biomassa

Na Figura 19, mostra-se a distribuição do acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta, influenciada pela sazonalidade climática, durante o desenvolvimento. Nas raízes, praticamente não foram observadas mudanças no padrão de alocação, nas diferentes fases do desenvolvimento, independente dos tratamentos aplicados, em que as taxas permaneceram em torno de 20%. Na haste principal, o acúmulo foi crescente com pequenas variações até o sétimo mês, a partir do qual ocorreu incremento superior aos demais órgãos, e os tratamentos irrigados apresentaram maiores incrementos.

Nas folhas, observa-se que o acúmulo de matéria seca, em relação aos demais órgãos da planta, permaneceu praticamente inalterado até o sétimo mês, após o plantio, tanto nos tratamentos irrigados quanto nos não irrigados. Na fase final, em decorrência do maior acúmulo de matéria seca na haste principal, verificaram-se reduções no incremento de matéria seca nesse órgão, sendo os tratamentos irrigados os mais afetados.

A partição de foto-assimilados esta ligada à ordenação de metabólicos e aos processos de transportes no sistema fonte-dreno e é regulada por fatores genéticos, pelo desenvolvimento e condições ambientais (Chaves, 1991). O déficit hídrico induz alterações biofísicas e metabólicas, assim como afeta o acúmulo de produtos assimilados (Brunini & Cardoso, 1998).

O comportamento da alocação de biomassa nos diferentes órgãos mostra que o suprimento adequado de água favorece a boa formação de área foliar até o sétimo mês, após o plantio, indicando crescimento apto para execução do primeiro corte, a partir do qual a planta começa a exportar sua reservas para a haste principal. Esses resultados permitem inferir que o cultivo irrigado possibilitará a realização de pelo menos dois cortes anuais, com produção satisfatória de biomassa.

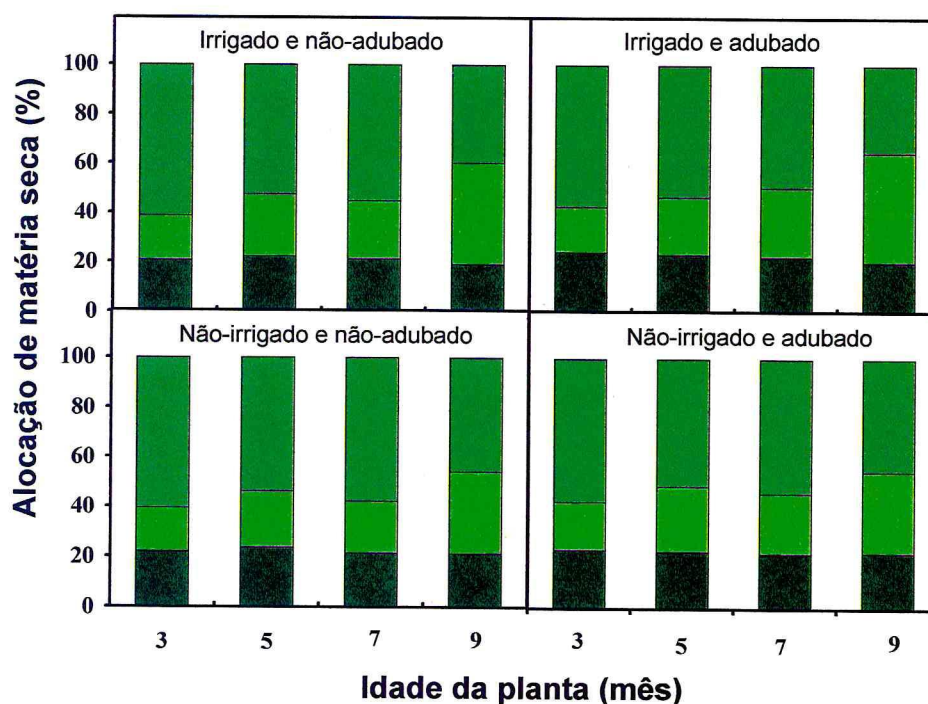


Figura 19 - Alocação de matéria seca na raiz ■, Haste principal ■, e folha + ramo fino ■, em função da idade de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, Igarapé-Açu, PA.

4.3.4 - Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de Saffrol

Os efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento, verificados através das reduções no acúmulo de matéria seca das variáveis estudadas, influenciaram a produtividade das plantas.

A produção de biomassa e de óleo essencial, aos sete meses e 11 meses, após o plantio, estão demonstrados nas Tabelas 6 e 7. No sétimo mês, observou-se que, tanto a falta da irrigação quanto da

adubação, reduziram em mais de 50% a produção de biomassa aproveitável e, conseqüentemente, a produção de óleo essencial. Em variedades de *Eucalyptus*, a deficiência hídrica reduziu a matéria seca em torno de 60% (Silva et al. 1999). Na fase final, aos 11 meses, em decorrência da recuperação das plantas cultivadas sob déficit hídrico, pelo restabelecimento da precipitação pluviométrica, aliada aos desvios de carbono em direção à haste principal, evidenciados pelo incremento de matéria seca, nesta parte da planta, nos tratamentos irrigados, principalmente no adubado, observou-se equivalência na produção de biomassa e de óleo. Contudo, vale ressaltar que, nas condições do estudo, somente com o cultivo irrigado será possível a obtenção de pelo menos dois cortes anuais, com produção economicamente viável de biomassa aproveitável. Outra observação que deve ser levada em consideração, diz respeito a rebrota, em que no cultivo irrigado, ocorreu com maior velocidade e as plantas apresentaram maior vigor.

Os valores estimados de produção de óleo essencial de pimenta longa, aos sete meses e 11 meses, após o plantio, mostram que, com o estabelecimento do cultivo, é possível atingir a produção de 250 kg/ha/ano descrita por Rocha Neto et al. (1999). Baseando-se em dados de plantios em áreas pilotos, Baker (1999) estimou a produção de óleo essencial em torno de 100 kg/ha/ano.

Tabela 6. Avaliação da produção de matéria seca e do rendimento e produção de óleo essencial de pimenta longa aos sete meses, após o plantio, Igarapé-Açu, PA.

Tratamento	Matéria seca (kg/ha)	Rendimento de óleo (%)	Produção óleo (kg/ha)
T1 - Irrigado e não-adubado	1.286,19	2,19	28,17
T2 - Irrigado e adubado	2.348,71	2,22	52,14
T3 - Não irrigado e não-adubado	798,94	2,47	19,73
T4 - Não irrigado e adubado	918,32	2,27	20,84

Tabela 7. Avaliação da produção de matéria seca e do rendimento e produção de óleo essencial de pimenta longa aos 11 meses, após o plantio, Igarapé-Açu, PA.

Tratamento	Matéria seca (kg/ha)	Rendimento de óleo (%)	Produção óleo (kg/ha)
T1 - Irrigado e não-adubado	3.602,22	3,02	108,93
T2 - Irrigado e adubado	3.925,86	3,01	118,44
T3 - Não irrigado e não-adubado	3.367,16	3,37	113,61
T4 - Não irrigado e adubado	2.564,43	3,35	85,98

Baseando-se nos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que a pimenta longa responde prontamente a suplementação hídrica, transformando as condições favoráveis de crescimento, como, por exemplo, a adubação, em incrementos de matéria seca, aumentando dessa forma a produção de óleo essencial. Por outro lado, a deficiência hídrica imposta em qualquer fase do crescimento vegetativo causa reduções no acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente, na produtividade final.

As variações nos teores de safrol, assim como no rendimento de óleo essencial representados na Tabela 8, parecem estar mais relacionadas com o desenvolvimento das plantas que com as respostas dos tratamentos e das variações sazonais. Sobre esse aspecto, vale ressaltar ainda, que o beneficiamento da biomassa tem papel importante no rendimento do óleo essencial.

De modo geral, os teores de safrol aumentaram a partir do quinto mês, com valores girando em torno de 90%. Com relação ao rendimento de óleo essencial, observa-se aumento mais regular com a idade das plantas. Os maiores rendimentos verificados nos tratamentos sem suplementação hídrica, aos 11 meses, após o plantio, podem estar relacionados ao beneficiamento. Baker (1999), em destilações comerciais, obteve rendimento médio de óleo essencial em torno de 2,3%.

Tabela 8. Avaliação do teor de safrol e do rendimento de óleo de pimenta longa, em laboratório, no período de setembro/98 a março/99, Igarapé-Açu, PA.

Idade das plantas (mês)	Teor de safrol (%)				Rendimento de óleo (%)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
3	82,8	71,4	82,2	74,5	2,83	2,98	2,83	3,14
5	92,6	90,1	87,2	89,2	2,15	3,22	1,48	1,91
7	83,1	89,8	95,2	84,7	3,14	3,17	3,53	3,25
9	80,1	86,6	88,4	82,9	3,57	4,11	4,51	3,17
11	90,4	91,4	89,9	91,0	4,32	4,31	4,82	4,79

4.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, W.F.; FERREIRA, G.R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do Amendoim. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 5, p. 481-484, 1997.
- BAKER, D. Piper development project. *Fifth project reporter*. 1 February, 1999 to 30 September, 1999. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: Funesp, 1988. 42p.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial de água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, 1998.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.
- COSTA, M.M.M.N; TÁVORA, F.J.A.F; PINHO, J.L.N.; MELO, F.I.O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 1, p. 43-50, 1997.
- DIAS-FILHO, M.B. Root and shoot in response to soil drying in four Amazonian weedy species. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 7, n 1, p. 53-59, 1995.
- EMBRAPA-CPATU. Pesquisa sobre utilização e conservação do solo. Relatório final do convênio Embrapa-CPATU/GTZ. Belém: Embrapa-CPATU, 1986. 291p. (Embrapa-CPATU, Documento, 40).
- GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agronômicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996a.
- GUSTA, L.V. ; CHEN, T.H.H. The physiology of water and temperature stress. In: HEYNE, E.G. (Ed.) Wheat and Wheat improvement. Madison, Winsconsin: : *American Society of Agronomy*, 1987. p. 115-150.
- HEATH, H.B. Flavorings, condiments and relishes. In: DESROSIER, N.W., ed. Elements de Food Technology. Westport: The Avipublishing Company, INC.1977. p.666-701.
- PIMENTEL, C.; PEREZ, A.J.C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.

ROCHA NETO, O.G.; OLIVEIRA Jr., R.C.; CARVALHO, J.E.U.; LAMEIRA, O.A.; SOUSA, A.R.; MARADIAGA, J.B.G. *Principais produtos extrativos da Amazônia e seus coeficientes técnicos*. Brasília: IBAMA, 1999. p.41-47.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 6, p. 839-846, 1998.

SALINAS, A.R.; ZELENER, N.; CRAVIOTO, R.M.; BISARO, V. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 5, p. 331-338, 1996.

SILVA, W; SILVA, A.A; SEDIYAMA, T.C.A.A. Biomassa e área foliar em mudas de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*, em resposta a diferentes teores de água no solo e convivência com *Brachiaria brizantha*. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 5, n. 1, p. 29-36, 1999.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

As respostas da pimenta longa aos tratamentos testados, durante o desenvolvimento das plantas e diante da sazonalidade climática da região estudada, permitiram elaborar as seguintes conclusões:

- a) O estresse hídrico afetou o potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a fotossíntese líquida de plantas de pimenta longa;
- b) As plantas de pimenta longa apresentaram baixos valores de resistência estomática, comparada com outras espécies mesófitas C3, enquanto os valores de fotossíntese líquida foram considerados elevados;
- c) A adubação na cova, com matéria orgânica, afetou negativamente, durante o período seco, o potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a fotossíntese líquida de plantas de pimenta longa, cultivadas sem suplementação hídrica;
- d) A pimenta longa apresentou alta capacidade de restabelecer o potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a fotossíntese líquida, após períodos de estresses hídricos;
- e) A deficiência hídrica afetou os teores de potássio e açúcares solúveis totais, enquanto os teores de fósforo e proteínas mantiveram-se praticamente constantes;
- f) A concentração de clorofila foi afetada em função da sazonalidade climática, independente do tratamento aplicado;
- g) A deficiência hídrica afetou o incremento de matéria seca em todas as variáveis estudadas e diminuiu o stand em 22% e 34%, nos tratamentos sem e com adubação, respectivamente;
- h) As plantas irrigadas apresentaram maior incremento de folhas e ramos finos até o sétimo mês, após o plantio, a partir do qual predominou maior incremento na matéria seca da haste principal;
- i) A falta de irrigação, aliada a adubação com matéria orgânica na cova, reduziu em mais de 50% a produção de biomassa aproveitável e, conseqüentemente, a produção de óleo essencial até o sétimo mês, após o plantio;
- j) A suplementação hídrica induziu maior produtividade primária às plantas, refletida pela produção de biomassa e de óleo essencial rico em safrol;
- l) O rendimento de óleo essencial e o teor de safrol aumentaram com a idade das plantas;
- m) A deficiência hídrica imposta em qualquer fase do crescimento, causa reduções no acúmulo de matéria seca em plantas de pimenta longa, com conseqüência na produtividade final;

- n) O desenvolvimento das plantas no cultivo irrigado indicou que o primeiro corte de biomassa deve ser realizado em torno do sétimo mês, após o plantio e que, nesse tipo de cultivo, é possível a execução de pelo menos dois cortes anuais;
- o) Nas condições estudadas, o cultivo irrigado com adubação orgânica na cova permite pelo menos dois cortes anuais com produção economicamente viável de biomassa aproveitável para produção de óleo essencial.

APÊNDICE

Tabela 1 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1995 coletados na estação climatológica Marcelino Igarapé-Açu, Pa (01° 12'S 47° 36'W)

Dias	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	10,3	20,1	15,6	47,8	15,8	40,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	26,2
2	0,3	41,8	0,0	7,8	1,4	7,6	2,3	0,0	2,6	0,0	8,6	0,0
3	6,8	10,6	17,2	10,8	10,2	32,3	3,0	0,2	0,0	0,0	0,6	0,0
4	0,0	10,6	0,0	8,0	0,0	38,7	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	7,4	13,7	1,9	27,2	23,0	0,5	1,0	0,7	4,6	0,0	0,0	0,0
6	5,4	13,5	0,0	2,8	5,6	1,5	5,5	1,4	0,7	0,0	1,0	0,0
7	0,0	10,6	1,7	1,8	10,6	2,0	1,4	14,0	0,2	0,0	10,2	0,0
8	1,0	9,2	17,6	24,2	40,0	0,0	13,7	0,0	0,7	0,0	24,2	0,0
9	4,0	8,6	1,3	21,0	40,4	0,0	4,3	0,3	0,5	0,0	23,2	0,0
10	17,7	0,0	3,4	9,7	3,6	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	10,0	0,0	3,3	12,0	9,7	5,4	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
12	2,8	72,0	43,9	0,0	2,8	4,0	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,7	0,6	0,7	30,6	12,2	1,1	0,0	9,2	0,0	0,0	1,2	11,4
14	55,0	3,3	22,0	18,3	0,5	1,2	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	15,6
15	0,8	6,8	26,0	75,8	0,9	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,4
16	21,0	1,0	9,2	6,7	2,6	0,5	17,6	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
17	18,1	0,0	4,8	2,3	16,4	8,7	12,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	10,7	15,8	1,2	6,0	0,0	10,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2
19	0,0	58,3	6,7	35,0	1,4	2,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
20	4,7	7,0	9,8	0,0	86,4	23,0	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
21	0,0	0,8	19,3	0,0	0,0	17,5	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	45,2
22	0,2	0,0	0,0	1,0	56,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
23	0,9	24,6	2,4	2,3	0,0	45,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
24	0,0	0,0	9,8	20,1	4,6	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	14,0	5,7	10,5	0,0	11,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	10,5	0,0	4,7	0,0	2,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	35,3	0,0	7,1	0,0	3,2	0,2	0,9	0,0	0,0	0,1	2,4	0,0
28	1,6	8,0	5,5	12,2	0,0	8,8	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	7,0		9,3	12,8	25,4	1,2	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2
30	12,5		0,0	10,0	26,8	24,8	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,4
31	15,8		8,2		0,2		0,8	0,1		0,0		19,9
TOTAL	229,3	366,3	264,9	407,9	408,6	299,0	148,0	39,6	10,0	1,3	86,5	153,7

Tabela 2 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1996 coletados na estação climatológica Marcelino Igarapé-Açu, Pa (01° 12'S 47° 36'W)

Dias	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	27,2	1,2	0,0	3,0	8,6	3,2	7,2	0,0	5,9	0,0	0,0	4,2
2	0,2	8,0	0,0	1,3	27,4	2,5	6,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
3	4,2	1,4	26,9	19,8	19,4	3,7	0,4	0,7	0,0	0,2	0,0	0,2
4	1,8	0,0	0,5	48,0	4,6	6,4	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,4
5	47,0	49,8	17,0	26,0	1,6	9,8	0,0	4,7	9,2	0,0	0,0	0,0
6	13,8	20,0	56,2	6,4	5,2	4,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,4	0,0
7	12,2	4,2	12,4	5,0	8,8	12,2	3,1	2,4	2,2	0,2	0,0	4,6
8	6,6	7,4	1,8	5,6	19,4	8,5	6,6	1,5	7,2	2,6	0,0	1,6
9	4,4	0,0	8,2	3,4	17,4	3,3	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	0,0
10	1,4	17,4	9,3	0,0	16,0	3,8	0,0	26,9	6,2	0,0	0,0	0,0
11	4,6	10,0	39,2	38,2	18,4	0,0	0,2	0,4	35,0	0,0	0,0	0,0
12	8,8	2,4	19,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
13	34,0	0,0	3,5	16,2	12,6	0,0	7,7	0,2	0,0	27,2	0,0	3,8
14	42,0	32,2	9,8	0,4	3,4	0,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	13,2	8,2	22,6	0,0	0,0	20,6	2,8	33,2	0,0	0,0	0,0
16	0,0	3,0	8,2	14,4	6,0	0,4	4,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
17	27,0	0,4	5,7	53,0	0,0	2,3	5,8	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
18	1,2	14,6	16,2	1,4	13,2	18,4	4,1	22,4	0,2	0,0	2,0	0,0
19	40,0	8,2	0,1	22,8	10,5	22,5	0,4	11,5	0,6	12,0	0,2	0,0
20	38,4	0,1	51,0	18,8	8,9	21,6	23,8	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	7,0	0,8	0,2	8,4	14,9	3,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0
22	12,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0
23	1,8	0,0	4,0	1,8	13,4	0,8	7,1	0,7	2,2	0,0	29,4	4,0
24	8,8	0,0	0,0	0,0	3,8	23,3	18,0	1,0	0,0	0,2	0,0	0,0
25	0,0	16,0	24,2	0,0	0,8	4,9	17,3	10,6	0,2	0,0	3,8	0,0
26	0,0	0,1	37,0	0,8	2,1	27,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
27	34,0	0,6	10,4	0,0	2,3	28,5	0,0	2,8	0,0	6,0	0,0	0,0
28	15,0	22,8	0,0	0,5	0,0	0,0	8,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,2
29	3,8	1,8	0,0	2,4	5,6	25,7	1,5	2,9	0,0	0,0	0,0	6,0
30	0,0		15,4	7,2	0,2	12,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
31	8,2		35,4		14,6		7,4	1,1		0,0		
TOTAL	398,4	257,0	420,4	327,4	252,6	261,5	157,1	114,3	131,5	55,8	35,8	30,8

Tabela 3 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1997 coletados na estação climatológica Marcelino Igarapé-Açu, Pa (01° 12'S 47° 36'W)

Dias	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,0	2,6	0,0	3,8	0,0	1,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	22,8	0,0	0,0	16,2	6,0	16,0	8,8	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	26,2	5,6	0,0	9,0	0,0	18,2	19,8	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,7	0,0	4,7	11,0	2,8	0,6	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,2	13,0	6,2	9,6	4,6	7,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	71,4	13,6	0,0	21,6	20,6	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	2,9	10,0	0,0	6,0	38,4	0,0	3,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	23,4	0,0	31,0	0,4	1,4	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0
9	1,4	30,0	15,5	23,8	0,2	0,0	6,2	3,0	0,0	1,4	0,0	0,0
10	3,6	7,8	3,6	15,8	1,2	0,0	5,4	15,8	0,0	1,0	0,0	0,0
11	2,7	19,4	0,7	23,0	2,8	0,4	1,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
12	7,7	0,6	1,4	15,8	30,8	27,4	0,0	1,2	0,0	0,0	23,2	0,0
13	0,2	20,0	5,0	33,0	13,4	0,0	3,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
14	15,5	71,4	15,0	15,0	0,0	0,0	14,8	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0
15	1,0	1,6	9,1	1,6	14,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	8,0	9,4	0,8	0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,1	4,2	53,5	5,8	26,2	0,0	3,2	11,6	0,0	0,0	28,4	0,0
18	0,0	0,0	5,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,4	7,6
19	0,0	1,0	66,8	7,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	14,0
20	26,5	10,8	1,7	0,0	11,4	5,4	0,0	17,2	0,0	0,0	14,4	6,8
21	12,0	0,2	60,3	7,0	20,2	0,0	19,6	0,2	0,0	0,0	45,0	0,0
22	3,7	11,4	64,4	0,0	2,6	2,4	3,0	3,4	0,0	0,0	9,2	41,4
23	18,8	0,0	2,2	27,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	2,9	0,0	3,8	6,8	2,6	11,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	4,8	0,2	47,7	20,0	7,8	1,0	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
26	23,8	15,6	12,5	7,0	19,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	31,4	0,0	14,7	0,0	3,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	4,1	15,0	1,2	3,2	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
29	5,3		14,7	37,6	8,0	0,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
30	54,1		93,8	5,6	1,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
31	28,5				3,5		0,0	0,0		0,0		0,0
TOTAL	368,2	270,4	515,8	376,4	242,3	118,9	137,6	108,4	1,0	2,4	125,2	71,8

Tabela 4 - Valores de precipitação pluviométrica do ano de 1998 coletados na estação climatológica Marcelino Igarapé-Açu, Pa (01° 12'S 47° 36'W)

Dias	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,0	2,4	72,2	0,0	18,8	0,0	0,0	6,0	0,0	0,2	0,0	0,0
2	0,0	17,2	17,4	1,6	21,6	0,6	8,4	13,0	0,0	0,0	14,2	0,0
3	2,0	22,6	8,8	7,2	23,0	5,6	0,2	7,0	1,6	0,0	0,0	0,0
4	0,2	10,2	45,5	0,0	4,8	0,0	3,2	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	16,6	35,7	8,0	6,0	0,2	43,0	3,8	2,0	0,0	0,2	0,0
6	0,0	0,0	0,0	9,4	2,2	9,6	4,8	0,0	13,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,2	11,0	0,0	9,2	2,0	11,4	0,4	0,0	0,0	0,0
8	0,6	0,0	0,0	15,8	10,8	14,0	12,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0
9	21,0	0,0	6,2	4,4	10,0	16,2	0,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
10	15,2	0,4	19,2	0,0	8,6	6,0	19,4	0,0	3,6	8,8	0,0	0,0
11	13,6	0,0	6,2	39,1	16,2	1,4	3,0	0,0	26,0	0,0	0,0	0,0
12	1,2	38,3	0,6	3,4	11,2	0,0	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
13	20,4	0,2	0,0	20,3	0,0	0,2	16,2	0,0	22,8	7,4	0,0	0,0
14	6,4	0,0	3,2	21,6	7,4	21,8	3,4	6,0	0,0	0,0	0,6	0,0
15	9,4	0,0	23,2	37,4	17,2	17,2	2,0	0,0	3,6	0,0	3,4	0,0
16	40,2	0,0	7,8	13,0	37,0	5,8	23,2	23,8	6,8	0,0	0,0	0,0
17	17,6	0,6	9,8	3,2	10,4	17,2	19,2	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0
18	4,2	0,2	33,2	0,1	25,0	11,2	0,6	0,0	2,8	1,4	0,0	0,0
19	54,0	12,0	6,6	8,6	6,8	23,2	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	16,8	10,8	12,0	15,2	4,2	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	12,2	1,0	9,0	1,8	17,4	9,8	5,8	10,0	0,0	0,0	2,6	11,2
22	39,0	9,2	0,0	0,8	5,6	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	79,0
23	47,0	33,4	26,2	2,8	3,4	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
24	4,0	6,4	0,1	11,4	0,0	6,0	2,4	2,2	0,0	0,0	70,6	0,2
25	10,8	46,1	9,0	0,2	10,2	11,0	0,4	0,2	0,2	0,0	38,0	1,8
26	0,2	0,0	0,0	1,0	33,6	0,0	0,0	0,2	6,8	0,0	0,0	14,4
27	0,0	24,2	0,0	9,4	13,4	28,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
28	0,0	88,6	3,2	9,6	15,2	14,0	13,2	0,0	0,0	0,0	30,0	3,0
29	8,8		9,8	5,8	1,8	3,4	2,6	12,8	0,2	0,0	0,8	1,6
30	29,8		44,2	1,0	0,0	33,6	4,2	4,0	15,4	0,0	0,0	0,0
31	83,2		1,0		8,8		3,4	0,0		0,0		16,2
TOTAL	457,8	340,4	410,3	263,1	350,6	273,0	222,8	108,4	110,2	17,8	166,6	127,8

Tabela 5 - Valores de precipitação pluviométrica coletados na estação climatológica Marcelino e no local do experimento no período de Julho/1998 a Março/1999 - Igarapé-Açu, Pa

Dias	Meses								
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1	0,0	6,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	5,0	25,0
2	8,4	13,0	0,0	0,0	14,2	0,0	0,0	0,0	120,0
3	0,2	7,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0
4	3,2	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0
5	43,0	3,8	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	30,0	10,0
6	4,8	0,0	13,0	0,0	10**	0,0	5,0	40,0	0,0
7	2,0	11,4	0,4	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	15,0
8	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	50,0
9	0,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	40,0	10,0
10	19,4	0,0	3,6	8,8	0,0	0,0	5,0	0,0	5,0
11	3,0	0,0	26,0	0,0	0,0	0,0	30,0	80,0	40,0
12	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	30,0	35,0
13	16,2	0,0	22,8	7,4	0,0	0,0	5,0	17,0	31,0
14	3,4	6,0	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	10,0
15	2,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	20,0	60,0	15,0
16	23,2	23,8	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	25,0
17	19,2	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	35,0
18	0,6	0,0	2,8	1,4	0,0	0,0	5,0	60,0	60,0
19	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	30,0
20	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	5,0	5,0	4,0
21	5,8	10,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	10,0	10,0
22	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	15,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	22,5	5,0
24	2,4	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	25,0
25	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0	8,0	8,0	0,0	5,0
26	0,0	0,2	6,8	0,0	40,0	0,0	0,0	15,0	30,0
27	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
28	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	15,0
29	2,6	12,8	0,2	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	20,0
30	4,2	4,0	15,4	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	5,0
31	3,4	0,0		0,0			25,0	0,0	20,0
TOTAL	222,8	108,4	110,2	17,8	219,0	117,0	288,0	517,0	675,0

Obs: ** Início das coletas de precipitação pluviométrica no local do experimento