



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

CARLOS JOSÉ CAPELA BISPO

**BALANÇO DE ÁGUA EM ÁREA DE CULTIVO DE SOJA NO LESTE
DA AMAZÔNIA**

**BELÉM-PA
2007**

CARLOS JOSÉ CAPELA BISPO

**BALANÇO DE ÁGUA EM ÁREA DE CULTIVO DE SOJA NO
LESTE DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA Amazônia Oriental, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecossistemas e uso da Terra.

Orientador: Dr. Edson José Paulino da Rocha

Co-orientador: Dr. Aristides Ribeiro

BELÉM

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Bispo, Carlos José Capela

B622b Balanço de água em área de cultivo de soja no Leste da
Amazônia / Carlos José Capela Bispo. – 2007
147 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2007.

Orientador, Edson José Paulino da Rocha; Co-orientador,
Aristides Ribeiro.

1. Soja. 2. Balanço de água. 3. Amazônia. I.
Universidade Federal do Pará. II. Rocha, Edson José Paulino
da, Orient. III. Ribeiro, Aristides, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.:583.32209168111

CARLOS JOSÉ CAPELA BISPO

**Balanço de Água em Área de Cultivo de Soja no Leste da
Amazônia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA Amazônia Oriental, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.
Área de Ecossistemas e uso da Terra.

Data de Aprovação: / /

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Edson José Paulino da Rocha - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal de Pará

Prof^ª. Leila Sobral Sampaio - Membro
Doutora em Agronomia
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. João Batista Miranda Ribeiro - Membro
Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Pará

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal de Pará

“Quando o homem aprender a respeitar até o menor ser da criação, seja animal ou vegetal, ninguém precisará ensiná-lo a amar seu semelhante”. - Albert Schweitzer.
(Nobel da Paz – 1952)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a vida, que nos ilumina e nos encoraja a superar momentos difíceis. Agradeço por mais esta conquista.

Aos meus pais, pela educação e ensinamentos repassados e a quem devo tudo que sou; e a minha irmã, pelo incentivo, apoio incondicional e amizade.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e EMBRAPA Amazônia Oriental, pela oportunidade e satisfação em realizar o curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) pelo apoio e estrutura ofertados ao Curso de Ciências Ambientais.

A Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA) pela concessão de um ano de bolsa de estudo e pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aprovação do Projeto CT-HIDRO/MCT, intitulado “Impactos sobre os recursos hídricos da expansão da fronteira agrícola na Amazônia” do qual esta dissertação faz parte.

Ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), Laboratório de Estudos e Modelagem Hidro-Ambientais (LEMHA/UFPA), pela estrutura física proporcionada.

Ao Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha, pela orientação, amizade, apoio e confiança depositada.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nome do Prof. Dr. Aristides Ribeiro, pela valiosa contribuição na realização do Projeto CT-HIDRO/MCT.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

A Família Loureiro, Lucimar, Adalberto, Rosilene e Renata, pelos inúmeros momentos de diversão, lanches, diálogos, amizade, e acima de tudo, pela confiança em me deixar fazer parte do dia-a-dia de vocês.

Em especial a Renata Loureiro, pela constante demonstração de carinho, persistência, apoio, incentivo, conhecimento, amizade, dedicação, paciência e companheirismo; de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Aos professores e colegas de Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, em especial a Silvana, Flérida, Élide, Andressa e Williams, pelo convívio gratificante, ensinamentos, descontração e amizade.

A Prof^ª Dra. Júlia Cohen, da Universidade Federal do Pará (UFPA); e ao Prof. Dr. Leonardo Sá, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MPGE), pelo incentivo, confiança, apoio e amizade.

Ao Sr. Edir, pela concessão da área durante o experimento de campo no ano agrícola de 2006. Assim como, a Sr^ª. Dinorá e Sr. Gastão pelo uso da estrutura da Fazenda Boi Branco.

Ao Professor Paulo Jorge (PJ), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela valiosa contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, Edna Lima, Adriano Souza, Roselene Garcia, Teodorico, Kassia Rocha, Professor José Danilo, Professor José de Paulo, Rodrigo Braga, pela importante e fundamental ajuda, que de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Aos professores do curso de Meteorologia/UFPA, em especial ao Professor Dimitrie pela boa vontade e ajuda dispensada na solução de algum problema.

A Márcia Figueiredo, secretária do curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais (CPCA), pelo incentivo, amizade, atenção e apoio.

Aos amigos, Jorge Nogueira e Jorge Melo (INPE), pelo apoio proporcionado em campo, ensinamentos, paciência e amizade.

A Prof^a Dra. Leila Sampaio da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pelos conhecimentos repassado.

Aos funcionários do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), e aos alunos do Curso de Meteorologia/UFPA, pelo apoio em campo.

E a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus e a Nossa Senhora pela presença constante;

Aos mais importantes da minha vida, meus pais e minha irmã, fonte infinita de amor, carinho, exemplo, honestidade e respeito ao próximo. Por serem o esteio e o porto seguro, com quem sempre posso contar a qualquer hora; por todo apoio dado e por acreditar e confiar em mim durante esse tempo.

RESUMO

A expansão da fronteira agrícola, motivada principalmente pelo cultivo de soja (*Glycine max* (L) Merrill), possui grande extensão regional e reveste-se de elevada importância. Sendo assim, foi implantado um experimento de campo observacional visando-se estudar os componentes do balanço hídrico do agroecossistema de agricultura da soja, para analisar o impacto no balanço de água associado à conversão de floresta, assim como avaliar a necessidade hídrica da cultura de acordo com sua fase de desenvolvimento. Utilizou-se a cultivar BRS Candeia e suas respectivas fases fenológicas para o estudo do balanço de água, analisado através de médias do armazenamento de água no solo, precipitação, interceptação de água pelo dossel, escoamento superficial de água do solo, evapotranspiração (Etc) e conteúdo de água retido pela planta de soja. Também foi avaliado a infiltração de água no solo. A interceptação e o escoamento superficial medidos foram de 45,9% e 1% da precipitação, respectivamente. A maior evapotranspiração ocorreu na fase de floração (R₁-R₂) com queda gradativa até a colheita, com média para o ciclo de 3,80mm.dia⁻¹, resultado este próximo encontrado para floresta. O período compreendido entre a fase vegetativa (V) e a frutificação (R₃-R₄), é o período em que a planta apresenta maior porcentagem de água, decaindo gradativamente a partir da fase de enchimento de grãos (R₅). De um modo geral não ocorreu deficiência de água no solo no balanço de água médio, pois a precipitação foi maior que a quantidade necessária para suprir a evapotranspiração e completar o armazenamento, havendo assim, excedente de água no solo.

Palavras-Chave: Soja. Balanço de água. Amazônia.

ABSTRACT

The expansion of the agricultural frontier, driven mainly by soy cultivation (*Glycine max* (L) Merrill), covers a large regional extent and is highly important to understanding the changing face of Amazonia. A field observation experiment was established to study water balance components of the soy agriculture ecosystem and analyze the impact of the water balance associated with forest conversion. The experiment also evaluated the crop's need for water according to its development phase. For the water balance study, the BRS Candeia cultivar was used along with its respective phenological phases. The experiment measured soil water storage, precipitation, plant cover water interception, superficial drainage of soil water, evapotranspiration (Etc), and water content retained by the soy plant. Water infiltration in the soil was also measured. Interception and superficial drainage were 45,9% and 1% of the precipitation, respectively. The greatest evapotranspiration occurred during the flowering phase (R₁-R₂) with a gradual decline in values until crop harvest and a cycle average of 3,80mm.day⁻¹, which was very similar to that found in forest. The period between the vegetative phase (V) and fruiting (R₃-R₄) was when the plant presents the greatest percentage of water, declining gradually during the grain-forming phase (R₅). Overall, no water deficiency occurred in the mean soil water balance. Precipitation was greater than the amount necessary to compensate for evapotranspiration and supply adequate water storage, creating a surplus of water in the soil.

Keywords: Soybean. Water balance. Amazonia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	LANDSAT ilustração do “Arco do Desmatamento”.....	26
FIGURA 2	Componentes do ciclo hidrológico.....	29
FIGURA 3	Evolução da soja no Brasil.....	52
FIGURA 4	Produção de soja por Estado do Brasil no ano agrícola de 2006.....	67
FIGURA 5	Maiores produtores de soja do Brasil no ano agrícola de 2006.....	68
FIGURA 6	Produtores de soja do Estado do Pará em hectares (ha) e toneladas (t) em 2006.....	68
FIGURA 7	Localização do Município de Paragominas onde está instalado o sitio experimental.....	69
FIGURA 8	Localização do centro de Paragominas à plantação de soja.....	71
FIGURA 9	Área de estudo do experimento CT-HIDRO 2006.....	71
FIGURA 10	Torre onde está localizada a Estação Meteorológica Automática (EMA), na plantação de soja da Fazenda Boi Branco (Paragominas-PA).....	74
FIGURA 11	Exemplos de estádios fenológicos de soja, variedade BRS Candéia	77
FIGURA 11	Continua.....	78
FIGURA 12	Infiltrômetro de anel utilizado para a medida da infiltração de água na plantação de soja em Paragominas-PA.....	79
FIGURA 13	Pluviômetro instalado na EMA, localizada na plantação de soja (Paragominas-PA).....	81

FIGURA 14	Sistema de calhas utilizado para a medida da interceptação de água na plantação de soja.....	82
FIGURA 15	Parcela utilizada para a medida do escoamento superficial da água na plantação de soja.....	83
FIGURA 15	Continua.....	84
FIGURA 16	Sensor de umidade do solo (TDR), instalado na plantação de soja, no município de Paragominas-PA.....	89
FIGURA 17	Precipitação pluviométrica total durante o experimento CT-HIDRO em 2006, até 15 de junho, comparada a média climatológica observada entre (1980-1988) para o município de Paragominas.....	93
FIGURA 18	Distribuição diária das chuvas nos meses do cultivo da soja em 2006.....	94
FIGURA 19	Comportamento da interceptação da água da chuva e escoamento superficial de acordo com a intensidade pluviométrica.....	98
FIGURA 20	Curva dos valores médios da taxa de infiltração (V_i) e infiltração acumulada (V_a) medidas em campo.....	103
FIGURA 21	Velocidade de infiltração (média) obtida em campo e os cálculos pela regressão linear.....	105
FIGURA 22	Evapotranspiração de referência (E_{to}) e máxima da cultura (E_{tc}) para as fases fenológicas da soja em 2006.....	107
FIGURA 23	Comportamento diário da radiação incidente e da precipitação de acordo com as fenofases.....	107
FIGURA 24	Evapotranspiração da cultura (E_{tc}) média para as fases fenológicas.....	108
FIGURA 25	Representação gráfica dos coeficientes de cultura (K_c), da literatura e calculado.....	109
FIGURA 26	Evapotranspiração da cultura: calculada por Bohen, Fehr & Caviness (1977) e Doorenbos & Kasam (1984).....	111

FIGURA 27	Valores diários da umidade volumétrica do solo na camada de 30cm abaixo da superfície sob a monocultura da soja e totais diários de precipitação de acordo com DAS.....	113
FIGURA 28	Valores diários da umidade volumétrica do solo para os meses do experimento em 2006.....	114
FIGURA 29	Quantidade de água na planta (%) de acordo com a fase fenológica vegetativa (V), florescimento (R ₁ -R ₂), frutificação (R ₃ -R ₄), granação (R ₅), vagem cheia (R ₆), início da maturação (R ₇) e maturação plena (R ₈), relacionada com os dias após o semeio (DAS).....	116
FIGURA 30	Quantidade do teor relativo de água na planta relacionada a partição e fase fenológica.....	117
FIGURA 30	Continua.....	118
FIGURA 30	Continua.....	119
FIGURA 30	Continua.....	120
FIGURA 31	Conteúdo de água na planta durante todo o ciclo fenológico.....	121
FIGURA 32	Valores médios dos componentes do balanço de água armazenamento de água (ARM), armazenamento do dia anterior (ARM _{i-1}), precipitação (P _i), interceptação (I _d _i), evapotranspiração da cultura (ET _c _i), escoamento superficial (E _{sc} _i) e conteúdo de água retido pela cultura (C _i).....	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Reservas de água do ciclo hidrológico.....	28
TABELA 2	Características agrônômicas e morfológicas da cultivar BRS Candeia, que constam dos descritores do registro no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares.....	64
TABELA 3	Cultivares de soja inscritas no Registro Nacional de Cultivares e indicadas para o Estado do Pará - Safra 2005/06.....	73
TABELA 4	Instrumentação instalada na torre meteorológica automática.....	74
TABELA 5	Estádios vegetativos e reprodutivos da soja.....	75
TABELA 6	Fenofase da soja para a variedade BRS Candeia no ano agrícola de 2006 no município de Paragominas-PA.....	92
TABELA 7	Interceptação e escoamento superficial em 1m ² de área, de acordo com a quantidade e característica da chuva e IAF nas fases fenológicas analisadas em campo durante o projeto CT_HIDRO.....	96
TABELA 8	Média de interceptação e escoamento superficial nos estádios fenológicos avaliados no campo experimental.....	97
TABELA 9	Comparativo dos valores (%) obtidos de precipitação interna (P _i), interceptação (I) e escoamento pelos troncos (S _i) para estudos realizados em diferentes sítios florestais na Amazônia brasileira...	100

TABELA 10	Valores sazonais de precipitação (P), e interceptação (I), durante os períodos chuvoso (18 de março a 27 de junho) e o seco (02 de agosto a 28 de novembro) de 2004 para floresta de Caxiuanã; e para cultura da soja em Paragominas (05 de fevereiro a 15 de junho de 2006).....	101
TABELA 11	Relação entre a cobertura florestal e o escoamento superficial.....	102
TABELA 12	Momentos estatísticos dos dados de velocidade de infiltração (V_i) e infiltração acumulada de água no solo (V_a), e desvio padrão (DVP).....	104
TABELA 13	Evapotranspiração para floresta e soja.....	112
TABELA 14	Valores máximo, médio e mínimo da umidade volumétrica do solo em Paragominas para os meses de fevereiro a meados de junho de 2006.....	114
TABELA 15	Valores sazonais de umidade do solo nos sítios de floresta (Caxiuanã) e agricultura (Paragominas).....	115
TABELA 16	Armazenamento de água final no solo (ARM), Armazenamento de água inicial (ARM_i), Precipitação (P_i), Interceptação (I_i), Evapotranspiração da cultura (Et_i), Infiltração (I_i), Escoamento superficial (Esc_i), e Conteúdo de água retido pela cultura (C_i), para as fases fenológicas estudadas.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C – antes de Cristo

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ARM – Armazenamento de água no solo

ARM_{i-1} – Armazenamento de água do dia anterior

BA - Bahia

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COOPARÁ – Cooperativa Agro-industrial do Nordeste do Pará

CT-HIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

DAS – Dia Após o Semeio

DEA – Departamento de Engenharia Agrícola

DPI – Divisão de processamento de Imagens

EMA – Estação Meteorológica Automática

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET_c – Evapotranspiração da Cultura

ET_{c_i} – Evapotranspiração da Cultura do Dia

ET_m - Evapotranspiração Máxima da Cultura

ET_o – Evapotranspiração Potencial de Referência

ET_r – Evapotranspiração real

ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Esc_i – Escoamento Superficial do dia

exp - exponencial

FAEPA – Federação de Agricultura do Estado do Pará

FAO – Food and Agriculture Organization

GO - Góias

i - dia

IAF – Índice de Área Foliar

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Id_i – Total interceptado de água da chuva pelo dossel do dia

INPE – Instituto de Nacional Pesquisas Espaciais

kg - Quilograma

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

Min – minuto

MG – Minas Gerais

MS – Mato Grosso do Sul

MT – Mato Grosso

n – número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico

PA – Pará

P_i – Precipitação pluviométrica total do dia

PDC – Planta de Dias Curtos

PIB – Produto Interno Bruto

PRONAF – Programa de Agricultura Familiar

PR - Paraná

PROTERRA – Programa de Redistribuição de Terras e Estímulo a Agroindústria do Norte e Nordeste

R – Reprodutiva

R_1 – Início do Florescimento

R_2 – Pleno Florescimento

R_3 – Início da Formação de vagens

R_4 – Plena Formação das Vagens

R_5 – Início do Enchimento das Vagens

R_6 – Pleno Enchimento das Vagens

R_7 – Início da Maturação

R_8 – Maturação Plena (Colheita)

RADAMBRASIL – Radar na Amazônia Brasileira

RS – Rio Grande do Sul

s – Segundo

S – Sul

SAGRI – Secretaria Executiva de Agricultura

SC – Santa Catarina

S_i – Escorrimento pelos troncos (Stemflow)

SPD – Sistema de Plantio Direto

SP – São Paulo

SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

t - Tonelada

T – Temperatura do Ar
T_i – Throughfall do dia
TDR – Reflectometria no Domínio do Tempo
TO - Tocantins
UR – Umidade Relativa do Ar
V – Vegetativa
V_a – Infiltração acumulada de água no solo
V_C – Estádio de Cotilédone
V_E – Emergência
V_i – Velocidade de infiltração de água no solo
V₁ – primeiro nó
V₂ – segundo nó
V₃ – terceiro nó
V_n – enésimo nó
W - Oeste

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
C_i	Conteúdo de água retido pela soja do dia
cm	Centímetro
CO_2	Gás carbônico
e_a	Pressão atual do vapor d'água
e_s	Pressão de saturação de vapor d'água
G	Fluxo de calor sensível no solo
g	Gramma
h	Hora
ha	Hectare
km	Quilômetro
Km^2	Quilômetro Quadrado
Km^3	Quilômetro cúbico
Kc	Coeficiente de cultura
KPa	Quilopascal
m	Metro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
MJ	Megajoule
R_n	Radiação líquida
S	Inclinação da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água, no ponto dado pela temperatura do ar
U_2	Velocidade do vento a 2 metros de altura
γ	Coeficiente psicrométrico
%	Porcentagem
Δh	Diferença entre os valores seqüenciais de cada leitura (carga de água)
Δt	Variação do tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	OBJETIVOS	25
2.1	OBJETIVO GERAL.....	25
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA & REVISÃO DE LITERATURA	26
3.1	O CICLO HIDROLÓGICO.....	26
3.1.1	Precipitação	30
3.1.2	Interceptação pluviométrica pela vegetação	32
3.1.3	Evapotranspiração	34
3.1.4	Infiltração	36
3.1.5	Escoamento superficial (runoff)	40
3.1.6	Armazenamento de água no solo	41
3.2	CONTEÚDO DE ÁGUA RETIDO PELA PLANTA.....	45
3.3	BALANÇO DE ÁGUA.....	47
3.4	A CULTURA DA SOJA (<i>Glycine max</i> (L) Merrill).....	50
3.4.1	Histórico	50
3.4.2	Características fisiológicas	54
3.4.3	Fenologia, crescimento e desenvolvimento da soja	55
3.4.4	Exigências climáticas	58
3.4.4.1	Exigências hídricas.....	59
3.4.4.2	Exigências térmicas e fotoperiódicas.....	61
3.4.5	Cultivar BRS candeia	63
3.5	SOLOS.....	65
3.6	PRODUÇÃO DE GRÃOS E SOJA EM 2006.....	66
4	MATERIAL E MÉTODOS	69
4.1	DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA.....	69
4.2	IDENTIFICAÇÃO DO SÍTIO EXPERIMENTAL.....	70
4.3	IMPLANTAÇÃO DA CULTURA.....	72
4.4	COLETA DE DADOS.....	73
4.4.1	Estação meteorológica automática (EMA)	73

4.4.2	Fenologia	75
4.4.3	Infiltração	78
4.4.4	Balanco de água no solo	80
4.4.4.1	Precipitação.....	81
4.4.4.2	Interceptação.....	81
4.4.4.3	Escoamento superficial de água no solo.....	83
4.4.4.4	Evapotranspiração.....	84
4.4.4.5	Umidade do solo.....	88
4.4.4.6	Conteúdo de água retido pela soja.....	89
4.4.4.7	Índice de área foliar (IAF).....	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
5.1	FENOLOGIA.....	92
5.2	PRECIPITAÇÃO.....	93
5.3	INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELO DOSSEL, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E IAF.....	95
5.4	INFILTRAÇÃO.....	103
5.5	EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	106
5.6	UMIDADE DO SOLO.....	112
5.7	CONTEÚDO DE ÁGUA ATRAVÉS DA BIOMASSA.....	116
5.8	O BALANÇO DE ÁGUA.....	122
6	CONCLUSÕES	126
	REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

A Região Amazônica ocupa uma área total de 6.925.674 km², desde a nascente do rio Amazonas nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico, ao norte do Brasil, abrangendo 63,88% do território brasileiro. É dona da mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, apresentando cerca de 20% de disponibilidade mundial de água doce.

A partir da década de 70, a região amazônica vem sendo objeto de atenção pela expansão da fronteira agropecuária brasileira, através do arco do desmatamento, uma faixa do território que se estende pelo sul da região, desde o Maranhão, percorrendo o Pará, Tocantins, Mato Grosso, Rondônia e terminando no Acre. Atualmente, no Pará, um dos principais fatores de pressão na Amazônia é o crescimento da fronteira agrícola, o que vem preocupando a sociedade. O impacto ambiental produzido no bioma amazônico decorrente da atual expansão dessa fronteira, motivada principalmente pela produção de grãos, com destaque para o avanço da monocultura da soja, possui grande extensão regional e reveste-se de elevada importância, pois a alteração da cobertura e no uso da terra influencia sobremaneira a hidrologia e o clima da região amazônica. Segundo Mueller (1992), citado por Ponte de Souza et al. (2007b), essa rápida expansão da soja no país foi uma consequência de dois fatores importantes, o apoio do governo Brasileiro e as condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento.

A soja é uma leguminosa de grande importância econômica, constituindo-se em um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira, devido ao seu potencial produtivo, sua composição química e seu valor nutritivo, sendo assim, cultivada sob condições ambientais muito variáveis e predominantemente sem irrigação. Na maioria das vezes está sujeita a déficit hídrico, em maior ou menor amplitude, o que pode afetar seu desenvolvimento e rendimento, sendo, portanto altamente dependente da precipitação pluvial, principalmente devido à distribuição irregular durante o ciclo da cultura.

Novaes (2002) informa que a Amazônia Legal já é responsável pela produção de 20% da soja nacional, tem 11% do rebanho bovino, 13,5% da produção mineral e quase 7% do Produto Interno Bruto (PIB). O impacto destes números é representado pelos 15% dos ecossistemas naturais alterados.

Neste ano, embora com previsões diferenciadas, a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimam o crescimento da safra de soja 2006/2007 em relação a anterior de 52,4 milhões de toneladas colhidas (IBGE, 2006).

A agricultura, entre todas as atividades econômicas, é a que apresenta maior dependência das condições meteorológicas, e estas são as principais responsáveis pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas em todo o Brasil. As relações entre os parâmetros climáticos e a produção agrícola são bastante complexas, pois os fatores ambientais podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas nas diversas fases do ciclo da cultura (MORAES et al., 1998).

A dinâmica do uso e ocupação do solo na Amazônia tem despertado atenção quanto aos potenciais e efetivos impactos resultantes da intensificação de atividades transformadoras do meio ambiente, como a exploração vegetal, exploração mineral, pecuária e a agricultura. Nos últimos anos a Amazônia tem sido alvo de investigações climáticas que tentam relacionar as prováveis alterações do clima com as mudanças do uso da terra pelas ações do homem desde o séc. XIX.

O aumento da população mundial não deixa dúvidas quanto a necessidade de um aumento substancial na produção de alimentos. Nesta conjuntura, a premissa de que a produção vegetal é o resultado de relações interdependentes do sistema solo-atmosfera com a planta, leva a concluir que é indispensável o estudo de diversos fatores correlacionados nesse meio, quando se procura o aumento da produtividade agrícola.

A água, sendo um dos elementos abióticos mais importantes na composição dos ecossistemas, interliga fenômenos da atmosfera interior e da

litosfera, interferindo na vida vegetal, animal e humana, a partir da interação com os demais elementos do ambiente. Esta água está em constante movimento no sistema terra - atmosfera, definido pelo ciclo hidrológico.

Na região amazônica e principalmente nas áreas de expansão da fronteira agrícola, existem poucos trabalhos que abordem estudos relacionados ao ciclo da água na cultura de soja, que nos assegurem um maior aproveitamento da cultura, maximizando um potencial da área plantada, assim como, uma elevada produção de grãos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento dos sistemas hídricos para determinação do balanço de água no cultivo da soja, ampliando os conhecimentos sobre os efeitos da modificação dos ecossistemas em áreas do avanço da fronteira agrícola.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar e avaliar a precipitação, interceptação de água da chuva, escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento de água no solo e conteúdo de água da planta, no agroecossistema de produção de soja;
- Avaliar a necessidade hídrica da cultura, através da evapotranspiração, de acordo com a fase de desenvolvimento;
- Avaliar através do balanço de água a existência de deficiência hídrica, através do armazenamento de água no solo e os impactos nos recursos hídricos associados à conversão de floresta.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

A região amazônica é conhecida mundialmente por sua disponibilidade hídrica e pela diversidade de ecossistemas. Uma das características dessa região diz respeito ao desmatamento florestal observado, o equivalente a 17% da área de floresta da Amazônia, conhecido como “Arco do Desmatamento” (Figura 1), uma faixa contínua de 3.000km de extensão e até 600km de largura, que se inicia no Maranhão, estendendo-se ao nordeste do Pará, ao leste do Acre, atravessando os estados do Mato Grosso e Rondônia. No Estado do Pará, a floresta vem sendo derrubada para projetos agropecuários e agrícolas, com destaque para o avanço da monocultura da soja em área de floresta nativa e em substituição a área de pastagens.

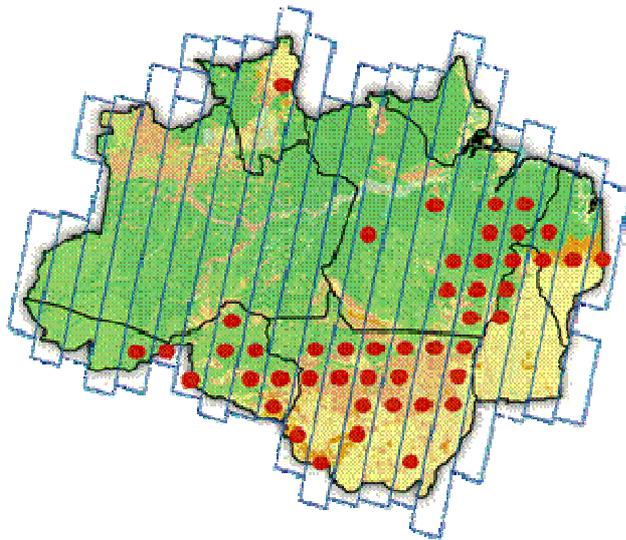


Figura 1: LANDSAT ilustração do “Arco do Desmatamento”
Fonte: DPI/INPE.

3.1 O CICLO HIDROLÓGICO

Várias definições de hidrologia já foram propostas. O Webster's Third New International Dictionary descreve hidrologia como sendo “a ciência que trata das propriedades, distribuição e circulação da água; especificamente, o estudo da água

na superfície da Terra no solo, rochas e na atmosfera, particularmente com respeito à evaporação e precipitação”.

O Painel Ad Hoc em Hidrologia do Conselho Federal para Ciência e Tecnologia, EUA, recomendou a seguinte definição: “hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físico-químicas e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com a vida. O domínio da hidrologia abraça toda a história da água na Terra”.

A água proveniente da precipitação pode seguir diferentes caminhos, ora transformando-se em escoamento superficial (vazão) que irá alimentar os rios e canais, ora evaporando-se a partir das superfícies do solo ou das copas das árvores, ou indo alimentar os aquíferos permanecendo armazenada por longo tempo.

A circulação da água dos oceanos e das superfícies terrestres (continentais) para a atmosfera e o retorno desse fluxo cria uma fonte ilimitada de água em termos globais. Ela constitui a maior circulação de matéria dentro do sistema terra-atmosfera, como um processo último de reciclagem para a purificação da água através de processos de precipitação, geração de deflúvio superficial ou runoff e evaporação. A quantidade total de água sobre a terra permanece constante em escalas de tempo de milhares de anos, entretanto, muda de estado entre sua forma líquida, sólida e gasosa quando se move através do sistema hidrológico. A água disponível para uso na superfície da terra da qual a humanidade, a economia e a indústria dependem, constitui apenas uma fração da água total da terra, e é renovada pelo ciclo hidrológico.

Segundo Peixoto e Oort (1992), a hidrosfera consiste de vários reservatórios conectados pela transferência de água em várias fases, exercendo um papel central no sistema climático da terra. Os cinco reservatórios de água são: os oceanos, as geleiras e depósitos de neve, a água terrestre, a atmosfera e finalmente a biosfera. Uma grande quantidade de água está continuamente em movimento no sistema climático.

De acordo com Carriello (2004) o volume total global de água na hidrosfera é estimado entre 1,38 a 1,51 bilhões de km³. Para fins práticos, em termos globais, o volume de água é finito; porém, o ciclo hidrológico torna o suprimento ilimitado. Tucci (2002) descreve na Tabela 1, o estoque de água do ciclo hidrológico.

Tabela 1: Reservas de água do ciclo hidrológico

Fonte	Volume (Km ³)	%
Oceano	1350	97,5708
Geleiras	25	1,80685
Água subterrânea	8,4	0,60710
Rios e lagos	0,2	0,01445
Biosfera	0,0006	0,00004
Atmosfera	0,013	0,00094
TOTAL	1.383,61	100

Fonte: Tucci (op.cit).

O ciclo hidrológico é um processo cíclico e contínuo de transporte das águas da Terra, interligando atmosfera, continentes e oceanos. Trata-se de um processo complexo, que tem como fonte de energia o Sol, contendo muitos subciclos. Como praticamente todo o fornecimento de água doce é resultante da precipitação proveniente da evaporação das águas marítimas, o ciclo hidrológico pode ser entendido basicamente como o processo de transferência da água dos mares para os continentes e seu retorno aos mares. O fornecimento de água para a terra é dependente deste ciclo hidrológico. O excesso de precipitação sobre a evapotranspiração nas áreas continentais suporta o retorno da água dos continentes para os oceanos através dos rios. Por isso, o ciclo hidrológico, junto com a radiação solar, são as fontes relevantes para a produção biológica primária.

O ciclo hidrológico só é fechado a nível global, pois os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos ininterrupto, com dinâmicas diferentes, na atmosfera, e também na superfície terrestre.

A descrição do ciclo, mostrado na Figura 2, começa quando o vapor d'água que tem origem na evaporação das águas dos mares é transportado para os continentes pelo movimento das massas de ar; uma vez na atmosfera, o vapor d'água pode ser transportado horizontalmente para grandes distâncias e movido para cima. A circulação horizontal e vertical do vapor d'água são críticos para o balanço de água das áreas continentais, pois aproximadamente 1/3 da precipitação que cai sobre as áreas continentais da Terra é água que foi evaporada das áreas oceânicas e então transportada para os continentes na atmosfera. Se o vapor for resfriado até o seu ponto de orvalho, ele se condensa na forma de pequenas gotas visíveis, vindo a constituir as nuvens, as quais, sob condições meteorológicas favoráveis, avolumam-se e, sob a ação da gravidade, precipitam-se. À medida que as chuvas caem, parte delas é interceptada pela vegetação e evaporada. Parte da precipitação que atinge a superfície do solo é devolvida para a atmosfera por evaporação, a partir das superfícies líquidas, do solo, da vegetação, e da transpiração dos seres vivos. O restante retorna aos mares por vias superficiais, subsuperficiais e subterrâneas.

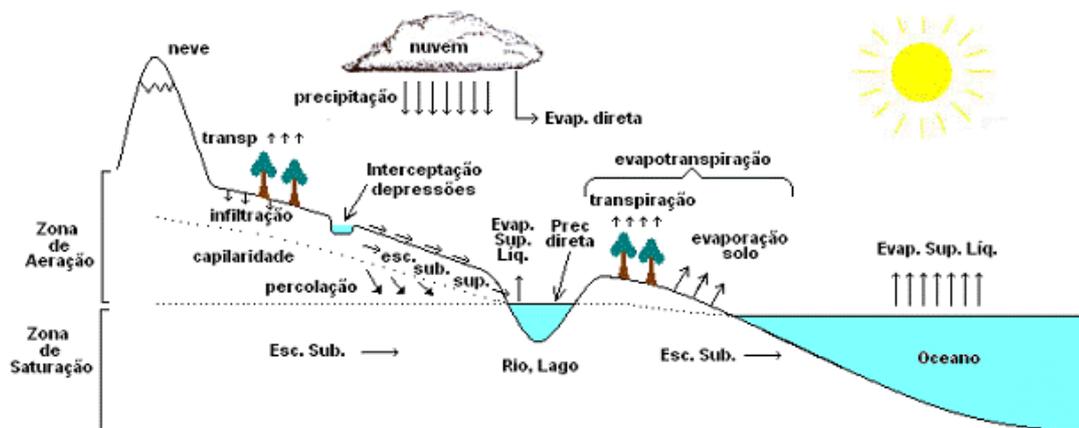


Figura 2: Componentes do ciclo hidrológico
Fonte: Adaptada de Tucci (1997).

De acordo com Carriello (2004), o ciclo hidrológico possui duas divisões principais: o ramo terrestre e o ramo atmosférico. O ramo terrestre consiste de entradas (precipitação, degelo, deposição), saídas (evapotranspiração e escoamento superficial) e estoque de água em várias formas nos continentes e oceanos; enquanto o ramo atmosférico consiste de transporte atmosférico de água, principalmente na forma de vapor. As duas divisões do ciclo hidrológico se unem na

interface entre as superfícies atmosférica e terrestre (nesta superfície incluindo o oceano).

Entre os fatores que colaboram para que haja uma grande variabilidade nas manifestações do ciclo hidrológico, nos diferentes locais do globo terrestre, pode-se enumerar a desuniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais, o desigual comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos, a quantidade de vapor de água, CO₂ e ozônio na atmosfera, a variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais, e a influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica, sendo esta última a razão da existência das estações do ano.

3.1.1 Precipitação

Conceitua-se como sendo toda água, no estado líquido ou no estado sólido, que cai da atmosfera para a superfície terrestre. A precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui-se, portanto em um fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, água subterrânea e vazão dos rios. De um modo geral, cerca de 25% da precipitação anual global torna-se disponível para o escoamento de rios, a maior parte dela retorna à superfície através da evapotranspiração. A precipitação, na sua forma mais comum é a chuva.

Caindo sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre interceptação em folhas e caules, de onde evapora, excedendo a capacidade de armazenar água no dossel dos vegetais, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode-se reprecipitar para o solo.

Existem dois grupos distintos de processos físicos que formam a precipitação: condensação e o crescimento das partículas de água por coalescência; e o processo de resfriamento que envolve a formação e crescimento de cristais de gelo. Estes processos demandam o suprimento de umidade, movimentos verticais

ascendentes e colisão entre partículas de água e cristais, e desta forma a precipitação pode chegar à superfície terrestre na forma de chuvisco, chuva, neve ou granizo.

Os elementos climáticos variam com o tempo, fazendo com que a exploração agrícola esteja sempre sujeita a incertezas. Dentre os fatores meteorológicos, a precipitação apresenta grande variabilidade espaço-temporal, cuja estimativa constitui-se uma das principais fontes de erro em planejamentos agropecuários.

A chuva é um dos elementos climáticos de maior importância para a agricultura, porque influencia em todos os estágios de desenvolvimento das plantas (BASTOS et al., 1990; MARION¹, 2004 apud JACKSON, 1979; SOME, 1991), sendo essencial para o crescimento, com importante papel na fotossíntese e, portanto na produção. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia porque, ao contrário das regiões fora dos trópicos, onde o cronograma agrícola é determinado pelas temperaturas, o elemento regulador da agricultura é a chuva, dada a sua função na disponibilidade de água para as plantas durante o ano.

A chuva é a principal fonte de água para a maioria da produção de soja no mundo, visto que somente uma pequena parcela dos produtores utiliza irrigação com o objetivo de suprir a demanda nos períodos críticos (FARIAS, 1994).

A variabilidade espacial, temporal e quantitativa da chuva pode influenciar na produtividade do cultivar por excesso ou deficiência hídrica de acordo com subperíodos/estádios de desenvolvimento do cultivo que apresentam quantitativos mínimos para a satisfação hídrica da planta.

Diversos trabalhos indicam que a baixa disponibilidade hídrica, provocada pela baixa quantidade e/ou má distribuição das chuvas, é o principal fator limitante ao rendimento de grãos da cultura da soja. (BERLATO, 1987; CUNHA ; HAAS;

¹MARION, E. **Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento dos grãos de soja**. 2004, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC, Florianópolis-SC, 2004.

DALMAGO, 1998; MOTA; AGENDES; ALVES, 1991; MOTA; AGENDES; SILVA, 1996; MATZENAUER et al., 1998).

De acordo com Farias, Neumaier e Nepomuceno (1992), o Rio Grande do Sul é o estado da Região Sul que tem apresentado os maiores prejuízos devido às secas. Segundo os autores, nos anos de 1979, 1986, 1988 e 1991 verificaram-se perdas na produção de soja na ordem de 38, 36, 37 e 58%, respectivamente, em relação a anos imediatamente anteriores ou posteriores, onde condições normais de disponibilidade hídrica estavam presentes.

3.1.2 Intercepção pluviométrica pela vegetação

A intercepção da chuva pela copa é um fenômeno que ocorre nos dosséis de uma vegetação, onde a água precipitada é interceptada pelos ramos, folhas, caule, frutos e flores dessa vegetação, que pode ser uma floresta ou uma cultura agrícola, e pode ser evaporada pela ação da radiação e do vento tão logo ela ocorre se a precipitação for de pequena intensidade. A redução da intercepção de água pela copa depende de variáveis como a quantidade e frequência de chuvas; capacidade de estoque hídrico e taxa de secagem da copa; tipo e idade das copas e disposição dos galhos/copas.

Horton (1919) foi um dos primeiros a apresentar resultados e equações para descrever o comportamento da intercepção vegetal, relacionando o volume interceptado durante uma enchente com a capacidade de intercepção da vegetação e a taxa de evaporação.

Quando se inicia a chuva, a água molha a superfície das folhas sendo armazenada nas concavidades das mesmas, gastando certa quantidade que fica aderida a enorme superfície foliar. Se continuar, a capacidade de intercepção é ultrapassada, e toda a água que chega as folhas e caules goteja e escoar; simultaneamente, processa-se uma parcela continua por evaporação a partir das folhas úmidas. Na presença de vento, esse processo pode ser acelerado,

aumentando as perdas por interceptação. Segundo Wigham (1970), a intensidade do vento é o fator climático mais significativo na interceptação.

A precipitação através do dossel, designada precipitação interna (Throughfall) é a parte da chuva que cai diretamente ou goteja das folhas, caules, flores, frutos e ramos.

A água interceptada pelas copas é importante também porque implica em uma umidade não uniforme do solo, inibe a transpiração de água e reduz a umidade do solo. A taxa de evaporação pode ser mais alta do que a taxa de transpiração em um mesmo clima e pode constituir um grande componente do balanço de água; portanto, não pode ser omitida nas trocas de água, especialmente em períodos após uma chuva quando a vegetação está molhada. A interceptação é bastante eficiente para chuvas fracas e pouco eficiente em chuvas fortes.

A diminuição da eficiência na interceptação seja pela ocorrência de chuvas antecedentes, seja pela elevada quantidade precipitada, tende a igualar a quantidade de água que chega ao solo, independentemente do tipo de cobertura vegetal existente.

O tipo de vegetação caracteriza a quantidade de gotas que cada folha pode reter e a densidade da mesma indica o volume retido numa superfície. As folhas geralmente interceptam a maior parte da precipitação, mas a disposição dos troncos contribui significativamente.

É importante o conhecimento da interceptação em diferentes estações do ano. Em grande parte da região amazônica observa-se através dos índices de precipitação em um ano, duas estações bem definidas, a seca, onde os índices de precipitação mensais desta são baixos comparativamente a outra parte do ano, que define a estação úmida (UBARANA, 1994). Tucci (1993) informa que a interceptação da chuva pelo dossel depende de vários fatores, como a características da precipitação e condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e época do ano.

3.1.3 Evapotranspiração

Uma informação necessária para o cálculo do balanço hídrico é a evapotranspiração, e em relação ao processo físico, evaporação e evapotranspiração dizem respeito ao mesmo fenômeno, que é a mudança de fase da água, da fase líquida para a de vapor transferida à atmosfera, em razão do ingresso de energia no sistema, geralmente a radiação solar. Esta transferência ocorre fisicamente, nas formas de difusão molecular e turbulência, constituindo-se assim um importante componente do ciclo hidrológico da natureza, de fundamental importância nos diversos campos de atividades humanas que tratam da utilização e manejo da água. Entretanto, no estudo da evaporação, considera-se apenas a água perdida pelo solo, e por superfícies úmidas (vegetadas ou não) e de água livre, e a transpiração, a perda de água pelo solo, folhas e caules das plantas, isto é, evapotranspiração é a perda conjunta de água pelo solo e pela planta.

A existência de vegetação diminui as perdas por evaporação da superfície do solo. Essa diminuição é compensada pela ação da transpiração vegetal, podendo mesmo aumentar a perda total por evaporação do solo provido de vegetação.

Segundo Jones (1999), a transpiração é controlada por muitas variáveis, dependendo de aspectos dinâmicos da atividade da planta tais como: plantas de espécies diferentes transpiram de modo diferente por causa da quantidade de estômatos que variam em tamanho, densidade, localização ou exposição destes; estação do ano; período do dia; estágio do crescimento (plantas mais nova em atividade ou crescimento transpiram mais); fatores meteorológicos (afetam a abertura dos estômatos, por exemplo, em ventos fortes, o estômato tende a fechar para reduzir danos por perdas de água, por outro lado, quando há alta umidade, as plantas podem continuar a perder água exsudando líquido para manter o movimento da seiva); propriedades dos solos (afetam a retirada de água do solo pelas plantas, em que, solos argilosos tendem a dificultar a retirada de água mais do que solos arenosos).

Os processos da evapotranspiração e da produção fotossintética estão relacionados (HANKS; RASMUSSEN, 1982). A fotossíntese torna-se limitada quando ocorre déficit hídrico, devido ao fechamento dos estômatos e a redução em outras atividades da planta, como os processos de transporte, que permitem a disponibilidade de CO₂ para a fotossíntese e fornecem água para a evapotranspiração. Assim, a produção pode ser estimada como função da taxa de evapotranspiração (MORAES et al., 1998).

A evapotranspiração diária de cada espécie depende do estágio de desenvolvimento das plantas e da demanda evaporativa da atmosfera, e seu valor absoluto varia, portanto, em função das condições climáticas de cada região, em função do ano e da época de semeadura na mesma região. Desta forma, os principais elementos meteorológicos determinantes da demanda evaporativa da atmosfera, e, portanto, da evapotranspiração das culturas, são a radiação solar, a temperatura, a umidade do ar e o vento (CHANG, 1968; BERLATO; MOLION, 1981; STEWART, 1983). Desta maneira, a efetivação total do acontecimento da evapotranspiração é condicionada por fatores climáticos, do solo e da própria planta.

Vários autores, Gancopadhyaya et al., (1966); Vila Nova (1967); Chang (op.cit); Dylla, Tommons e Saull, (1980); Berlato e Molion (1981); Shaw (1983); Rosenberg, Blad e Verma (1983); Klar (1984) e Pereira, Vila Nova e Sedyama (1997), descrevem diferentes técnicas de medidas e estimativas da transferência de vapor d'água da superfície para a atmosfera. Dadas as dificuldades instrumentais normalmente envolvidas nas determinações direta e indireta da evapotranspiração em condições naturais, os métodos empíricos que utilizam dados climáticos, têm sido empregados em condições agronômicas e climáticas diferentes daquelas onde tais modelos foram originalmente desenvolvidos (COSTA; LOUREIRO; BRAGA 2000).

A Evapotranspiração da Cultura (ET_c), é a quantidade de água utilizada (perdida) por uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde o plantio/semeadura, até a colheita, quando não houver restrição hídrica. É também chamada Evapotranspiração máxima de cultura. Para se avaliar a ET_c, devemos repor a água que foi consumida pela cultura de interesse econômico e este consumo

varia em função do estágio de desenvolvimento da cultura e de cultura para cultura. Assim, a ET_c pode ser obtida multiplicando-se a evapotranspiração potencial pelo coeficiente de cultura – K_c (EVAPOTRANSPIRAÇÃO, 2006).

A sensibilidade da soja ao déficit hídrico, em termos de rendimento de grãos, aumenta à medida que a planta avança em suas fases de crescimento e desenvolvimento, apresentando menor sensibilidade durante o período vegetativo e maior sensibilidade durante o crescimento dos legumes e grãos (SHAW; LAING, 1966; DOSS; PEARSON; ROGERS, 1974; HILL; JOHNSON; RYAN, 1979). De acordo com Berlato (1987), o período reprodutivo da soja é o mais crítico em relação ao déficit hídrico.

Matzenauer, Machado e Rosa (1996), determinaram que os valores médios de evapotranspiração total no ciclo completo da cultura variaram de 664 mm na época de semeadura de dezembro para os municípios de Cruz Alta, a 930 mm na época de semeadura de outubro para Júlio de Castilhos, ambos no Rio Grande do Sul.

3.1.4 Infiltração

É a passagem de água da superfície para o interior do solo. Pode-se definir também como sendo o fenômeno de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através de vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte que a retém, formando então a água do solo (PINTO et al., 1976). A infiltração da água no solo seja talvez o processo mais importante dentro do balanço hídrico (JONES, 1999).

A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo, devendo ser quantificada por meio de métodos simples e capazes de representá-la, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo.

São vários os fatores que afetam o processo de infiltração, dentre os quais se destacam as condições da superfície do solo; o conteúdo inicial de água no perfil do solo; o tempo de infiltração; a existência de camadas menos permeáveis ao longo do perfil; a topografia do terreno e as propriedades físicas do solo (BERNARDO, 1986; DAKER, 1988; HILLEL, 1970; REZENDE; SCALOPPI, 1985), assim como também da natureza, permeabilidade e temperatura do solo; presença de rachaduras; método de preparo do solo; profundidade do extrato impermeável; da quantidade de ar inicialmente presente no seu interior e da quantidade de água disponível para infiltrar.

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto existir aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar. Normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue apenas as camadas próximas à superfície, moldando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade.

Quando o aporte de água à superfície cessa, isto é, deixa de haver infiltração, a umidade no interior do solo se redistribui, evoluindo para um perfil de umidade inverso, com menores teores de umidade no nível próximo à superfície e maiores nas camadas mais profundas. Nem toda umidade é drenada para as camadas mais profundas do solo, pois parte é transferida para a atmosfera por evapotranspiração.

Se uma precipitação atinge o solo com intensidade menor que a capacidade de infiltração, toda água penetra no solo, provocando uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração, já que o solo está se umedecendo. Se a precipitação continuar, pode ocorrer, dependendo da sua intensidade, um momento em que a capacidade de infiltração diminui tanto que sua intensidade se iguala à da precipitação. A partir deste momento, mantendo-se a precipitação, a infiltração real se processa nas mesmas taxas da curva da capacidade de infiltração, que passa a decrescer exponencialmente no tempo tendendo a um valor mínimo de

infiltração. A parcela não infiltrada da precipitação forma filetes que escoam superficialmente para áreas mais baixas, podendo infiltrar novamente se houver condições.

Walker e Skogerboe (1987) e Frizzone (1993), consideram a infiltração de água no solo difícil de se determinar com precisão, por causa de sua variabilidade espacial e temporal. Pereira (1995) salienta que diversos modelos podem ser utilizados para descrever a infiltração da água e sua distribuição no perfil do solo.

Os métodos mais usados para a determinação da infiltração são: método de entrada e saída de água no sulco, infiltrômetro de anéis e simuladores de chuva, entretanto, segundo Vieira (1977) o infiltrômetro de anéis concêntricos é o mais usado, porém tem suas limitações, quando usado para fins de elaboração de projetos de irrigação por aspersão ou para trabalhos em que os dados gerados se dêem através de precipitações.

A taxa de infiltração é definida como o volume de água que penetra a unidade de superfície por unidade de tempo. No sistema plantio direto, esta pode ser afetada pela palhada deixada na superfície do solo, decorrente da redução do selamento superficial (SIDIRAS; ROTH; FARIAS, 1984), e pela manutenção dos canais contínuos formados pela ação das minhocas e pela senescência das raízes (EHLERS, 1975).

Dentre os atributos físicos, aqueles que se relacionam com a dinâmica da água no solo, como a condutividade e difusividade hidráulica e a taxa de infiltração, exibem uma alta variabilidade espacial (VIEIRA; NIELSEN; BIGGAR, 1980; WARRICK; NIELSEN, 1980). A capacidade de infiltração é a mais alta taxa de água que pode ser absorvida por um solo.

A taxa de infiltração é muito importante para quantificar a parcela de chuva que não infiltra no solo, ocasionando o escoamento superficial. Dependendo da porosidade do solo, onde a presença de argila diminui sua porosidade não permitindo uma grande infiltração; da cobertura vegetal, em que um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado; da inclinação do terreno,

em declividades acentuadas a água corre mais rápido diminuindo o tempo de infiltração; e do tipo de chuva, pois chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é importante para o cálculo do tempo de irrigação, da escolha do método de irrigação, para o projeto do sistema de irrigação (REICHARDT, 1987) e para a definição de práticas de manejo que afetam o fluxo de água e, por consequência, interfere na estabilização das vazões em rios e na disponibilidade de água para irrigação. Apresenta igual valor agrônômico pelo seu papel na formação de enxurrada, agente erosivo, e na determinação de taxas viáveis de irrigação.

A velocidade de infiltração da água é específica para cada solo e quando esta é menor que a intensidade de uma chuva, ocasiona escoamento superficial, (runoff), e início de um processo erosivo do solo, principalmente quando o terreno apresenta declividade acentuada e encontra-se sem cobertura vegetal. De tal maneira que a água penetra mais rapidamente em solos com alta proporção de areia (partículas > 2mm) do que em solos com elevada proporção de partículas de argila (partículas < 2mm). Mas ao secar, as argilas retêm mais água, devido ao seu potencial matricial ou mátrico.

Os colóides minerais e orgânicos do solo promovem uma retenção, por adsorção, da água no solo com uma força maior que a capilaridade. Entretanto, esses dois mecanismos de retenção da água no solo são interdependentes. A água em meniscos capilares está em equilíbrio com a água de filmes de adsorção e a modificação do estado de um deles implica a modificação do outro (REICHARDT; TIMM, 2004). Como a estrutura e a composição da matriz variam de solo para solo, a característica de retenção da água no solo é típica a cada tipo de solo. A união desses dois mecanismos de retenção da água no solo dar-se o nome de potencial mátrico.

3.1.5 Escoamento superficial (runoff)

O escoamento superficial é resultado da água precipitada que não foi interceptada pela cobertura vegetal ou retida sobre a superfície do terreno e não infiltrou e que, conseqüentemente, acaba escoando nos caminhos de maior declividade (TUCCI, 1998).

De acordo com Chow (1964), que também define o escoamento superficial como o runoff, sendo a parte da precipitação, além de qualquer outra contribuição, que surge em correntes de superfícies, seja perene ou intermitente. O runoff superficial, como seu nome já diz, é o fluxo que escorre sobre a superfície e canais.

Sendo impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo, o escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao micro relevo do solo. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia pré-existente, molda, por sua vez, uma micro rede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada por arroios e rios. Teoricamente nas condições naturais o escoamento de água da superfície pode variar de 100% da precipitação, no caso do solo impermeável, e evaporação nula, a 0% da precipitação, no caso, total infiltração e/ou evaporação antes de escoar. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para dificultar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso. A vegetação também diminui a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão.

Chow (op.cit) considera o runoff do ponto de vista hidrológico como produto deste ciclo hidrológico, sendo influenciado por dois grandes grupos de fatores: climáticos e fisiográficos, onde os fatores climáticos incluem principalmente as várias formas e tipos de precipitação, interceptação, evaporação e transpiração, todos apresentando variação sazonal de acordo com os tipos climáticos a que estão submetidos. Os fatores fisiográficos podem ser divididos em fatores de geometria e físicos (relacionados à bacia); geometria - tamanho, forma, declividade, orientação,

elevação, densidade de corrente; e físicos - uso e recobrimento da terra, condições de infiltração da superfície, tipos de solo, entre outros.

A ocorrência de escoamento superficial também depende basicamente das condições iniciais de umidade do solo, do volume, duração e intensidade de chuva, do tipo de cobertura vegetal e das propriedades físicas e hidráulicas inerentes a cada tipo de solo (porosidade, condutividade hidráulica, taxa de infiltração, área, relevo, rugosidade, taxa de impermeabilização, granulometria e densidade de drenagem). Além disso, de acordo com as condições do escoamento e cobertura vegetal do terreno, poderá haver o transporte de partículas do solo, caracterizando a erosão por escoamento superficial.

3.1.6 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo pode ser definido como a máxima quantidade de água, utilizável pelas plantas, que pode ser armazenada na sua zona radicular. Segundo Souza (1989), o solo é o reservatório de água para as plantas, aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, periodicamente reabastecido pela chuva, lençol freático ou irrigação. A capacidade de retenção de água pelo solo está diretamente relacionada a sua matriz e a distribuição espacial dos poros. Esta interação sofre também influência de fatores como: taxas de evaporação e transpiração locais, tipo de cultura estabelecida, densidade de plantio, profundidade e impedimentos à drenagem (CASSEL; NIELSEN, 1986).

O conteúdo de água no solo tem impactos sobre processos atmosféricos, hidrológicos e biológicos e, portanto, afeta a previsão do tempo, os volumes escoados nos cursos de água e a quantificação do estresse hídrico dos cultivos durante a ocorrência de secas (GOUVEIA; ALVALÁ; TOMASELLA, 2002). O conhecimento desse conteúdo de água no solo é importante na dinâmica de solutos, calor, gases e da própria água no solo, porém Libardi (2004) relata que para a determinação do movimento da água e dos solutos no solo e deste para as plantas o

estado energético da água quando se encontra retida no solo é muito mais importante que a quantidade.

A quantidade de água armazenada no solo desempenha um importante papel na interação solo-planta-atmosfera. O estudo e monitoramento desta variável têm grande relevância nos estudos agrometeorológicos, através da disponibilidade hídrica para culturas, e também tem igual importância para estudos micrometeorológicos e ambientais em geral, devido à umidade do solo ser fator fundamental nas trocas de calor sensível e latente com a atmosfera. Além disso, é uma variável indispensável para o entendimento de muitos processos hidrológicos que estão envolvidos em uma grande variedade de processos naturais que atuam em diferentes escalas espacial e temporal (ENTIN et al., 2000; ALVALÁ et al., 2002).

Atualmente a disponibilidade de água do solo às plantas é vista de maneira dinâmica, podendo variar de situação para situação para o mesmo solo e mesma cultura. O conceito baseia-se na mobilidade da água. Toda vez que o fluxo de água do solo para a raiz é de uma intensidade tal que supre a demanda de água da planta e da atmosfera, a água é disponível. A planta entra em déficit de água ou murcha, quando o fluxo deixa de suprir esta demanda (SILVA, 2005). Este conceito de disponibilidade de água é bastante amplo. Ele mostra que qualquer fator que afeta a mobilidade da água afeta sua disponibilidade. Estes fatores podem ser do solo, da planta e da atmosfera.

Muchow; Robertson e Pengelly² (1993, apud PONTE DE SOUZA et al. (2007a), descreve que a disponibilidade de água para a planta, por exemplo, é um dos fatores mais importantes para o seu desenvolvimento, e sob condições ótimas de disponibilidade hídrica, a eficiência do uso da radiação mantém-se praticamente constante ao longo da maior parte do crescimento do vegetal, não sendo afetada pelas condições atmosféricas locais.

²MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; PENGELLY, B.C. Radiation use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.32, p.1-6. 1993.

Reichardt (1978) comenta que a água do solo foi classicamente subdividida de uma forma empírica e qualitativa, em diferentes frações, tais como: água gravitacional; água capilar, água disponível e água higroscópica e mostra que a dinâmica da água no solo é complexa, variando de situação para situação, de acordo com a “história” do perfil de solo, dependendo de inúmeros fatores como heterogeneidade do perfil de solo, tipo de planta, desenvolvimento, atividades radiculares, condições atmosféricas, etc.

Para determinar a quantidade e a disponibilidade de água para as plantas é necessário um conhecimento da dinâmica da água no solo, onde Gouveia, Alvalá e Tomassella (2002) citam que uma das maneiras de se estimar a umidade do solo é através do método do balanço hídrico, onde para a aplicação do balanço hídrico em uma escala regional, faz-se necessário estimar os parâmetros do solo, que são os dados de entrada desse método. O balanço hídrico é um dos métodos utilizados para estimar essa demanda hídrica para os diferentes estádios de desenvolvimento das culturas. Através da equação geral de conservação da massa é possível quantificar a água que entra e sai em um volume de solo durante um determinado período de tempo. Diversos autores citaram essa equação como metodologia para quantificar a água disponível para as plantas, entre eles Rose e Stern (1967); Reichardt et al., (1979); Hillel, (1982); Villagra et al., (1995) e Timm, (2002).

A água disponível no solo para as plantas está relacionada aos seus diferentes estados de energia e deve ser vista, portanto, dentro de um conceito biofísico, onde deverão estar envolvidos a planta com todo o seu sistema radicular e outras propriedades que lhe são inerentes, as condições meteorológicas que determinam seu regime de transpiração das plantas e de evaporação do solo que além de todas as características físicas do solo que interferem nos fatores físicos de crescimento como potencial e conteúdo de água no solo, aeração, resistência à penetração das raízes e temperatura do solo. Com base nessa suposição, é de se esperar, que quanto maior o número de fatores envolvidos no estudo da dinâmica da água no solo, maior será a aproximação com as condições de campo. Entre os vários métodos existentes para avaliar a dinâmica da água no solo e o seu volume disponível para uma determinada cultura, em determinado ecossistema e período de tempo, um dos mais informativos é o balanço da água no campo (SILVA, 2005).

De acordo com Pires et al. (2001), existem vários métodos e instrumentos que podem ser utilizados nas determinações e estimativas para avaliação da água no solo. O método gravimétrico determina diretamente o volume de água do solo que está contido na amostra, por isso é considerado padrão e utilizado na aferição de outros métodos. Dentre os diversos métodos existentes destacam-se o uso de tensiômetros, sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, sonda enviroscan, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada, atenuação de raios gama, dentre outros.

A frequência de água (precipitação ou irrigação) requerida para uma cultura, sob determinado clima, depende grandemente da quantidade de água que pode ser armazenada no solo. Para tanto, faz-se necessário caracterizar a água quantitativamente, para fins de estudo de sua disponibilidade, para as plantas, durante a sua movimentação pelo solo.

Para se reduzir às perdas de água por drenagem e o período de estresse hídrico, necessita-se de uma distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, com aplicações de água em maior frequência e em pequenas quantidades, e aumentando-se assim a eficiência do uso da água.ou com o planejamento certo da época de plantio seguindo o regime de chuvas da região; como por exemplo, a umidade do solo pode aumentar o período de emergência das plântulas quando ocorrer veranico (estiagem) após o plantio ou plantio em solo seco (EMBRAPA, 1999).

A disponibilidade de água é importante principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja, germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. De acordo com EMBRAPA (op.cit), durante o primeiro período o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%. Portanto, a soja deve ser semeada em solo úmido, uma vez que a influência da umidade está relacionada com a profundidade de semeadura. Isto é, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas.

Vários estudos comprovam que o período reprodutivo da soja é o mais sensível à falta de água. No entanto, não há consenso entre os autores quanto ao(s) estágio(s) mais crítico(s) à baixa umidade do solo (BERLATO, 1987; EMBRAPA, 2000), portanto, a necessidade da análise das inter-relações entre os fatores físicos de crescimento das plantas, e as propriedades do solo para definição do teor adequado de água às plantas é um fato incontestável.

3.2 CONTEÚDO DE ÁGUA RETIDO PELA PLANTA

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual, gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Tem, ainda, papel importante na manutenção e distribuição do calor (KUDREV, 1994). Nas células a água apresenta-se na fase líquida, em equilíbrio com o vapor d'água do ar que preenche os vazios. A semente da soja, por exemplo, precisa absorver água equivalente a pelo menos 50% do seu peso seco para assegurar boa germinação (EMBRAPA, 1999).

Através da quantificação da biomassa é possível determinar a quantidade de matéria seca e de água em um determinado estágio fenológico da planta, sendo assim, segundo Russo (1983), um instrumento útil na avaliação de ecossistemas, devido à sua aplicação para inferir produtividade, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenamento de energia solar, informações de grande importância para o manejo de espécies florestais em sistemas de plantios ou em florestas naturais.

O balanço hídrico de uma planta significa a contabilidade entre ganhos e perdas de água nesta, condicionando as variações do armazenamento e do estado hídrico de seus órgãos ao longo do tempo. A variação de armazenamento é consequência da defasagem temporal entre a absorção de água e a perda na fase de vapor pela planta, que conduz ao desenvolvimento de déficits hídricos internos a curto e a longos prazos (ANGELOCCI, 2002)

De acordo com Staut (2006), a água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas. Qualquer cultura utiliza grande volume de água, durante o seu desenvolvimento, e grande parte deste somente passa pela planta e perde-se, posteriormente, para a atmosfera pelo processo de transpiração.

As relações planta-água de qualquer cultura agrícola são bastante complexas, envolvendo aspectos de fisiologia vegetal, física de solo, agrometeorologia e agronomia em geral. Porém, os dois fatores mais importantes para o bom desenvolvimento vegetal são: a existência de água disponível no solo para as plantas e a distribuição radicular da cultura ao longo do perfil do solo (STAUT, op.cit).

Segundo Silva (2005), a disponibilidade de água para as plantas é um problema complexo devido à própria complexidade do sistema. Cada caso deve ser estudado de forma particular levando em conta as leis gerais que governam o movimento de água no solo, na planta e na atmosfera e, desta forma, cada caso terá uma solução particular. Isto é importantíssimo no manejo da água em agriculturas sob diferentes condições de disponibilidade de água.

A caracterização dos mecanismos de inibição do crescimento das plantas pelo déficit hídrico constitui um problema de importância e real interesse. A umidade interna das plantas influencia muitos processos fisiológicos. Plantas sob estresse hídrico têm afetado a absorção de água, a germinação de sementes, o fechamento estomacal, a transpiração, a fotossíntese, a atividade enzimática, o metabolismo do nitrogênio e outros processos. A maneira exata na qual o déficit hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento da planta tem sido alvo de muitos debates. Existe evidência de que o estresse hídrico afeta o crescimento através de mecanismos diretos e indiretos alterando relações hormonais, nutricionais e formação de carboidratos (KOZLOWSKI, 1968).

3.3 BALANÇO DE ÁGUA

O balanço hídrico nada mais é do que o registro das entradas e saídas de água de um sistema, em que várias escalas espaciais podem ser consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. Na escala macro, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico”, cujo resultado nos fornecerá a água disponível no sistema (no solo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja, na biosfera. É um sistema contábil que nos dá o saldo de água disponível no solo para o vegetal, revelando informações de ganho, perda e armazenamento de água no solo (ESALQ, 2007).

Uma metodologia que possibilita o estudo mais detalhado das condições hídricas em que a cultura se desenvolveu é o balanço da água no solo. Esse balanço é constituído pela contabilização, em certo período, de todas as formas de entrada e saída de água de um volume controle de solo, submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas da espécie ou mesmo da variedade vegetal. A água perdida por uma fase do sistema solo-planta-atmosfera é incorporada em outra fase, caracterizando esse balanço como a própria Lei da conservação de massas. O saldo desse balanço é a água retida pelo solo e que pode estar disponível às plantas (BRITO, 2006).

Costa (1994) estabelece que, em um dado volume de solo, a diferença entre a quantidade de água adicionada e a quantidade de água extraída durante certo período de tempo é igual à variação do conteúdo de água naquele volume nesse período.

O balanço de água pode ser positivo se, no volume de solo considerado, nele entrar mais água que sair e negativo, se acontecer o contrário. Os valores de balanço hídrico altos indicam excedentes hídricos e os baixos, deficiência hídrica ou falta de água. Ocorre excedente de água sempre que a precipitação for superior à quantidade necessária para atender à evapotranspiração potencial e completar o armazenamento de água no solo. Segundo Tubelis e Nascimento (1992), a deficiência aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a demanda

atmosférica. O balanço hídrico contabiliza a precipitação perante evapotranspiração potencial, considerando-se a capacidade de armazenamento de água no solo.

O balanço hídrico é um método simples e adequado para operação de rotina de campo para se estimar a umidade do solo e tem sido recomendado, devido ao baixo custo de equipamentos, com facilidade das medidas e uma boa precisão de resultados. Gouveia, Alvalá e Tomasella (2002), relata que do ponto de vista da agricultura, é mais apropriado considerar o balanço hídrico da zona radicular.

Diversos pesquisadores (ROSE; STERN, 1967; REICHARDT; LIBARDI e SAUNDERS, 1989; SAAD, 1991; entre outros) determinaram o consumo hídrico das culturas, onde a metodologia empregada baseia-se na somatória na quantidade de água que entra e sai de um determinado volume de solo, em um dado intervalo de tempo, e como resultado tem-se a quantidade de água líquida disponível às plantas.

Face a importância para a agricultura do conhecimento do balanço de água de uma região, cujos valores são potencialmente determinados pela evapotranspiração, inúmeros trabalhos foram desenvolvidos objetivando quantificar parâmetros envolvidos nesta estimativa. Entre as diversas metodologias existentes, o balanço hídrico em um volume de controle de solo é fundamental do ponto de vista agrônomo, pois define as condições hídricas nas quais as culturas se desenvolvem (REICHARDT, 1985).

Em escala local, como no caso de uma cultura, o balanço hídrico tem por objetivo estabelecer a variação de armazenamento e, conseqüentemente, a disponibilidade de água no solo. Conhecendo-se qual a umidade do solo ou quanto de água este armazena é possível se determinar se a cultura está sofrendo deficiência hídrica, a qual está intimamente ligada aos níveis de rendimento dessa lavoura.

O balanço hídrico, além da evapotranspiração potencial, possibilita estimar a evapotranspiração real, excedente hídrico, deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo (ALFONSI; PEDRO JR; CAMARGO, 1995). A

variável hídrica é a que, com maior frequência e intensidade, afeta a produção das lavouras (MATZENAUER et al., 1998).

Vários autores estudaram o déficit hídrico na cultura de soja, entre eles, Berlato, (1987); Confalone e Navarro Dujmovich, (1999); Doorenbos e Kassam, (1994); Doss, Pearson e Rogers, (1974); Doss e Thurlow, (1974); França, Bergamaschi e Rosa, (1999); Fietz e Urchei, (2002); Marion, (2004); Mota, (1983); Salinas et al., (1989); Schöffel e Volpe, (2002); Sionit e Kramer, (1977); entre outros.

Deficiências hídricas na cultura de soja podem prolongar a duração dos estádios vegetativos e diminuir a duração dos estádios reprodutivos. Qualquer estresse nesta época refletirá diretamente no enchimento dos grãos. Se a deficiência hídrica ocorrer durante a formação das vagens, o prejuízo é maior tanto em número de vagens quanto em peso de grãos (BOLETIM, 2006).

A disponibilidade hídrica adequada, também é essencial para a importação de fotoassimilados (ARAUJO; HUNGRIA, 1994).

Déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como conseqüência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos (KOZLOWSKI, 1968; MARTINS, 1984; SHARKEY; SEEMANN, 1989; VASSEY; SHARKEY, 1989; WHIGHAM; MINOR, 1978).

Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptados à região e à condição de solo; semear em época recomendada e de menor risco climático; semear com adequada umidade em todo o perfil do solo; e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo. (EMBRAPA, 2003).

O estudo da cultura de soja no seu ambiente de desenvolvimento é importante, pois pode gerar informações para adequar o melhor manejo e cultivar as

condições de clima e solo (MAULE; MAZZA; MARTHA JR, 2001). Neste contexto, o estudo do balanço de água é de importância fundamental.

3.4 A CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L) Merrill)

Originada e domesticada na China, constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira, devido ao seu potencial produtivo, sua composição química e valor nutritivo, que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação, com relevante papel sócio econômico, além de se constituir em matéria prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais.

A soja é rica em proteína (36 a 42%) e óleo (18 a 22%), estando incluída entre as cinco principais fontes protéicas e calóricas. (SFREDO; PANIZZI, 1990), sendo cultivada como alimento tanto para humanos quanto para animais. O óleo de soja é o mais utilizado pela população mundial no preparo de alimentos, e também é extensivamente usado em rações animais. Outros produtos derivados da soja incluem leite, adubo, revestimento, papel, farinha, farelo, sabão, cosméticos, resinas, tintas, solventes e biodiesel.

A soja oferece proteção a terra, durante o ciclo vegetativo, com sua massa verde cobrindo toda a superfície, e ainda, por ser uma leguminosa, tem alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por simbiose, raramente havendo a necessidade de suplementação de nitrogênio por adubação (REICHARDT, 1990).

3.4.1 Histórico

Originada do Sudeste Asiático, supostamente surgida no nordeste da China por volta do século XVII a.C., é cultivada a mais de 5.000 anos (é reconhecida como uma das mais antigas plantas cultivadas do planeta) na China e no Japão e atingiu o Ocidente no século XVIII, sendo trazida do Japão à Europa pelo cientista

alemão Englebert Kaempher em 1712. A soja foi cultivada pela primeira vez em 1790, na Inglaterra, nos Estados Unidos em 1804 e no Brasil, segundo alguns registros, em 1908 (ANUÁRIO, 2000; LEAL, 2000; MARION, 2004).

A cultura da Soja começou a ser desenvolvida no Brasil, nos estados da região Sul, mas foi introduzida no Brasil em torno de 1882 no estado da Bahia vinda dos Estados Unidos, sem, no entanto, ter êxito na região uma vez que a mesma não era adaptada às condições de baixa latitude da região (EMBRAPA, 2004).

No Brasil, histórias esparsas sugerem que pode haver outros registros, que a soja antes de ir à roça freqüentou a escola agrícola brasileira do fim do século 19. Outras informações datam que a soja foi introduzida pelos imigrantes japoneses em 1908, onde passaram a cultivá-la em hortas domésticas no interior paulista, com pequenas produções à fabricação caseira de tofu, misso e shoyo (HASSE, 1996).

O primeiro registro de cultivo de soja no Brasil data de 1914 em Santa Rosa – RS, onde a partir dos anos 40 ela adquiriu alguma importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul – RS com uma área cultivada de 640ha, produção de 450t e rendimento de 700kg/ha. Nesse mesmo ano instalou-se a primeira indústria processadora de soja do País (Santa Rosa - RS) e, em 1949, com produção de 25.000t, o Brasil figurou pela primeira vez como produtor de soja nas estatísticas internacionais (EMBRAPA, 2004). O interesse do governo brasileiro pela expansão na produção da soja para atender à indústria fez com que a cultura ganhasse cada vez mais incentivos oficiais. Diversas estradas, ferrovias e hidrovias foram instaladas e portos foram modernizados para o escoamento da produção (GOMES, 2007).

A soja ganhou destaque econômico na segunda guerra mundial, no século XX e, no Paraná, o seu plantio disparou no início da década de 70, com a alta dos preços internacionais (HUBNER, 2003). Na década de 80 os estados do Rio Grande do Sul - RS, Santa Catarina - SC, Paraná - PR e São Paulo - SP somaram 8,8 milhões de hectares plantados (15,2 milhões de toneladas do grão), correspondendo a 85,3% e 85,5% da produção total; nesta época a soja ainda não tinha uma

expressão significativa no cerrado, com cerca de 15% da área total cultivada entre o sul do Mato Grosso do Sul, o sul de Goiás e a região do Triângulo Mineiro.

Na década de 90, o avanço da soja chega ao cerrado, e com isso Mato Grosso - MT classifica-se como o terceiro produtor do país, com aproximadamente 1,6 milhões de hectares plantados, Mato Grosso do Sul - MS em quarto, com 1,3 milhões de hectares plantados e Goiás - GO em quinto, com 1 milhão de hectares. Nesta década, a soja também se consolidou nos Estados da Bahia e Tocantins.

Em 2000 as novas zonas de soja dos estados meridionais já correspondiam a 48,8%. Em 2002, o RS liderava como o maior produtor brasileiro de soja, com 3 milhões de hectares, MT já despontava como segundo, com 2,9 milhões de hectares, superando o PR, GO, MS, BA, MG, SP e SC.

Segundo Mueller e Bustamante (2002), citado por Ponte de Souza et al. (2007a; 2007b), na década de 2000 a soja chegava à Amazônia, (Figura 3), entretanto, ocupava uma área insignificante, 73.000ha, em relação ao restante do País. No estado do Pará, mais especificamente, a área plantada era de apenas 1.200ha no ano de 2000, mas a região já vinha recebendo incentivos do governo desde 1994 para o aumento da produção de grãos principalmente nas regiões de Santarém e Paragominas. No entanto, de acordo com Schneider et al. (2000), citado por Ponte de Souza et al. (2007a; 2007b), alguns fatores dificultam e restringem o avanço da cultura da soja na Amazônia como os altos níveis pluviométricos e o favorecimento à proliferação de pragas e doenças devido ao clima quente e úmido.



Figura 3: Evolução da soja no Brasil.
Fonte: Fundação Meridional (2007).

Na década de 80, o município de Paragominas, no Estado do Pará, empenhou-se no desenvolvimento da agricultura familiar, mas atualmente a agricultura local estabelece-se, além deste segmento, pela agricultura comercial através da monocultura de grãos em larga escala. Em 2000, Paragominas já apresentava 3.630ha destinados a agricultura familiar e 11.845ha destinados a agricultura comercial (LEAL, 2000).

Em Paragominas-PA, município conhecido como Nova Fronteira Agrícola, o grão da soja foi incorporado na cadeia produtiva na década de 90, quando a atividade madeireira, que antes era a base econômica, não somente local mas da maioria dos municípios da região, apresentava-se em declínio com uma crise não apenas de âmbito econômico mas também social, aumentando o índice de desemprego (PRODUÇÃO DE GRÃOS, 2006).

Neste contexto, alguns empresários em parceria com a Prefeitura Municipal, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Federação de Agricultura do Estado do Pará (FAEPA) e Secretaria Executiva de Agricultura (SAGRI), através da iniciativa da Cooperativa Agro-industrial do Nordeste do Pará (COOPARÁ) em implantar o pólo agroindustrial no nordeste paraense, implementaram em 1996 o Projeto Soja, em caráter experimental, no município de Paragominas, visto que este projeto envolvia 17 municípios e contava com o apoio para custeio do Banco do Brasil no valor de R\$ 400 mil (LEAL, 2000). Este experimento atuou como ponto propulsor para que 21 empresários da região investissem em pesquisas referentes a sojicultura em nível empresarial, que viabilizassem o projeto, arrendando uma área degradada de 500ha, de propriedade de Arquimedes Ferreira, na fazenda Nova Venécia, às margens da Belém-Brasília, com um investimento inicial de R\$ 315 mil, resultante da junção da contribuição de R\$ 15 mil por empresário associado.

A primeira safra registrada na localidade foi de (1996/1997) 350ha, a qual recebeu apoio do Governo do Estado do Pará, e que se apresentou como uma atividade local de potencial promissor (PRODUÇÃO DE GRÃOS, op.cit).

A agroindústria da soja em Paragominas também encontrou apoio na infra-estrutura local, como a Rodovia Belém-Brasília (BR-316), unidades de secagem e armazenagem de grãos, assim como facilidade no escoamento da produção, o que também representou atração aos produtores de todo o território nacional, promovendo a migração de produtores do sul e centro-oeste brasileiro, em especial produtores do PR, RS e SC. Leal (op.cit) relata que o clima bem definido; terras baratas; aproveitamento de áreas alteradas; chuvas uniformes de dezembro a maio; facilidade de escoamento da produção e mecanização da agricultura são alguns dos fatores que propiciaram o desenvolvimento da agricultura na região, bem como a abundância de calcário no Estado do Pará; a existência de rodovias e de estradas vicinais em bom estado de conservação; apoio técnico de órgãos ligados a agricultura e políticas públicas de concessão de crédito agrícola, como o Programa de Agricultura Familiar (PRONAF).

O Estado do Pará, nos últimos anos, vem se constituindo em uma das mais novas áreas da expansão da cultura da soja, sendo constatado um aumento considerável da área plantada. Desde 1994, a região já recebia incentivos do governo para o aumento da produção de grãos, onde em 1997, com o início do plantio comercial, a área plantada do Estado era de 575ha, passando para 1.200ha no ano de 2000. Em 2005, a quantidade de área plantada no Estado já chegava a 58.390ha, fato que permitiu a produção de 99.437 toneladas (PARÁ, 2005).

Em 2003, o Brasil figura como o segundo produtor mundial, responsável por 52%, das 194 milhões de toneladas produzidas em nível global ou 26,8% da safra mundial. (EMBRAPA, 2004).

3.4.2 Características fisiológicas

A soja pertence à classe Dicotyledoneae, à subclasse Archichlamydeae, à ordem Rosales, à subordem Luguminosineae, à família Fabaceae (uma das maiores e de ampla distribuição geográfica), à subfamília Papilionaceae, à tribo Phaseoleae, ao gênero *Glycine* e à espécie *Glycine max* (L.) Merrill.

A soja é um vegetal herbáceo e anual, com raízes do tipo pivotante (um eixo vertical principal), de onde partem as raízes secundárias que se ramificam, formando um sistema radicular axial, fasciculado (em cabeleira). O caule é do tipo herbáceo, ereto, revestido de pêlos podendo a altura variar de 0,5 a 1,5 m. As folhas são de três tipos: cotiledonares ou primordiais (são as primeiras a emergir por ocasião da germinação); simples (duas folhas de lâminas simples e opostas surgem após as primordiais) e, as compostas trifolioladas (são as que apresentam duas estípulas em sua base e estipelas na base dos folíolos). As folhas são do tipo alternadas, de pecíolos grandes, medindo de 7 a 15cm de comprimento (PIMENTEL, 1990; SANTOS, 1995).

A flor é completa ou perfeita, ou seja, possui perianto (cálice e corola) e órgãos sexuais (androceu e gineceu) é, portanto, hermafrodita ou andrógina, esse tipo de flor favorece a autofecundação ou autogamia. Seu tamanho varia entre 3 e 10mm. As inflorescências nascem nas axilas das folhas ou, às vezes, no ápice das ramificações do caule. São do tipo recemosas (semelhantes a cachos). O fruto é do tipo vagem, normalmente pendentes, e em número de uma a cinco por pedúnculo. O tamanho, a cor e a forma das sementes são características peculiares a cada cultivar. A cor pode ser amarela, castanha, verde, preta ou bicolor, e o número de sementes por fruto varia de um a cinco, sendo, em geral, duas ou três (SANTOS, op.cit).

3.4.3 Fenologia, crescimento e desenvolvimento da soja

A fenologia constitui-se no ramo da botânica que estuda as diferentes fases de desenvolvimento das plantas, caracterizando-lhes as épocas de ocorrência e as características em relação às condições ambientais (LUCCHESI, 1985; PEIXOTO, 1999), tais como temperatura, luz, umidade, etc.

É importante o conhecimento da fenologia de uma espécie, pois possibilita identificar, por meio da observação dos caracteres morfológicos da planta, o momento fisiológico associado a uma série de necessidade do vegetal, que

atendida, resultará no normal desenvolvimento da cultura e bons rendimentos (Câmara, 1998b). Fehr e Caviness (1977), revisados por (Câmara, 1998a), estudaram detalhadamente o ciclo vegetativo e reprodutivo da soja e estabeleceram uma escala de estádios de desenvolvimento, em função da idade fisiológica da planta, compreendendo uma grande fase vegetativa e outra reprodutiva, relacionada ao aparecimento, transformação ou desaparecimento rápido de órgãos da planta, como germinação, brotação, florescimento, espigamento, desfolhação e maturação, em que algumas fases são facilmente observadas.

Outro termo muito usado é o estágio fenológico, que são subdivisões dentro de um subperíodo ou mesmo a caracterização de uma fase. Eles também são momentos específicos dentro do ciclo do indivíduo, mas não necessariamente de transformação, como são as fases. Portanto, os estádios podem coincidir com fases, quando envolvem mudanças importantes, como o início de florescimento, ou simplesmente podem ser caracterizando uma condição qualquer dentro de um subperíodo, como pelo número de folhas no crescimento vegetativo. A caracterização fenológica através de estádios permite maior detalhamento na descrição do ciclo da planta, em relação à utilização das fases, já que estas podem ser demasiadamente distanciadas no tempo.

As principais aplicações da fenologia refere-se a subdivisão do ciclo; determinação de exigências ecológicas; determinação de períodos críticos; classificação das cultivares segundo sua precocidade; zoneamentos agrícolas e manejo de culturas.

Em nível mundial, a escala fenológica de Fehr e Caviness (1977) é a mais difundida e utilizada. Ela já passou por algumas adaptações, como a que foi feita por Costa, Marchezan e Teixeira (1991), para as cultivares brasileiras.

O crescimento das plantas, que é avaliado por meio de variações no tamanho, de algum aspecto da planta, geralmente morfológico (aumento físico de volume, peso ou estatura), depende da conversão da energia luminosa e energia química, cuja intensidade é proporcional à interceptação capturada da luz pelo dossel da cultura. Segundo Benincasa (1988), isto evidencia que a análise de

crescimento está baseada no fato de que 90% em média da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética, sendo que esta passa a ser componente fisiológico de maior importância neste tipo de estudo. Pereira e Machado (1987) consideram que a análise de crescimento é tida como método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura, permitindo o estudo de diferentes cultivares de uma determinada cultura em seu ambiente de produção.

O crescimento vegetativo vigoroso promove o desenvolvimento rápido da área foliar e a formação de uma estrutura da planta capaz de suportar rendimentos elevados. Também aumenta a acumulação de proteínas de armazenamento vegetativo que poderão, posteriormente, ser translocadas para os grãos. Staswick, Huang e Rhee (1991) e Staswick (1994) relatam a importância de proteínas armazenadas nos tecidos vegetativos, que servem para armazenar nitrogênio durante condições de suprimento adequado deste elemento e que, durante o enchimento de grãos, são redistribuídas para estas estruturas.

O crescimento vegetativo é encerrado concomitantemente com o aparecimento das primeiras flores, em cultivares de crescimento determinado e, pouco depois, em cultivares de crescimento indeterminado (ROSOLEM, 2006).

Uma das maneiras de se avaliar o desenvolvimento (variações de volume, peso, forma e estrutura, visíveis ou invisíveis) da soja é através do índice de área foliar (IAF). Segundo Koller, Nyquist e Chorush (1970) e Lucchesi (1987), a capacidade fotossintética de uma planta depende da interceptação da radiação solar que por sua vez se relaciona com o índice de área foliar (IAF). O aumento do IAF eleva o nível de interceptação da luz incidente, proporcionando um aumento de produção de biomassa. Esta produção de biomassa aumenta até um valor de IAF crítico, onde o auto-sombreamento das folhas faz com que a taxa fotossintética média por unidade de área decresça, podendo causar redução na produtividade devido ao desvio de fotoassimilados de outras folhas para a respiração de massa foliar excedente.

De acordo com Barni e Bergamaschi (1981), o valor correspondente a 95% de absorção da radiação incidente é chamado IAF “crítico”, índice esse dependente da intensidade luminosa e também do número de plantas por área, ou seja, da densidade das plantas na fileira e da distância entre as fileiras. Müller (1981) estudando sobre o valor de IAF crítico para a soja, encontrou uma grande variação nos valores citados nos trabalhos consultados (entre 2,5 e 9,0).

A soja tem um crescimento inicial lento, que dura até a queda dos cotilédones. Em seguida, o IAF normalmente aumenta linearmente até o final do florescimento, atingindo valores entre 5,0 e 8,0. O valor do IAF decresce situando-se entre 4,0 e 6,0 próximos a maturidade fisiológica, a partir da qual observa-se um rápido amarelecimento da parte aérea das plantas, seguido de abscisão foliar (KOLLER, NYQUIST e CHORUSH, 1970).

Scott e Batchelor (1979) obtiveram maior taxa de crescimento da cultura no início do estágio reprodutivo da cultura da soja. Os valores da taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e razão de área foliar foram maiores no início do período vegetativo e decresceram com o decorrer do ciclo.

3.4.4 Exigências climáticas

O clima pode ser considerado um regulador da produção agrícola. Os parâmetros climáticos exercem influência em todos os estágios dos processos agrícolas, desde o preparo da terra, semeadura, crescimento das plantas e colheita até o armazenamento, transporte e comercialização (AYOADE, 1986).

Para Dallacort et al. (2005), dados climáticos disponíveis e confiáveis, obtidos através de estações meteorológicas, são fundamentais em uma eficaz previsão do desenvolvimento, crescimento e produção das culturas agrícolas. As estações meteorológicas automáticas têm sido utilizadas para medir e registrar os parâmetros meteorológicos, a nível de superfície, de forma precisa e acurada, em intervalo de tempo programável, eliminando com isto, erros humanos na leitura de

sensores, erros de digitação, perdas de dados, possuindo também, sincronismo de leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos (FARIA, 1998).

O rendimento máximo de uma cultura é determinado, principalmente, por suas características genéticas e por uma boa adaptação do cultivo ao ambiente predominante. Dentre os elementos do clima, os que mais afetam o comportamento e o desenvolvimento da cultura da soja é a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade de água (FARIAS, 1994).

3.4.4.1 Exigências hídricas

A disponibilidade de água é importante principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja, germinação (emergência) e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas (EMBRAPA, 2006).

A soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: da sementeira à emergência e no enchimento de grãos (estádios R₅ e R₆). Durante a germinação, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. Neste período, excessos hídricos são mais limitantes que déficits (SALINAS et al., 1989).

Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas (DOSS & THURLLOW, 1974), já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento, relativamente longo (MOTA, 1983).

A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8mm.dia⁻¹), decrescendo após esse estágio (EMBRAPA, 1999). Déficits

hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos.

Berlato, Matzenauer e Bergamaschi (1986) relatam que a necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo, porém, EMBRAPA (1994) afirma que a exigência de água para a cultura da soja, encontra-se na faixa de 300 a 850mm de água, dependendo da cultivar, da época e das condições locais.

Doorenbos e Kassam (1994) consideram que os períodos de florescimento e de formação da colheita da soja são os mais sensíveis ao déficit hídrico, particularmente a última parte do período de florescimento e o período de desenvolvimento da vagem.

A quantidade de água a ser “introduzida” é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através de medidas de solo, planta ou elementos climáticos que possam ser relacionados à demanda evaporativa da atmosfera. Dentro destas categorias, o manejo baseado na evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo são bastante citados e utilizados (ALVES JÚNIOR, 2006; FERNANDES e TURCO, 2003; FIETZ et al., 1999; FRIZZONE, 1991; LIMA et al., 2006; SAAD; SCALOPPI, 1988; SOUZA et al., 1997; SILVA et al., 1995; SOARES et al., 2001).

Deve-se ressaltar que as necessidades hídricas das plantas variam de um período para outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa a maior evapotranspiração (KUSS, 2006).

3.4.4.2 Exigências térmicas e fotoperiódicas

Para Schöffel e Volpe (2002), a temperatura é uma das variáveis meteorológicas mais importantes afetando não apenas o acúmulo de fitomassa como também, a duração dos vários estádios de desenvolvimento da espécie, uma vez que, para completar cada subperíodo de desenvolvimento, as plantas necessitam um determinado acúmulo térmico. A temperatura do ar tem influência sobre a taxa de crescimento e floração, onde a indução floral é inibida com temperatura média inferior a 17°C e flores e vagens são abortadas com temperatura média acima de 38°C. A temperatura do ar para o bom desenvolvimento da soja deve variar entre 20°C e 30°C (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER 2000), sendo que a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C.

O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens, os quais se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2006).

Existem vários métodos que relacionam o grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar, sendo o mais empregado o das unidades térmicas ou graus-dia (CAMARGO, 1984).

As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são devido às variações de temperatura. Assim, a floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura de planta. Esse problema pode se agravar se, paralelamente, houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Diferenças de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, são devidas, principalmente, à resposta diferencial dos cultivares ao comprimento do dia (fotoperíodo).

Outro elemento que influencia o desenvolvimento da soja, na passagem do período vegetativo para o período reprodutivo é o fotoperíodo. A soja é uma planta de dias curtos (PDC), ou seja, floresce quando o comprimento dos dias é inferior a certo valor, chamado fotoperíodo crítico. Na realidade a soja necessita de certo número de horas de escuro, pois é a radiação solar excessiva que retarda este processo. Os cultivares de soja foram adaptados através de melhoramento genético, aos diferentes regimes fotoperiódicos existentes no País. Assim, problemas no florescimento podem ocorrer, caso uma cultivar seja utilizada fora da região recomendada (CÂMARA, 1998a; FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, op.cit; SCHNEIDER et al., 1995).

De acordo com Shibles; Anderson e Gibson³ (1975, apud FAGERIA, 1989) o fotoperíodo crítico é de aproximadamente 13 horas, para os genótipos adaptados às regiões tropicais Quanto maior é o fotoperíodo mais dias é preciso para a soja atingir a fase de floração; e um fotoperíodo maior de 16 horas inibe a floração e a frutificação. Recentemente, este conceito esta mudando um pouco, pois certos cultivares de soja têm uma fase juvenil depois da emergência quando é especialmente sensível à temperatura e indiferente a duração do dia (HODGES; FRENCH, 1985).

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. Quando vêm associadas a períodos de alta umidade, as altas temperaturas contribuem para diminuir a qualidade da semente e, quando associadas às condições de baixa umidade, predispõem a semente a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso ou de alta umidade, podem provocar atraso na colheita, haste verde e retenção foliar.

De acordo com Embrapa (2006), sempre que possível, a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C porque prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme.

³SHIBLES, R. M.; ANDERSON, I. C.; GIBSON, A. H. Soybean. In: EVANS, L. T. **Crop physiology: some case histories**. London: Cambridge University, 1975. p.151-189.

Sendo assim, a adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por isso, a soja é considerada planta de dia curto. Em função dessa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Entretanto, cultivares que apresentam a característica “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes (locais) e de épocas de semeadura (EMBRAPA, op.cit).

3.4.5 Cultivar BRS candeia

A Embrapa Roraima em parceria com a Embrapa Soja, realizaram avaliações de competição entre cultivares com esse propósito. Assim, procurando tornar o sistema produtivo de soja, nas áreas de cerrado de Roraima mais eficiente, obteve-se a BRS Candeia, que é uma cultivar desenvolvida em 1988 pela Embrapa Soja, na estação experimental de Londrina, no Paraná. Originada através do cruzamento entre (BR 27*4 x Cristalina) x Braxton, foi obtida pelo método genealógico modificado/clássico.

A cultivar BRS Candeia primeiramente foi indicada para o Maranhão, pelos resultados obtidos no campo experimental de Balsas, da Embrapa Soja. Com base nos resultados das pesquisas, essa indicação está sendo estendida para os cerrados do Estado de Roraima. A cultivar apresentou média de produtividade acima de 60 sacos por hectare demonstrando seu potencial produtivo para a região.

Nos ensaios realizados em Roraima na safra de 2004 e 2004/2005 a cultivar BRS Candeia apresentou rendimento médio de 3.757 quilos por hectare, superando as cultivares BRS Tracajá e BRSMG Nova fronteira. A Tracajá e a Nova fronteira foram utilizadas como comparativo por terem um ciclo mais próximo, já que não se tem cultivares de ciclo mais longo em cultivo nos cerrados de Roraima.

A cultivar de soja BRS Candeia tem como vantagens o fato de apresentar um ciclo um pouco mais longo. “Isso permite ao produtor ter mais uma opção para ampliar a área de cultivo, antecipando o tempo do plantio, aproveitando que em algumas regiões chove no mês de abril”. Outra vantagem da BRS Candeia, é que esta é uma cultivar de soja altamente resistente a doenças como o cancro-da-haste, a pústula bacteriana e a mancha de olho-de-rã e moderadamente resistente a pragas como o nematóide-de-galha, *Meloidogyne javanica* e resistente ao *Meloidogyne incógnita*. Tem apresentado ótima estabilidade de produção e larga faixa de adaptação, obtendo indicações de cultivo para vários estados da Região Norte e agora também para os cerrados de Roraima (EMBRAPA, 2006a).

A cultivar BRS Candeia foi indicada, em 2005 para cultivo nos Estados de Tocantins, Pará, Piauí e Maranhão, e estendida em 2006 para Roraima (EMBRAPA, 2006a). Na Tabela 2 pode-se observar as características agro-morfológicas.

Tabela 2 - Características agrônomicas e morfológicas da cultivar BRS Candeia, que constam dos descritores do registro no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares.

	Características	BRS Candeia
Planta	Hábito de crescimento	Determinado
	Cor do hipocótilo	Roxa
	Cor da pubescência na haste	Marrom média
	Densidade da pubescência	Média
Flor	Cor da flor	Roxa
Vagem	Cor da vagem (sem pubescência)	Marrom
	Cor da vagem (com pubescência)	Marrom média
Semente	Forma	Esférica
	Cor do tegumento da semente	Amarela
	Cor do hilo	Preta
	Brilho do tegumento da semente	Média
	Qualidade da semente	Média
	Peso de 100 sementes	Alto (18g)
Fisiológicas	Ciclo vegetativo (emergência à floração)	Tardio
	Ciclo total (dias para maturação)	122
	Altura média da planta (cm)	92
	Altura média da 1ª vagem (cm)	15-18
	Resistência ao acamamento	Alta
	Resistência à deiscência da vagem	Média

Fonte: EMBRAPA (2006a).

3.5 SOLOS

O solo e os seus atributos físicos, químicos e biológicos interagem de forma complexa com a água. Quando as metas agrícolas são traçadas para médio ou longo prazo, não existe superioridade, em termos de importância, entre esses três tipos de atributos, pois as plantas são sensíveis às alterações e beneficiadas quando o solo encontra-se com boa qualidade. Para tanto, a adoção de práticas que promovam boas condições físicas, químicas e biológicas são essências para manutenção da fertilidade do solo. O preparo intensivo do solo pode provocar maiores distúrbios na estrutura, causando desagregação das camadas superficiais e compactação subsuperficial, o que facilita a erosão com perdas de solo e água.

A região de Paragominas possui pouca variação altimétrica, com relevo constituído por tabuleiros relativamente elevados e aplainados e formas colinosas. Morfoestruturalmente a região faz parte da unidade convencionalmente chamada de Planalto Sul do Pará/Maranhão (BRASIL, 1973). De acordo com Palmeira, Crepani e Medeiros (2005), geologicamente o município de Paragominas encontra-se sobre rochas sedimentares do Cretáceo e Terciário, que ocupam grande parte da área com as formações Itapecuru e Ipixuna, recobrimdo os gnaisses, granitos, anfibolitos e pegmatitos do Pré-Cambriano Indiviso e os sedimentos metamorfisados do grupo Gurupi.

O solo é composto por variações de latossolos amarelos e latossolos amarelos argissolos, além de plintossolos e gleissolos, originados das rochas sedimentares do Terciário e Quaternário (EMBRAPA, 2002). Os principais solos mapeados em Paragominas foram, o Latossolo Amarelo textura média e muito argilosa (15.650,99 km²), Argissolo Amarelo (531,93 km²); Plintossolo (169,69 km²); Gleissolo (97,08 km²); Neossolo (9,76% km²). Os solos do Município de Paragominas em sua maioria são de baixa fertilidade natural, porém, de boas propriedades físicas (RODRIGUES et al, 2002). Estes solos, principalmente aqueles que vêm sendo incorporados ao cultivo de grãos, são do tipo Latossolo Amarelo, textura média a alta, e de baixa fertilidade natural (EL-HUSNY et al., 1998).

Segundo Rodrigues et al. (op.cit), o solo foi caracterizado como latossolo amarelo de textura média e muito argilosa, que compreendem solos minerais, profundos, dissaturados, bem drenados, com horizonte B latossólico de coloração amarelada nos matizes 7,5 YR e 10 YR. Textura variando de fraco arenoso a muito argiloso. Os latossolos amarelos típicos muito argilosos apresentam-se, normalmente coesos, muito duro quando seco, principalmente nos horizontes AB e BA ou mesmo no topo do Bw1, características essas já observadas nesses solos em outras áreas. A consistência varia de duro a muito duro quando seco, friável a muito friável quando úmido, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso quando molhado.

A queima da floresta no início da colonização de Paragominas incorporou nos solos, latossolos amarelos (dominantes na região), nutrientes retidos na biomassa vegetal, proporcionando a formação de pastagens do capim colômbio, para criação de gado, seu primeiro seguimento de expressão econômica.

3.6 PRODUÇÃO DE GRÃOS E SOJA EM 2006

A produção de grãos no Brasil (Figura 4) no ano agrícola de 2006 se configura nos cinco tipos de cultivos mais produzidos, estando totalmente focada no cultivo da soja, milho, arroz, feijão e trigo, respectivamente. Essa produção se apresenta intensamente nos três estados do sul, centro oeste (Mato Grosso - MT, Goiás - GO, Mato Grosso do Sul - MS) e sudeste (São Paulo - SP e Minas Gerais - MG). O estado da Bahia (BA) se destaca como maior produtor de grãos do Nordeste, e no Norte, Pará - PA, Tocantins - TO e Maranhão - MA.

A produção brasileira de soja atingiu em 2006 seu maior patamar histórico, com 52,4 milhões de toneladas colhidas, sendo 2,5% superior ao registrado na safra de 2005 e 1% maior que o recorde anterior, alcançado em 2003 (51,9 milhões de toneladas). De acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal de Cereais, Leguminosas e Oleaginosas do IBGE, referente ao ano passado, o resultado foi obtido mesmo com uma redução de 5,7% na área plantada, em relação à safra de 2005, porém

com um aumento de 6,7% na produtividade, gerado por condições climáticas favoráveis e pela concentração de investimentos dos produtores. O recuo no plantio foi atribuído aos baixos preços do produto no mercado internacional e, também, à valorização do real (AGÊNCIA, 2007).

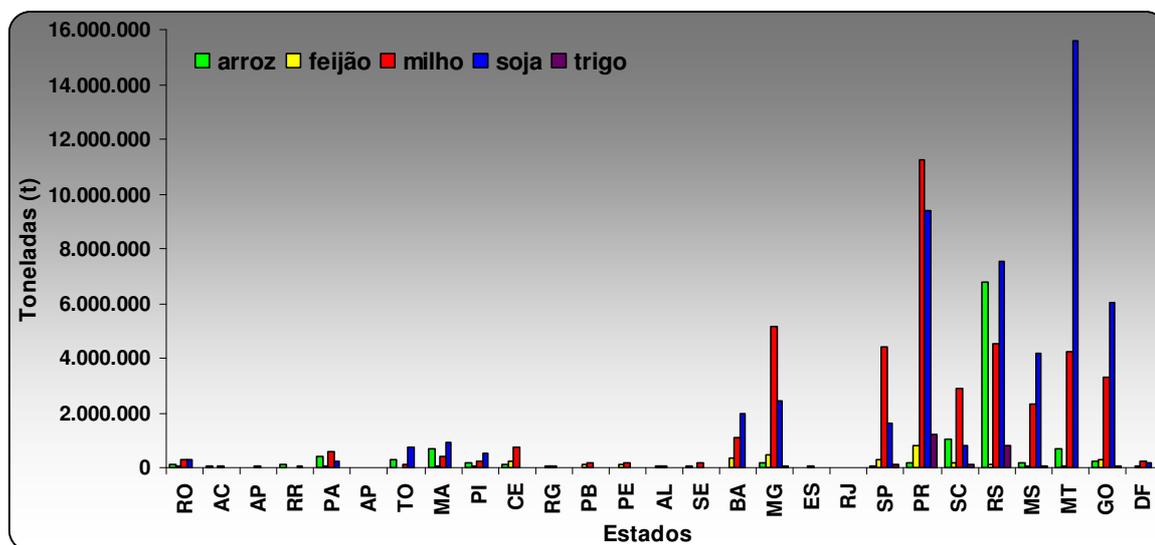


Figura 4: Produção de soja por Estado do Brasil no ano agrícola de 2006.
Fonte: IBGE (2006).

O maior produtor de soja no Brasil em 2006 foi o estado do Mato Grosso, que colheu 15,5 milhões de toneladas do produto (Figura 4), cerca de 30% da produção nacional. Em seguida vêm os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás. Entre os municípios, Sorriso (MT) foi responsável por 3,4% do total da soja brasileira, embora sua produção tenha caído 0,8% em relação a 2005. O cultivo de soja representou 44,3% da colheita de grãos no país em 2006 que, segundo o IBGE, somou 117,3 milhões de toneladas (AGÊNCIA, 2007).

Os maiores municípios produtores de soja no Brasil são mostrados na Figura 5, com destaque para Sorriso, Nova Mutum, Sapezal e Campo do Parecis, pertencentes ao estado do MT, confirmando novamente que os maiores sojicultores encontram-se neste estado. No Pará, Santarém (58.500t), Santana do Araguaia (39.600t) e Paragominas (30.000t) se destacam na produção de soja nacional.

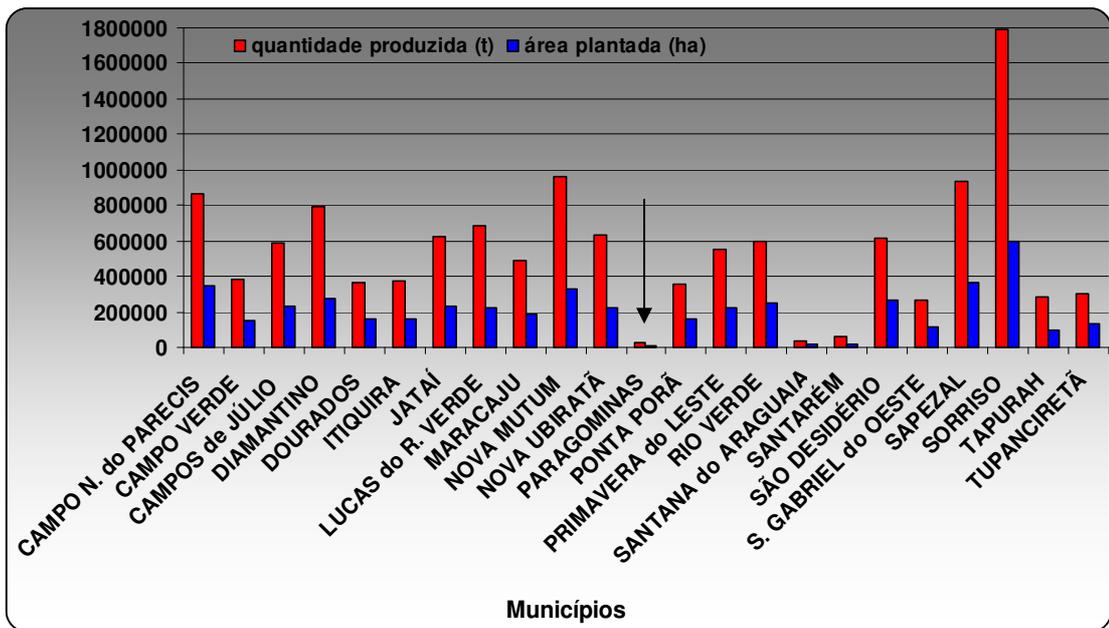


Figura 5: Maiores produtores de soja do Brasil no ano agrícola de 2006.
Fonte: IBGE (2006).

A produção de soja no Estado é mostrada na Figura 6, onde do total dos 143 municípios do Estado (IBGE, op.cit), 20 municípios cultivam a monocultura de soja, configurando o avanço da sojicultura no Estado. Santarém se apresenta como maior produtor no estado do Pará, seguido pelos municípios de Santana do Araguaia e Paragominas, respectivamente.

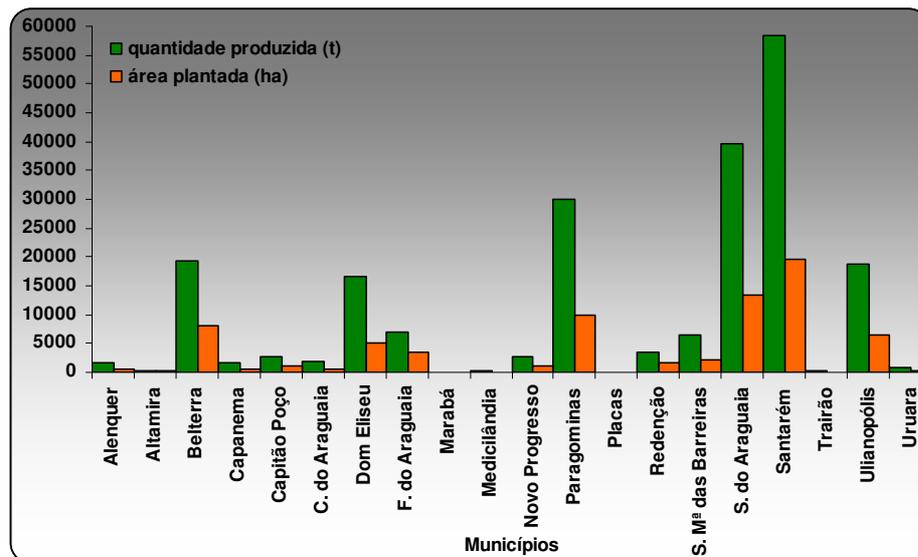


Figura 6: Produtores de soja do Estado do Pará em hectares (ha) e toneladas (t) em 2006
Fonte: IBGE (op.cit).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto de dados utilizado neste trabalho para o estudo do balanço de água na soja envolveu informações meteorológicas, hidrológicas e de desenvolvimento da cultura de soja, obtidas durante a realização de experimento de campo ocorrido no Município de Paragominas-PA, no período de fevereiro a meados de junho de 2006, referentes ao início do plantio e colheita da soja, respectivamente.

4.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

Paragominas está situada na parte central da meso-região do nordeste paraense, com uma área de aproximadamente 19.231km², tendo como principal via de comunicação e transporte a rodovia BR-010, distante 320km da cidade de Belém, capital do Estado do Pará. Foi criado a partir da abertura da Rodovia Belém - Brasília, incentivada pelo Programa de Redistribuição de Terras e Estímulo a Agroindústria do Norte e Nordeste (PROTERRA), instituído pelo Governo Federal em 1971, o responsável pela inserção do Município no cenário da pecuária nacional (RODRIGUES et al., 2002). Esta região é constituída por extensas florestas e belezas naturais, reflorestamentos, campos e plantios agrícolas. A Figura 7 apresenta a posição do município (03°00'00"S e 47°21'30"W) onde foram realizadas as atividades de campo.

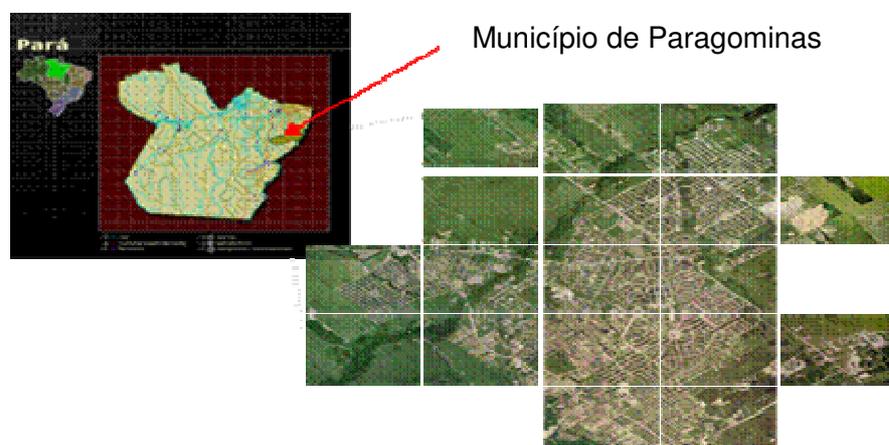


Figura 7: Localização do Município de Paragominas onde está instalado o sítio experimental. Fonte: Sousa et al. (2007).

A economia de Paragominas baseia-se na indústria extrativista madeireira, agricultura de subsistência, pecuária de corte (pastagens) formada pela derrubada e queima da floresta; extração de minérios, em destaque a bauxita (Companhia Vale do Rio Doce - CVRD) e culturas de exportação como pimenta do reino, seringueira, soja e milho, além de reflorestamento.

Os principais rios na região são os rios Capim e Gurupi, além de outros rios de menor porte que drenam a área como: Cauaxí, Candiru-Açu e Potiritá, afluentes do rio Capim e os rios Piriá e Uraim afluentes do rio Gurupí.

O clima descrito por Bastos (1972) e Sudam (1984), segundo a classificação de Köppen é do tipo AW, isto é, tropical chuvoso com estação seca bem definida. As temperaturas médias do ar variam de 25,6°C a 27,8°C, caracterizando temperaturas médias elevadas durante todo o ano. A precipitação pluviométrica na região tropical é o elemento meteorológico de maior variabilidade climática, variando de 857,8 a 2.787,7mm com média anual de 1.802mm. A umidade relativa do ar é bastante elevada com média anual em torno de 80%, com médias mensais variando de 70% a 90% (RODRIGUES et. al., 2002).

4.2 IDENTIFICAÇÃO DO SÍTIO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Boi Branco, distante 7km do centro de Paragominas, conforme mostra a Figura 8 (03°00'48"S e 47°20'23"W). A área total da fazenda é de aproximadamente 1.200ha, divididos entre pastagem, agricultura e floresta, sendo que a área de estudo destinada à plantação de soja foi de 200ha como observado na Figura 9, nas coordenadas geográficas, 03°02'15"S e 47°17'56"W.



Figura 8: Localização do centro de Paragominas à plantação de soja.
 Fonte: Paragominas (2006).



Figura 9: Área de estudo do experimento CT-HIDRO 2006.
 Fonte: Paragominas (2006).

4.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA

O plantio da cultura de soja realizado na Fazenda Boi Branco, arrendada por um produtor tradicional de soja, ocupava aproximadamente 200ha, sendo a área onde foram instalados os sensores, coletas de amostras de plantas, observações fenológicas e o experimento de obtenção das componentes hidrológicas correspondente a 25ha (12,5% da área).

O semeio foi realizado nos dias 03, 04 e 05 de fevereiro de 2006, em sistema de plantio direto na densidade de 222.000 plantas.ha⁻¹ no espaçamento 0,45m entre linhas e 0,10m entre plantas.

Segundo produtor, antes do semeio a semente foi tratada com inoculante, fungicida e inseticida. A área recebeu aplicação de herbicida (24D, Glifosato) quatro dias antes do semeio (DAS). O solo foi adubado com 400kg/ha da fórmula NPK 2–20–18. O semeio ocorreu no dia 05 de fevereiro de 2006, com emergência no dia 09, 04 dias após a semeadura e a colheita no dia 15 de junho de 2006, cerca de 130 Dias Após o Semeio (DAS). As variedades de soja plantadas na Fazenda Boi Branco são apresentadas abaixo na Tabela 3. Na área de 200ha, foram plantadas as variedades de soja, BRS Tracajá, BRS Sambaíba, 98c81, 98c82 e BRS Candeia; sendo que na área da Estação Meteorológica Automática (EMA) foi plantada a variedade BRS Candeia (área de 25 ha).

Tabela 3: Cultivares de soja inscritas no Registro Nacional de Cultivares e indicadas para o Estado do Pará - Safra 2005/06.

GRUPO DE MATURAÇÃO		
Precoce (até 110 dias)	Médio (111 a 125 dias)	Tardio (> 125 dias)
BRS Tracajá ^{4, 5, 6}	BRS Candeia ⁵	BRSMA Seridó RCH ^{4, 5, 6}
*****	BRS Babaçu ^{5, 6}	BRS Sambaíba ^{4, 5, 6}
*****	BRS Carnaúba ^{1, 4, 5, 6, 7}	*****

Fonte: Embrapa (2006a).

¹ Cultivar em lançamento.

² Cultivar em extensão de indicação (não há em 2005/06).

³ Cultivar a ser excluída de indicação em 2006 (não há).

⁴ Cultivar indicada para a região sul do estado (Redenção).

⁵ Cultivar indicada para a região nordeste do estado (Paragominas).

⁶ Cultivar indicada para a região oeste do estado (Santarém).

⁷ Cultivar não constante no Registro Nacional de Cultivares em 09/09/2005.

Nota: Foi excluída de indicação para o Estado do Pará, em 2005, a cultivar Embrapa 63 (Mirador).

4.4 COLETA DE DADOS

4.4.1 Estação meteorológica automática (EMA)

A coleta de dados consistiu em medições contínuas das variáveis meteorológicas por meio de Estação Meteorológica Automática (EMA) com sistema de aquisição de informações através de um Datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific, Inc.), e de um Multiplex AM416 (Campbell Scientific, Inc.), instrumentada em uma torre de 4 metros de altura, com coordenadas geográficas, 03°02'15"S e 47°17'56"W (Figura 10). Os sensores instalados na torre são apresentados na Tabela 4, a seguir.



Figura 10: Torre onde está localizada a Estação Meteorológica Automática (EMA), na plantação de soja da Fazenda Boi Branco (Paragominas-PA).

Tabela 4: Instrumentação instalada na torre meteorológica automática.

VARIÁVEL	SENSOR	NIVEL
Temperatura do Ar	HMP45AC	1,2 e 4m
Umidade Relativa do Ar	HMP45AC	1,2 e 4m
Temperatura do Solo	Temp108	5, 10 e 20cm
Umidade do Solo	CS615	10, 20, e 0-30cm
Velocidade do Vento	RM Young Wind anemometer	1 e 4m
Direção do Vento	RM Young Wind Vane	4m
Radiação Solar Incidente	Piranômetro CM3.	2,45m
Radiação Solar Refletida	Piranômetro Invertido CM3	2,45m
Radiação Solar Transmitida	Piranômetro em Barra	No solo
Saldo de Radiação	NR-Lite	2,45m
Radiação PAR Incidente	LI190 Quantum sensor	4m
Radiação PAR Refletida	LI190 Quantum sensor Invertido	2m
Precipitação	Rain Gauge TB4	3,90m
Fluxo de Calor no Solo	Hukseflux HFP01SC-L	10cm (2 sensores)

Todas as informações meteorológicas, obtidas na EMA, foram coletadas em intervalo de 10 minutos durante a realização do experimento, isto é importante acrescentar porque, normalmente, estes dados são coletados a cada meia hora. O aumento da frequência de aquisição dos dados teve como objetivo obter respostas mais precisas da influência em superfície quando da ocorrência de um sistema atmosférico na região. A partir destes dados, foram calculados os valores médios

horários para todas as variáveis utilizadas neste trabalho, assim como dados de precipitação total.

Estes dados foram utilizados para acompanhar o ciclo da precipitação na área plantada, assim como a evapotranspiração da cultura e de referência e o armazenamento de água no solo.

4.4.2 Fenologia

A caracterização fenológica foi realizada com base na escala fenológica elaborada e divulgada por Fehr e Caviness (1977) traduzida por Câmara (1998b) através de estádios permite um maior detalhamento na descrição do ciclo da planta, em relação à utilização das fases, já que estas podem ser demasiadamente distanciadas no tempo (Tabela 5).

Tabela 5: Estádios vegetativos e reprodutivos da soja

Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
V _e - emergência	R ₁ – início do florescimento
V _c - cotilédone	R ₂ – pleno florescimento
V ₁ – primeiro nó	R ₃ – início da formação das vagens
V ₂ – segundo nó	R ₄ – plena formação das vagens
V ₃ – terceiro nó	R ₅ – início do enchimento das vagens
.	R ₆ – pleno enchimento das vagens
.	R ₇ – início da maturação
V _n – enésimo nó	R ₈ – maturação plena (colheita)

Fonte: Stoller do Brasil Ltda (2005).

O sistema de representação utilizado divide o desenvolvimento da planta em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R), conforme Tabela 5. Subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V₁, V₂, V₃, até V_n, menos os dois primeiros estádios que são designados como V_E (emergência) e V_C (estádio de cotilédone). O último estádio vegetativo é designado como V_n, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico. O valor de “n”

varia em função das diferenças varietais e ambientais. A fase reprodutiva apresenta oito subdivisões ou estádios, cujas representações numéricas e respectivos nomes são apresentados na Tabela 5.

A partir do estádio V_C , os estádios vegetativos (V) são definidos e numerados à medida que a folha do nó se apresenta completamente desenvolvida. Um nó vegetativo com folha completamente desenvolvida é identificado quando no nó vegetativo acima os folíolos não estão enrolados e nem dobrados. Em outras palavras, quando as extremidades dos folíolos não mais se tocam. O estádio V_3 , por exemplo, é definido quando os folíolos do 1º nó vegetativo (unifoliolado) ao 4º nó foliar estão desenrolados. Semelhantemente, o estádio V_C ocorre quando as folhas unifolioladas desenrolaram-se.

Este sistema identifica exatamente os estádios da planta de soja. Porém, nem todas as plantas em um dado momento estarão no mesmo estádio ao mesmo tempo.

A observação fenológica foi realizada diariamente, a partir da emergência até a maturação (colheita), com o objetivo de se identificar a mudança das fases/estádios de desenvolvimento da soja, e para isto, utilizou-se, conforme o dia de semeio para avaliação de população na área de estudo, as datas de semeio como referência (03, 04 e 05/02/2006) com três repetições cada, isto é, população de 2m lineares com 20 plantas em nove repetições.

Cada repetição foi escolhida aleatoriamente uma linha de 2m (Figura 11) onde foram obtidas as seguintes informações: contagem do número total de plantas, altura de 10 plantas, registro fotográfico e determinação da fase anterior, atual e posterior (PONTE DE SOUZA et al., 2007b). Para determinar o fim de um estádio e o início de outro, na escala de Fehr e Caviness (op.cit), considerou-se que as plantas de cada unidade experimental (2m (+/- 20 plantas) atingiram determinado estádio de desenvolvimento quando 50% + 1 da população ou mais das plantas no campo apresentavam as características morfológicas descritas na Tabela 5.

continua



(a) **V2** (20/02/06)



(b) **V3** (25/02/06)



(c) **V4** (26/02/06)



(d) **V5** (28/02/06)

conclusão



(e) V6 (06/03/06)



(f) V14 (20/03/06)



(h) R2 (02/04/06)



(g) R6 (24/05/06)

Figura 11: Exemplos de estádios fenológicos de soja, variedade BRS Candéia.

4.4.3 Infiltração

A infiltração foi analisada através de infiltrômetro de anel, cilindros concêntricos (Figura 12), que consiste de dois anéis que são posicionados de forma concêntrica no solo. O interno deve apresentar diâmetro de 300mm e o externo de 600mm. Os anéis são cravados verticalmente no solo. O anel externo tem como

finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em uma direção predominantemente vertical, o que evita superestimativa da taxa de infiltração. Deve se manter uma lâmina água de 30 a 50mm, com a altura da lâmina de água medida com uma régua verticalmente colocada dentro do anel interno e medida em intervalo de tempo regular, segundo Brandão et al., (2006). Foram realizadas 31 coletas na área amostrando os 25ha em diferentes datas (10, 13, 15, 17, 20, 22, 24, 25, 26/02/2006; 02, 03, 05, 10, 12, 15, 16, 23/03/2006; 01, 02, 04, 10, 16, 19, 23, 29/04/2006 e 02, 06, 11, 13, 15, 19/05/2006) efetuadas entre as linhas da plantação, considerando-se a duração de 100 minutos.



Figura 12: Infiltrômetro de anel utilizado para a medida da infiltração de água na plantação de soja em Paragominas-PA.

A taxa de infiltração (V_i) para os testes realizados, na unidade $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$, foi determinado pela seguinte expressão:

$$V_i = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde:

Δh = representa a diferença entre os valores seqüenciais de cada leitura (carga de água) no cilindro interno, isto é, $\Delta h = h_i - h_{i-1}$;

Δt = os tempos em minutos de cada leitura foram: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 minutos a contar do instante zero.

Os testes foram realizados até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, tornava-se aproximadamente constante com tempo. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se alterava pelo menos 0,1 cm.

4.4.4 Balanço de água no solo

No presente trabalho, o balanço de água utilizou variáveis climáticas como precipitação, evapotranspiração da cultura, armazenamento de água, escoamento superficial de água, interceptação pluviométrica; e variável de crescimento como a massa seca para obter o conteúdo de água na planta, sendo determinado pela seguinte equação:

$$ARM = ARM_{i-1} + P_i - Id_i - ETc_i - Esc_i - C_i \quad (2)$$

Em que:

ARM = armazenamento de água no solo (mm);

ARM_{i-1} = armazenamento de água do dia anterior (mm);

P_i = precipitação pluviométrica total do dia i (mm);

Id_i = total interceptado de água da chuva pelo dossel do dia i (mm);

ETc_i = evapotranspiração da cultura (real) do dia i (mm);

Esc_i = escoamento superficial do dia i (mm);

C_i = conteúdo de água retido pela soja do dia i (mm).

O critério estabelecido para a escolha dos dias a serem usados no balanço foram em virtude dos dados de interceptação, e da limitação de precipitações menos intensas.

Os resultados a serem apresentados serão todos observacionais para os meses de março a maio, período este que englobará a fase fenológica vegetativa,

florescimento, frutificação, granação (enchimento dos grãos) e vagem cheia. A mensuração dos componentes do balanço de água será apresentada através de médias dos dias selecionados para tal propósito, com o intuito de ser o mais representativo de cada fase estudada.

4.4.4.1 Precipitação

A precipitação é a única forma de entrada de água no sistema solo-planta-atmosfera, pois neste plantio não existe irrigação. Esta variável foi coletada por meio de um pluviômetro de reservatório basculante, com uma freqüência de 10 minutos, o qual tem resolução de 0,25mm de precipitação e erro de 2%, (para intensidades de chuva em torno de 100 mm/h) e instalado na Estação Meteorológica Automática (EMA) conforme mostra a Figura 13.



Figura 13: Pluviômetro instalado na EMA, localizada na plantação de soja (Paragominas-PA).

4.4.4.2 Interceptação

O Throughfall (T_i) foi medido através de um sistema de calhas de PVC com leve inclinação, acopladas a um coletor plástico, instaladas abaixo do dossel (Figura 14), em cinco células de 1m² distribuídas no sitio experimental (área de

25ha), localizadas nos pontos norte, sul, leste e oeste, da EMA, sendo que duas células foram instaladas a leste, nos outros pontos somente uma célula. A leitura das calhas foi realizada por evento de chuva, em tempo variado, com o auxílio de uma proveta (mm), em que o valor da interceptação é fornecido pela média dos cinco pontos, através da diferença do total precipitado pelo coletado nas calhas (T_i), se obtendo assim o total interceptado. Ressaltando que foram selecionadas precipitações de até 13mm, devido a capacidade de suporte de água dos coletores utilizados para medir o Throughfall (T_i). Considerando que o escoamento pelo caule (Stemflow) é muito pequeno, quando comparado ao T_i , a interceptação (I_{d_i}) pode ser estimada por:

$$I_{d_i} = P_i - T_i \quad (3)$$

Onde:

T_i = total de gotejamento (Throughfall) do dia i (mm).



Figura 14: Sistema de calhas utilizado para a medida da interceptação de água na plantação de soja

O sistema de coletores de interceptação e escoamento só foi implantado quando a cultura estava na fase fenológica V_{14} , aos 42 Dias Após o Semeio (DAS) e desinstalado quando a cultura atingiu a fase representativa de vagem cheia, gorda (R_6), aos 114 DAS, pois na fase de maturação (R_7) em virtude da senescência e queda das folhas a taxa de interceptação de água reduz-se a níveis consideráveis.

4.4.4.3 Escoamento superficial de água no solo

O escoamento superficial foi medido através de coletores (Figura 15) instalados em parcelas com 1m^2 , distribuídos em cinco pontos, 1 no norte, 1 no sul, 1 no oeste e 2 no leste, sendo a EMA o ponto de referência. A área na qual o experimento foi instalado possui baixa declividade (quase plana). As medidas das parcelas foram realizadas por evento de chuva, em tempo variado, com auxílio de uma proveta com leitura em milímetros, sendo o valor do escoamento superficial uma média das cinco parcelas.

continua



conclusão



Figura 15: Parcela utilizada para a medida do escoamento superficial da água na plantação de soja.

4.4.4.4 Evapotranspiração

a) Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A determinação da ET_c para todas as fenofases e a ser utilizada na equação do balanço, foi calculada através da equação abaixo:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (4)$$

Onde:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

K_c = coeficiente de cultura

b) Evapotranspiração de referência (ET_o)

A ET_o foi estimada a cada 10 minutos através da equação da FAO-56 Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), que é dada por:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot s \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{6,25}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (5)$$

Onde:

ET_o = evapotranspiração potencial de referência (mm.dia^{-1});

s = inclinação da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água, no ponto dado pela temperatura do ar, em ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$);

R_n = radiação líquida ($\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}^{-1}$);

G = fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}^{-1}$);

γ = coeficiente psicrométrico, adotou-se $0,0626$ ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$);

U_2 = velocidade do vento a 2m de altura (m/s);

e_s = pressão de saturação de vapor d'água (kPa);

e_a = pressão atual do vapor d'água (kPa);

6,25 = coeficiente que ajusta a escala de tempo, visto que o valor original da equação, 900, é aplicado no cálculo da ET_o em mm.dia^{-1} .

No cálculo da pressão de saturação de vapor d'água (e_s) em kPa, utilizou-se a equação:

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3} \right] \quad (6)$$

Onde:

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$)

O valor da inclinação da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água, s , é calculado por:

$$s = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (7)$$

Onde:

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

e_s = pressão de saturação de vapor d'água (kPa).

A pressão atual do vapor d'água, e_a em kPa, é calculada por:

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (8)$$

Onde:

UR = umidade relativa média do ar (%);

e_s = pressão de saturação de vapor d'água (kPa).

c) Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c) da soja foi determinado utilizando-se o cálculo pela razão da evapotranspiração da cultura calculada pelo método de Bowen (β) e pela evapotranspiração de referência (E_t), calculada pelo método de Penman - Monteith/FAO.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (9)$$

Onde:

ET_c = Evapotranspiração da cultura;

ET_o = Evapotranspiração de referência.

O cálculo da ET_c para determinar o K_c , foi estimado pelo método da razão de Bowen baseado no balanço de energia usado para ocasionar a evaporação da superfície (LE), foi realizado seguindo os procedimentos sugeridos por Pereira, Vila Nova e Sedyama (1997), dado por:

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda} \quad (10)$$

Onde:

LE = fluxo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$);

λ = calor latente de evaporação ($2,45 \text{MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$).

Foram descartadas as estimativas de ETc originárias de valores da razão de Bowen próximos de -1 (normalmente entre -0,7 e -1,3 pois tornam a equação 11 indefinida, igual a divisão por zero), conforme Uhland et al. (1996).

Ária (1988) relacionou os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), conforme a equação seguinte, sendo essa conhecida como razão de Bowen (β).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (11)$$

Onde:

H = fluxo de calor sensível ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

LE = fluxo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A razão de Bowen pode ser estimada através das relações do transporte vertical para H e LE, assumindo que exista a igualdade nos coeficientes de transporte Turbulento:

$$\beta = \frac{C_p P}{\lambda \cdot 0,622} \frac{\Delta T}{\Delta e} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (12)$$

Onde:

C_p = calor específico do ar seco ($\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$);

P = pressão atmosférica (Pa);

γ = coeficiente psicrométrico;

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

e = pressão atual de vapor d'água (Pa).

O fluxo de calor latente será obtido por meio da Equação 13, e o fluxo de calor sensível será obtido como o resíduo da Equação 14.

$$LE = \frac{Rn - \left(\frac{G_1 + G_2}{2} \right)}{(1 + \beta)} \quad (13)$$

$$Rn = H + LE + G \quad (14)$$

Onde:

Rn = saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

H = fluxo de calor sensível ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G = fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$);

G₁ = fluxo de calor sensível no solo a leste ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$);

G₂ = fluxo de calor sensível no solo a oeste ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$);

β = razão de Bowen;

LE = fluxo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

4.4.4.5 Umidade do solo

A determinação do armazenamento de água no solo do dia anterior foi determinada pelo armazenamento de água no solo, sendo medido através da umidade do solo por um sensor de Reflectometria no Domínio do Tempo – TDR CS615 (Campbell Scientific Instruments), instalado verticalmente no solo. O TDR é composto de duas sondas paralelas de 30 cm de comprimento, (Figura 16), onde uma sonda emite pulsos de energia eletromagnética que são detectados pela outra sonda paralela receptora dos sinais. O conteúdo de umidade do solo é definido por m^3 de água contido em m^3 de solo, atenuando os sinais da fonte controlada. Assim sendo, a intensidade dos sinais detectados na sonda receptora origina à média dessa variável ao longo do comprimento das sondas.

Os valores usados para a análise desta variável são representativos da camada referente da superfície do solo a 30cm de profundidade (0 – 30cm), e foram empregados no cálculo do armazenamento inicial da fórmula do balanço de água, através de transformações das unidades para se obter os valores em milímetro

(mm). Foi considerada a umidade volumétrica real registrada no TDR para cada mês, e para cada fase estudada.



Figura 16: Sensor de umidade do solo (TDR), instalado na plantação de soja.

4.4.4.6 Conteúdo de água retido pela soja

De acordo com metodologia adotada por Ponte de Souza et al., (2007b), o conteúdo de água na planta foi observado através da biomassa durante a evolução dos estádios fenológicos da soja, sendo realizada a primeira coleta 13 DAS. Semanalmente eram escolhidas aleatoriamente seis linhas de 2m, de onde eram coletadas 12 plantas para análise de biomassa, totalizando uma amostragem de 72 plantas por semana. Em seguida as plantas eram pesadas em laboratório, como peso vivo, separadas em partes (limbo foliar, caule, pecíolo, vagem, flor, raiz e grão), e posteriormente pesadas novamente (em partes), após isso, eram colocadas pra secar na estufa aerada a 80°C durante no mínimo 48 horas (ou mais até atingirem peso constante), acondicionadas em sacos de papel identificados. Então, retiravam-se as amostras da estufa e pesava-se novamente parte por parte da planta, definindo-se assim o peso seco da planta. Finalmente o conteúdo de água retido pela planta é estimado pela diferença entre o peso vivo e o peso seco da planta, a cada m² de cultivo do peso vivo.

4.4.4.7 Índice de área foliar (IAF)

O Índice de Área Foliar (IAF) foi medido durante o desenvolvimento fenológico da soja através do método de anel de disco segundo Benincasa⁴ (1998), apud Ponte de Souza et al., (2007b). Semanalmente eram selecionadas de forma aleatoria, seis linhas de 2 metros de comprimento de onde eram coletadas 12 plantas por linha. Retirava-se 10 discos de cada linha, totalizando 60 discos, onde posteriormente eram pesados, e levados à estufa por 48 horas até atingir peso constante.

De posse dos valores do peso seco dos discos, a área foliar era então estimada segundo Benincasa (1998) a seguir:

$$Af = \left(\frac{Ad * (Pd + Pf)}{Pd} \right)$$

$$Ad = (\pi.R^2) * n^o \text{ discos}$$

Onde:

Af = área Foliar

Ad = área dos discos

Pd = peso seco dos discos

Pf = peso seco do resto das folhas.

⁴BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: Funep, 42p. 1988.

De posse da área foliar, o Índice de Área Foliar (IAF) foi obtido da seguinte maneira:

$$IAF = \frac{Af}{As} = \frac{Af}{(D_{planta} * D_{linha})}$$

Onde:

As = área do solo

D_{plantas} = distância média entre plantas (≈ 10cm)

D_{linha} = distância média entre linhas (≈ 45cm)

O IAF foi analisado para os dias estudados e tidos como médios para todos os estádios fenológicos analisados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FENOLOGIA

A duração de cada estágio fenológico (fenofase) da soja é apresentada na Tabela 6, através de observações dos seus caracteres morfológicos, pois se conhecendo os estádios de desenvolvimento dessa cultivar, nos possibilita identificar as suas características morfológicas interrelacionando-as com a fisiologia da planta e as condições climáticas. A duração de cada estágio varia em função da cultivar, condições climáticas, da região, da época e do tipo de semeadura.

Observa-se a divisão no desenvolvimento da soja em duas fases, vegetativa (V), que teve duração de 46 dias, e reprodutiva (R), com duração de 84 dias (Tabela 6). Subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V₁, V₂, V₃, até V_n, menos os dois primeiros estádios que são designados como V_E (emergência) e V_C (estádio de cotilédone) e da fase reprodutiva, R₁ a R₈. A fase denominada de lançamentos dos nós (V_n) se apresentou como sendo a fase mais longa do ciclo da soja, com duração de 36 dias, seguida pela fase reprodutiva, granação (R₅), com exatamente 31 DAS. O ciclo total da soja para a variedade BRS Candeia teve a duração de 130 dias (Tabela 6).

Tabela 6: Fenofase da soja para a variedade BRS Candeia no ano agrícola de 2006 no município de Paragominas-PA.

DAS	Fases	Sigla	Denominação	Ocorrência	Duração
04		V _E	Emergência	05/02	04
10	Vegetativa	V _C	Cotilédone	10/02	06
46		V ₁ – V _n	Lançamento de nós	16/02	36
57		R ₁ - R ₂	Florescimento	24/03	11
68		R ₃ - R ₄	Frutificação	04/04	11
99	Reprodutiva	R ₅	Granação	15/04	31
114		R ₆	Vagem cheia	15/05	15
130		R ₇ – R ₈	Maturação	30/05	16

Em virtude da fenologia de uma cultivar depender de uma junção de fatores, torna-se inviável compará-la com valores médios de outras cultivares e com outras regiões, porém Fietz & Urchei (2002) encontraram valores semelhantes quando relacionados ao maior número DAS do ciclo total, pertencer ao estágio de lançamento de nós O resultado encontrado se iguala ao verificado por Confalone e Navarro (1999), que determinaram o maior DAS pertencer a fase reprodutiva.

5.2 PRECIPITAÇÃO

O total de chuvas ocorrido em Paragominas em 2006, no período referente ao cultivo da soja, pode ser visto na Figura 17, assim como, sua comparação com a climatologia (1980 – 1988). O mês de abril apresentou-se, em 2006, como o mês de maior índice pluviométrico, seguido pelo mês de março, com 367,3 e 306,6mm respectivamente, o que difere da média climatológica que nos mostra uma maior precipitação em março (399,6mm), seguida por fevereiro (331,4mm), mês este, registrado em 2006 com menos da metade (153,7mm) do total informado pela climatologia, não seguindo a tendência climatológica. É visível que a redução da precipitação ocorre a partir do mês de maio nas duas observações, com valores praticamente iguais; porém, a precipitação observada em de junho/2006 só foi registrada até o dia 15, data da colheita, e com isso, apresenta-se em torno da metade da média climatológica total para junho.

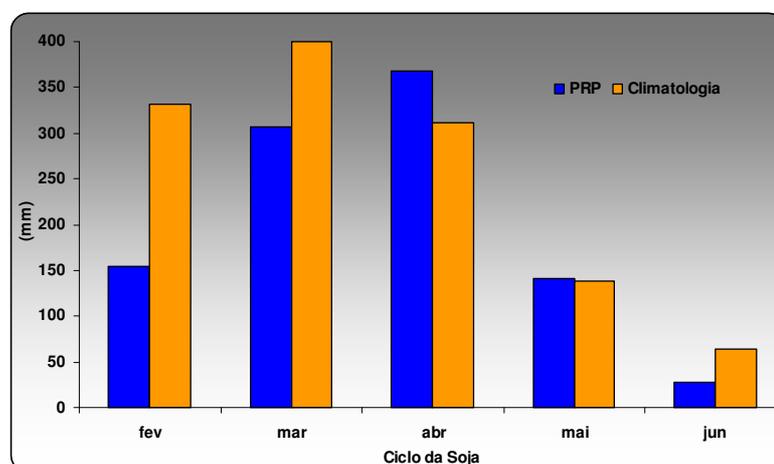


Figura 17: Precipitação pluviométrica total durante o experimento CT-HIDRO em 2006, até 15 de junho, comparada a média climatológica (1980-1988) para o município de Paragominas.

A frequência de precipitação diária dos meses em Paragominas pode ser observada na Figura 18, onde do total de dias do ciclo, correspondente ao início de fevereiro a meados de junho. De uma maneira geral as chuvas foram bem distribuídas, pois, em 79% dos dias do período observado, observou-se a incidência de evento de chuva (chuva isolada); sendo que, no mês de fevereiro se registrou precipitação em 86% dos dias, no mês de março, 90%, em abril, 93%, mês este que registrou no dia 04 o valor de 58,92mm, a máxima precipitação diária registrada durante o ciclo. Em maio precipitou em 74% dos dias e junho, 27%.

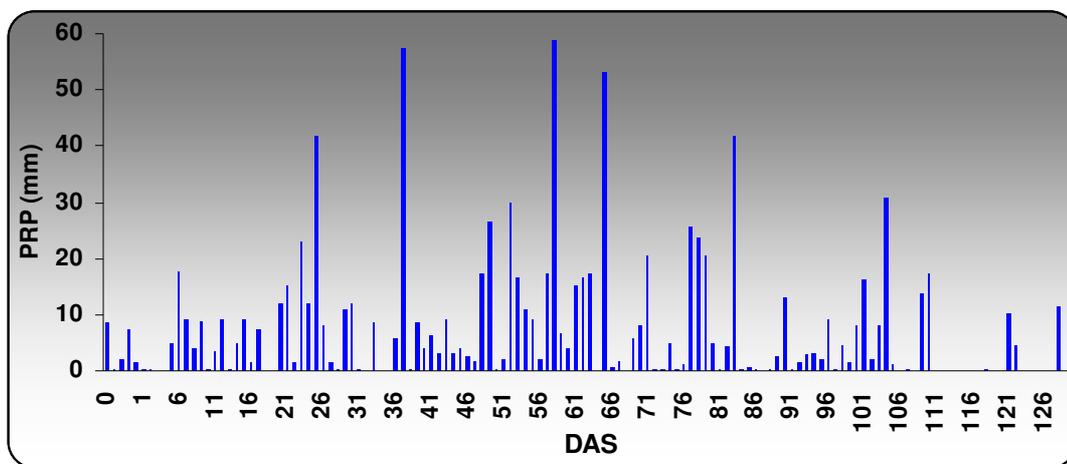


Figura 18: Distribuição diária das chuvas nos meses do cultivo da soja em 2006.

Considerando que o município de Paragominas, segundo Bastos et al. (2005), se caracteriza por apresentar total de chuva anual baixo e acentuado período seco, observa-se que a plantação de soja está sendo cultivada na época certa, com total aproveitamento da água pluvial com cultivo e maturação (colheita) com baixos índices pluviométricos, e altos índices quando a cultura já se encontra implantada (florescimento, frutificação e granação).

O total de precipitação registrado durante o ciclo da soja no município de Paragominas no ano de 2006, foi em torno de 995,17mm; sendo favorável ao cultivo de soja, pois segundo Câmara (1998a) que considera que regiões com precipitações médias anuais de 700 a 1.200mm, com boa distribuição (500 a 700mm) durante o ciclo das plantas, são aptas para a cultura da soja. De acordo com Sousa et al., (2007), a predominância de eventos de chuva ocorre durante o período da tarde, principalmente entre 12 e 17 horas, com eventos instantâneos (total em 10 minutos) que chegam a até 20mm.

O valor precipitado é consideravelmente menor quando comparado ao registrado pela média climatológica, de 1244,60mm; com diferença de 249,43mm no período, porém está pluviosidade supri as exigências de água para a cultura da soja, como descrito por Berlato, Matzenauer e Bergamaschi (1986) e EMBRAPA, (1994).

5.3 INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELO DOSSEL, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E IAF.

O comportamento da interceptação, do escoamento superficial e do IAF de acordo com a intensidade da chuva por m² de área no cultivo da soja é descrito na Tabela 7. Observam-se as oscilações de acordo com a intensidade da chuva e o IAF. Estes valores são úteis para se ter uma idéia de grandeza, pois os mesmos variam de acordo com as condições antecedentes de umidade, desenvolvimento de cultura e velocidade do vento.

Observa-se que as fases de florescimento, frutificação e granação apresentaram as maiores interceptações com índices médios em torno de 53%, 55% e 51% respectivamente. Em precipitações fracas, a água interceptada pode atingir valores perto de 80% da chuva (Tabela 7).

Tabela 7: Interceptação e escoamento superficial em 1m² de área, de acordo com a quantidade e característica da chuva e IAF nas fases fenológicas analisadas em campo durante o projeto CT_HIDRO.

Fases	IAF	Precipitação (mm)	Característica da Chuva	Interceptação (%)	Escoamento (%)
Vegetativa V14 – Vn	3,1	0,25	Chuva de fraca intensidade	79	0,0
		0,51	Chuva rápida	25	0,0
		2,29	Duração de 10 minutos	30	0,3
		6,35	Duas chuvas espaçadas	13	2,0
		9,91	Uma chuva forte	19	0,3
Florescimento R1 - R2	5,7	2,03	Duas fracas e próximas	57	0,5
		4,32	Várias chuvas leves	48	0,4
		5,33	Duração de 40 minutos	60	1,2
		8,13	Uma de forte intensidade	47	1,6
Frutificação R3 - R4	6,6	2,29	Várias leves	53	0,5
		3,69	Uma intensa e uma fraca	54	0,4
		5,97	Duas chuva leves e uma intensa	59	1,7
Granação R5	7,1	1,78	Chuva contínua e outras leves	54	0,1
		2,92	Uma chuva contínua	58	0,2
		4,20	Várias chuvas	48	1,3
		7,24	Chuva intensa e várias fracas	49	1,4
		9,14	Forte e outra fraca	41	1,7
10,42	Fracas e uma forte e longa	56	1,9		
Vagem Cheia R6	5,3	7,05	Uma chuva contínua	32	2,2
		10,92	Uma chuva fraca e outra forte	21	1,8
		13,72	Chuva forte e intensa	34	3,7

A mesma quantidade de precipitação pluviométrica (0,25mm) observada na fase de crescimento V₁₄, intercepta uma menor quantidade do teor relativo de água quando comparado a fase R₅, pois nesta fase a cultura encontra-se totalmente desenvolvida, com maior valor de IAF e totalmente expandida; enquanto que o escoamento apresenta comportamento contrário. Comportamento idêntico quando ocorrido com uma alta precipitação (Tabela 7).

A maior e menor taxa de precipitação ocorreu na fase vegetativa, 79% e 13%, respectivamente, considerando o evento de 0,25mm, de fraca intensidade. Porém, se comparando com precipitações mais intensas, observa-se maiores

interceptações na fase reprodutiva (R). O escoamento teve a sua maior taxa (3,7%) na fase R₆, até pelo fato da precipitação ter sido a de maior volume, e também pela sua característica, forte e intensa (Tabela 7).

As precipitações apresentadas entre 9 e 10mm nas fases fenológicas da Tabela 7, com característica forte, apresentaram valores de interceptação como esperado, aumentando de maneira gradativa a taxa de retenção de água pela copa de acordo com o IAF, porém é interessante observar a ocorrência de precipitação em copa molhada por uma chuva antecedente, onde a interceptação tende a diminuir a valores consideráveis pelo fato da copa se encontrar saturada e perdendo a capacidade de interceptar, como foi o caso da R₆.

A média da interceptação (Tabela 8) configura-se como o esperado, de acordo com desenvolvimento da planta, interceptando menos na fase vegetativa, aumentando consecutivamente no florescimento, frutificação, até chegar ao máximo na granação. Na fase R₆, a planta encontra-se com as vagens totalmente cheias, pesadas, com IAF menor, não estando mais totalmente expandidas como na fase R₅, mesmo apresentando ainda as folhas verdes.

Tabela 8: Média de interceptação e escoamento superficial nos estádios fenológicos avaliados no campo experimental.

Fase	IAF	Media Inter (%)	Media Esc (%)
Vegetativa (V _n)	3,1	33,0	0,7
Florescimento (R ₁ - R ₂)	5,7	53,0	0,9
Frutificação (R ₃ - R ₄)	6,6	55,3	1,0
Granação (R ₅)	7,1	60,9	0,7
Vagem Cheia (R ₆)	5,3	27,5	2,0
		45,9	1,0

Na Tabela 8, observa-se que o escoamento superficial não apresenta uma seqüência lógica como a interceptação, pois depende intimamente das condições de umidade do solo no momento do evento, do IAF e também da quantidade desse evento. O tipo de solo, no caso de Paragominas, que contém uma grande quantidade de argila, age como uma verdadeira “esponja” na retenção desse escoamento superficial. A área onde foi instalado o experimento apresentava baixa

declividade, quase plana. Os baixos valores de precipitação utilizados, também contribuem para uma resposta não coerente.

Portanto, a maior interceptação registrada foi na fase de granação (R_5), 60,9% e a menor na fase de vagem cheia (R_6), 27,5%, com média final para o ciclo da soja de 45,9%. Para o escoamento superficial, mensuraram-se valores máximos de 2% na fase R_6 e mínimos de 0,7% na fase vegetativa, com média final para o ciclo de 1,0%.

Na Figura 19, é bem visível o desempenho da interceptação e do escoamento superficial. Na fase V_{14} com uma precipitação de 10mm, a soja intercepta cerca de 19%, enquanto que para precipitações mais baixas (2mm) interceptam 80% do total de chuvas. Os mesmos 10mm de chuva são interceptados a 50 – 60% na fase R_5 , decaindo novamente na fase R_6 a 25%. O escoamento, em comparação com o mesmo período registrou valores quase nulos em V_{14} , porém na fase R_5 nota-se um valor bem mais alto, devido a constantes precipitações ocorridas anteriormente, saturando o solo de água e proporcionando essa elevação registrada. Em R_6 , o escoamento superficial foi bem mais elevado em virtude de uma menor interceptação e de altos índices pluviométricos.

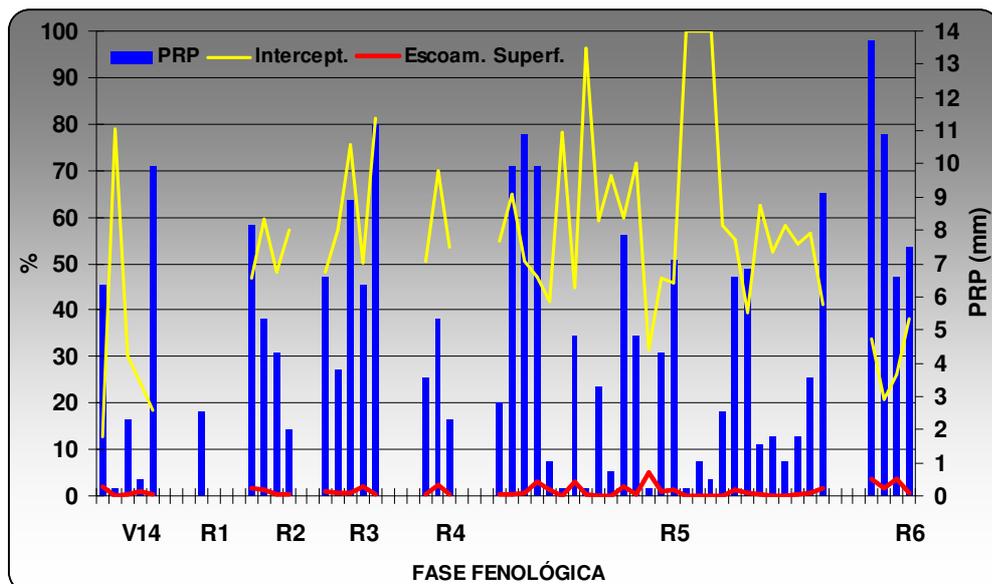


Figura 19: Comportamento da interceptação da água da chuva e escoamento superficial de acordo com a intensidade pluviométrica.

Na consolidação do estágio reprodutivo (Figura 19), nas fases R₁, R₂, R₃, R₄ e R₅, a interceptação se concentra na faixa de 50 – 70%, o que está diretamente associado ao IAF, que segundo Board e Harville (1996), verificaram que a maior taxa de crescimento da cultura ocorre entre as fases fenológicas reprodutivas R₁ e R₅, devido ao aumento do IAF. Posterior redução é verificada na faixa de 20 – 40% na fase R₆. O escoamento não obedece a mesmo padrão, porém o maior pico, em torno de 5%, registrado foi na fase R₅, coincidindo com a menor interceptação da fase (30%). Nesta mesma fase, também nota-se a maior interceptação do período analisado, 100%, para baixas precipitações, tendo como consequência um escoamento superficial nulo (0%). Pode-se observar que antes de atingir a saturação, ou em horas de chuvas onde ela não é atingida, a vegetação intercepta quase que totalmente a precipitação.

O resultado da interceptação para chuvas menores que 13mm foi de 45,9% encontrado em Paragominas no cultivo de soja, está no limite de máximos valores de interceptação encontrados em floresta, citados por Jordan e Heuveldop (1981) e Read (1977), que relatam que a interceptação da chuva em florestas tropicais varia consideravelmente, entre 4,5 e 45%. Entretanto, foi muito maior do que todos os valores interceptados para florestas, mostrados na Tabela 9. Provavelmente numa floresta, segundo Jardim e Hosokawa (1987), o fator que mais contribuiu para a interceptação da chuva, é a estrutura florestal muito heterogênea, e a composição morfológica da vegetação variável. A saturação é atingida, seja pela intensidade da precipitação ou, como cita Valente (1990), pela estrutura foliar da vegetação local que possui folhas grandes, lisas e com uma camada cerosa que tende a diminuir a capacidade de retenção de água. Pode-se pensar, também, que a própria orientação e formato das folhas facilitam a drenagem. Isto explica porque não se observam grandes variações na quantidade interceptada com o aumento da precipitação após a saturação da vegetação, após a capacidade de armazenamento máximo ser atingida.

Tabela 9: Comparativo dos valores (%) obtidos de precipitação interna (PI), interceptação (I) e escoamento pelos troncos (Si) para estudos realizados em diferentes sítios florestais na Amazônia brasileira.

Local	PI	I	Si	Autor
	(% de P)			
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	77,7	27,7	0,3	Franken et al.(1982a)
Reserva Florestal Ducke (AM)	80,2	19,8	-	Franken et al.(1982b)
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	-	25,6	-	Schubart et al.(1984)
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	78,4	21,3	0,3	Leopoldo et al.(1987)
Reserva Florestal Ducke (AM)	89,3	8,9	1,8	Leopoldo et al.(1987)
Reserva Florestal Ducke (AM)	91,0	7,2	1,8	Lloyd & Marques Filho (1988)
Reserva Vale do Rio Doce (PA)	86,2	13,0	0,8	Ubarana (1996)
Reserva Biológica do Jarú (RO)	87,0	11,6	1,4	Ubarana (1996)
Floresta Intacta, ZF-2, km 23 (AM)	80,8	19,2	-	Ferreira et al. (2005)
Floresta aberta Rancho Grande (RO)	89,8	2,4	7,8	Germer et al. (2006)
Florestal Nacional de Caxiuanã (PA)	76,8	21,5	1,7	Oliveira (2007)

Fonte: Oliveira (2007).

O escoamento pelos troncos (Stemflow), Tabela 9, constitui uma pequena parcela do total precipitado (de 1 a 15%), com sua medição somente sendo viável para vegetação com tronco de magnitude razoável (TUCCI, 1993). Em algumas medidas experimentais no cultivo da soja, observou-se que o stemflow era baixo e de difícil medida, e segundo Helvey e Patric, (1965), o pequeno volume e o custo de sua medição tornam o escoamento do caule muitas vezes negligenciado nos estudos de interceptação.

Analisando dados de florestas (OLIVEIRA et al., 2006b), em especial a época seca que apresenta eventos de chuva menos intensos e em menor quantidade, a comparação com a interceptação no cultivo da soja, se torna mais próxima (Tabela 10), inclusive em relação ao total precipitado no período seco na floresta de 234,60mm e interceptando 92,9mm (39,6%), em relação a área de monocultura de soja, com total precipitado e analisado de 222,1mm e interceptado 102mm (45,9%).

Tabela 10: Valores sazonais de precipitação (P), e interceptação (I), durante os períodos chuvoso (18 de março a 27 de junho) e o seco (02 de agosto a 28 de novembro) de 2004 para floresta de Caxiuanã; e para cultura da soja em Paragominas (05 de fevereiro a 15 de junho de 2006).

Período	P		I		P		I	
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
	Floresta				Soja			
Chuvoso	701,4	104,2	14,9	222,1	102,0	45,9		
Seco	234,6	92,9	39,6	-	-	-		

Os efeitos de sazonalidade também foram verificados no comportamento da interceptação por Ubarana (1994), que percebeu que as perdas por interceptação, em relação a precipitação incidente, são mais importantes na estação seca do ano, com valores percentuais maiores. A própria distribuição das chuvas, comparando-se as duas estações, faz com que a perda por interceptação seja maior, percentualmente falando, na estação seca. Nesta estação os eventos de chuva são fracos e propiciam, por várias vezes, a não saturação do dossel, em que a alteração na capacidade de armazenamento do dossel se justifica, pois como explica Sellers et al. (1989), a interceptação tem pouca dependência com os parâmetros morfológicos da vegetação sendo mais sensível a capacidade de armazenamento.

Além da menor quantidade de chuva que atinge a região, grande parte desta é perdida por evaporação da água interceptada na vegetação. A interceptação durante a estação seca do ano é quase o dobro, em termos percentuais, da interceptação que ocorre no período das chuvas (UBARANA, op.cit).

Durante a estação seca do ano, a vegetação passa mais tempo seca do que molhada se comparada com a estação úmida. Existe uma grande diferença entre a resistência aerodinâmica e a resistência devido a superfície, sendo a primeira muito menor que a segunda em um dossel seco. Isto significa que a água interceptada pode evaporar-se a uma taxa bem mais rápida que a transpiração na estação seca. Em um dossel molhado, durante ou após uma chuva, o déficit de pressão de vapor e a energia disponível têm valores que são aproximadamente um quinto dos que os verificados nos dias sem precipitação (MONTEITH, 1981).

Outro resultado observado em florestas é o comportamento dos percentuais interceptados. Segundo Ubarana (op.cit) para taxas bem elevadas de precipitação incidente, acima de 40mm/hora, a interceptação tem valores pequenos se comparada a precipitação incidente. No extremo oposto, quando se verifica chuvas com taxas menores que 2mm/hora, as perdas por interceptação podem chegar a quase 60% do total de precipitação; valores estes também observados no cultivo da soja nas fases fenológicas de florescimento (R₂) e granação (R₅). São eventos de chuva muito fraca que, por vezes, nem chegam a saturar o dossel. Resultados semelhantes foram obtidos por Jackson (1971), estudando valores observados de interceptação para florestas tropicais na Tanzânia.

Quando se refere ao escoamento superficial, não existem trabalhos em florestas que abordem tal assunto, quando comparado com a precipitação ou mesmo com eventos em uma área menor. Entretanto, Burger (1976) avalia o escoamento superficial em florestas direcionado a área de bacia, variando de acordo com a porcentagem de cobertura florestal (Tabela 11). Portanto, não é viável uma relação de escoamento superficial, como a mensurada no cultivo de soja em Paragominas, calculada como média de 1% por m², com uma extensa área aplicada a uma bacia hidrográfica, descrita na Tabela 10; a critério de informação.

Tabela 11: Relação entre a cobertura florestal e o escoamento superficial

Cobertura Florestal (%)	Escoamento Superficial (%)
0	100
8	77
40	58
90	43
100	25

Fonte: Burger (1976).

A intensidade do escoamento superficial de uma floresta depende de alguns fatores, tais como, declividade, espécies, idade e densidade dessa floresta; exposição (encostas, ao Norte...); manta ou liteira; vegetação de sub-bosque e rasteira; textura e estrutura do solo; o uso da floresta; tipo de colheita; aceiros e carregadores; queimadas, etc.

Conhecendo a gravidade dos problemas causados pelo escoamento superficial, deve-se considerar a importância da floresta na retenção dessas águas. Geralmente esse tipo de escoamento em áreas florestais é muito pequeno devido à grande infiltração e retenção da água pela liteira e pelas camadas superficiais do solo. Portanto, o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura da floresta.

5.4 INFILTRAÇÃO

A Figura 20 apresenta graficamente o comportamento da velocidade de infiltração da água no solo em relação ao tempo de infiltração, indicando que no início do processo a taxa de infiltração é alta e à medida que o tempo aumenta a infiltração diminui, até atingir um valor quase constante, denominada de velocidade de infiltração básica. O inverso do comportamento da velocidade de infiltração pode ser visto com a infiltração acumulada de água no solo.

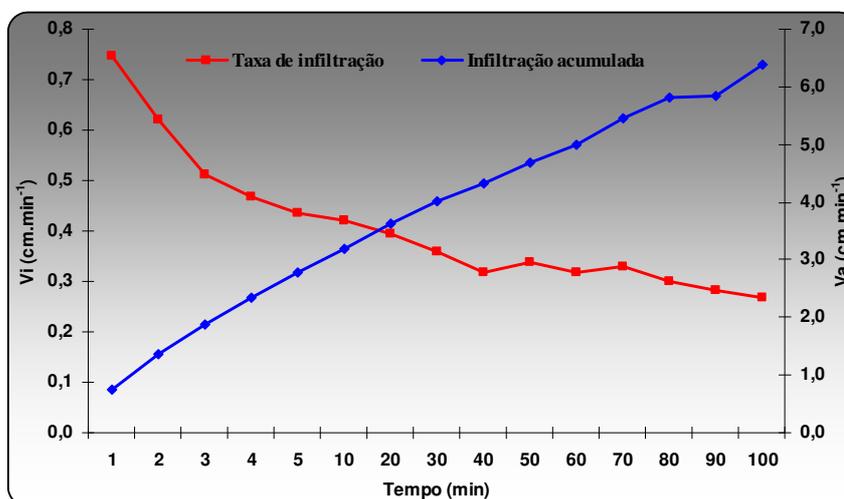


Figura 20: Curva dos valores médios da taxa de infiltração (V_i) e infiltração acumulada (V_a) medidas em campo (fev. a mai/2006).

Analisando a Tabela 12, e visivelmente pela Figura 20 acima, pode-se observar que no início do processo, a velocidade de infiltração foi relativamente rápida ($0,75 \text{ cm.min}^{-1}$) e não se repetindo mais durante todo o tempo, e decrescendo até um valor aproximadamente constante (velocidade de infiltração básica)

estabilizando-se no tempo de aproximadamente 100 min ($0,27 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$). O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se alterava pelo menos 0,1 cm.

Tabela 12: Estatística dos dados de velocidade de infiltração (V_i) e infiltração acumulada de água no solo (V_a), e desvio padrão (DVP).

Tempo (min)	Média V_i ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)	DVP_ V_i ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)	Média_ V_a ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)	DVP_ V_a ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)
1	0,75	0,60	0,75	0,60
2	0,62	0,48	1,37	0,92
3	0,51	0,46	1,88	1,28
4	0,47	0,42	2,35	1,68
5	0,44	0,41	2,78	2,04
10	0,42	0,38	3,20	2,40
20	0,39	0,34	3,62	2,76
30	0,36	0,32	4,01	3,08
40	0,32	0,30	4,33	3,35
50	0,34	0,31	4,68	3,63
60	0,32	0,28	5,00	3,91
70	0,33	0,31	5,46	4,18
80	0,30	0,30	5,82	4,63
90	0,28	0,29	5,84	4,80
100	0,27	0,21	6,38	4,52

Os 31 dados de infiltração demarcados na área foram analisados empiricamente, por meio de ajustes de três funções não lineares, exponencial, logarítmica e potencial, com o intuito de verificar a confiabilidade dos dados. A determinação dos parâmetros de infiltração através dessas regressões não lineares para os 31 testes de infiltração realizados, mostram que os coeficientes de determinação (R^2), entre os valores médios de velocidade de infiltração obtidos em campo (experimentais) e os valores médios calculados pelas regressões foram superiores a 0,9000, e indicam que todas as regressões não lineares são satisfatórias no cálculo da taxa de infiltração de água do solo. O alto coeficiente de determinação, $R^2 = 0,9833$, indica que a função logarítmica apresentou os melhores resultados para o cálculo da velocidade de infiltração, para todas as médias calculadas, aproximando-se dos valores medidos em campo (Figura 21).

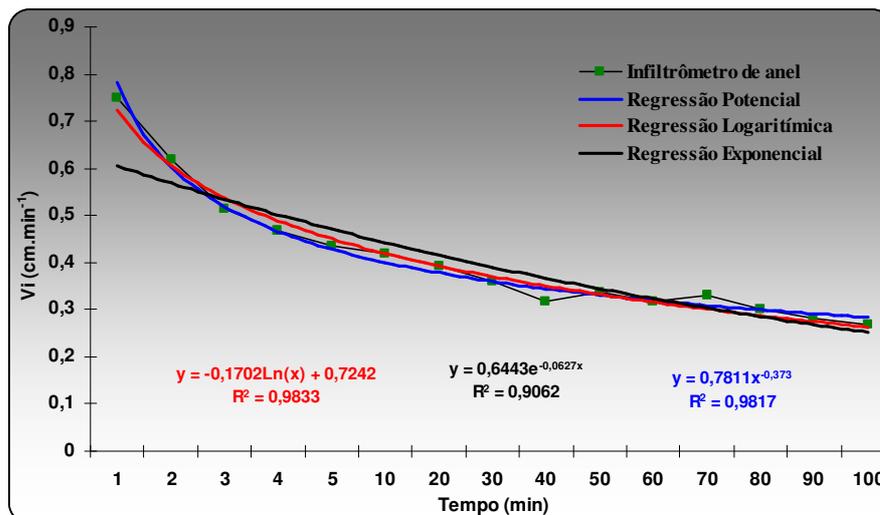


Figura 21: Velocidade de infiltração (média) obtida em campo e os cálculos pela regressão linear.

Em comparação com a Floresta Nacional de Caxiuanã, que apresenta latossolo amarelo distrófico constituído em sua camada superior de 50 cm de profundidade por argila arenosa a média com 53% de argila, 37% de areia e 10% de silte (SOUZA et al., 2002), Costa et al. (2006) obteve dados na faixa de $1,50\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ e $0,18\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para velocidade de infiltração inicial no 1º minuto e de velocidade de infiltração média, nos 100 minutos, respectivamente. Resultado bem acima, quando comparado ao encontrado em Paragominas, $0,75\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ inicial e abaixo, $0,27\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ (V_i) de velocidade de infiltração média, na cultura de soja, que possui segundo Rodrigues et al. (2002) solo do tipo latossolo amarelo de textura média e muito argilosa (60% de argila). O efeito também é notado na média da infiltração acumulada, com valor de $12,45\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para Caxiuanã, de acordo com Martins et al. (2005) e $6,48\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para a soja em Paragominas.

Observa-se também que, quanto mais seco é o solo, maior é a velocidade média de infiltração (OLIVEIRA et al, 2006a), como demonstrado em Paragominas ($0,27\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$) em comparação com a floresta nacional de Caxiuanã ($0,18\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$), pois o tipo de solo latossolo areno-argiloso por suas propriedades físicas, facilita a infiltração de água no solo no momento inicial, pois a água penetra mais rapidamente em solos com alta proporção de areia (partículas $> 2\text{mm}$) do que em solos com elevada proporção de partículas de argila (partículas $< 2\text{mm}$). Mas ao secar, as argilas retêm mais água, devido ao seu potencial matricial. O solo de florestas tropicais possui uma cobertura de matéria orgânica (littera) muito espessa,

com bastante enraizamento dos vegetais, mantendo assim alta capacidade de absorção, contribuindo de maneira positiva para uma maior capacidade de infiltração e percolação, e diminuindo consideravelmente as perdas de água no solo.

Isto nos mostra que o papel da cobertura vegetal e o estado da superfície e o tipo de solo controlam a capacidade de retenção ou de armazenamento de água no solo. Os solos de cultivo da soja em Paragominas, em geral, ficam uma boa parte do tempo expostos à radiação solar, a temperaturas mais altas, sem proteção (liteira), a uma taxa de evaporação bem mais elevada e menos úmidos que em florestas, motivo para se ter mensurado um valor maior de velocidade média de infiltração.

5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração da cultura (ET_c), também conhecida como evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), é estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada pela equação de Penman-Monteith/FAO56, sendo aplicada para todas as fases fenológicas da cultura, tomando como base a escolha de dias dentro de cada fase.

A Figura 22 mostra a evapotranspiração de referência (ET_o) e de cultura (ET_c), mensurada para todos os dias em que havia dados consistentes (bons, confiáveis) para os estádios de crescimento da soja. O maior valor de ET_c calculado para os dias analisados foi encontrado na fase de florescimento-R₂ (6,42mm.dia⁻¹), demonstrado na Figura 22, decrescendo gradativamente até o final do ciclo da soja em virtude da diminuição do consumo de água, da alta nebulosidade (Figura 23), senescência das folhas e redução da atividade fisiológica na fase de maturação, com a conseqüente redução da área foliar. Resultado similar foi encontrado pela EMBRAPA (2004), que relata que a necessidade de água na cultura da soja aumenta com o desenvolvimento desta, podendo atingir o máximo no período da floração-enchimento de grãos, necessitando de 7 a 8 mm.dia⁻¹, e decrescendo após este período. Berlato e Bergamashi (1978), também encontraram o maior consumo

de evapotranspiração diária para o estágio R₂ de 7,4mm; assim como Berlato et al., (1986), com valor médio diário de 7,5mm durante o subperíodo compreendido entre o início da floração e o início do enchimento de grãos.

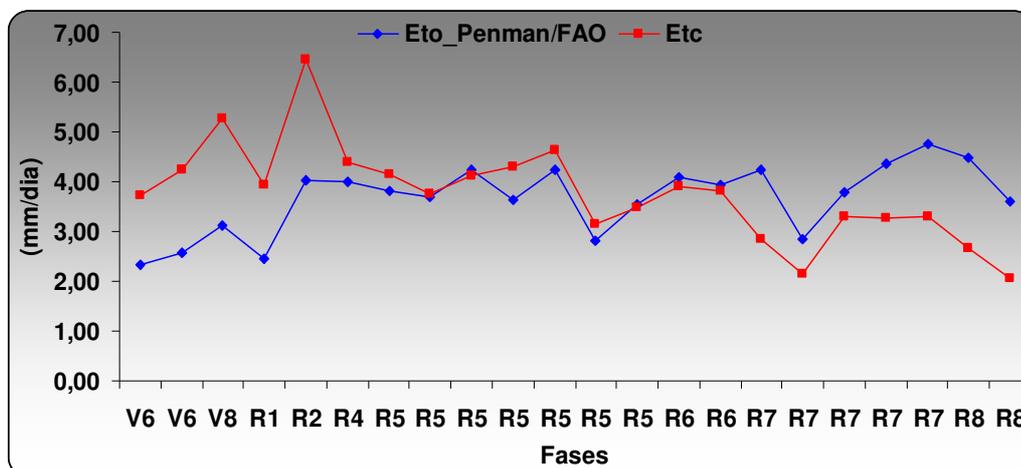


Figura 22: Evapotranspiração de referência (Eto) e máxima da cultura (ETc) para as fases fenológicas da soja em 2006.

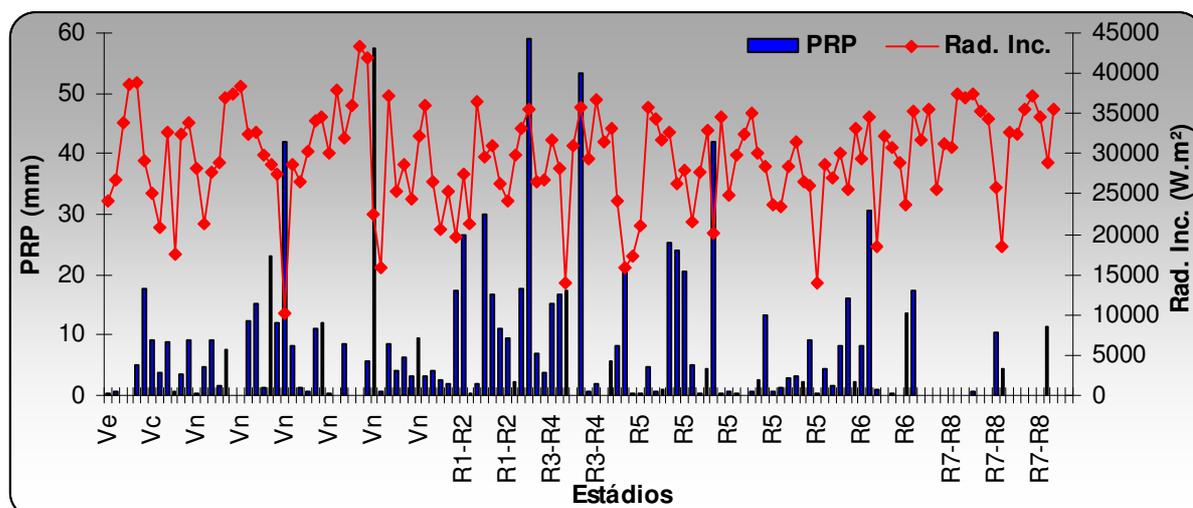


Figura 23: Comportamento diário da radiação incidente e da precipitação de acordo com as fenofases

Na cultivar BRS Candeia, foi encontrado o maior valor de ETc para o estágio de desenvolvimento da soja, compreendendo do período inicial da floração (R₁) ao estágio de enchimento dos grãos (R₅) com valor de evapotranspiração de 221,14mm. Resultado este, próximo aos encontrados por Berlato et al., (1986), pois cita que o subperíodo de desenvolvimento da soja em que foram verificados os maiores valores de evapotranspiração máxima da cultura foi do início da floração ao

início do enchimento de grãos (R_1 - R_5), com valores médios de E_{tc} que variaram de 249mm a 339mm.

Valores encontrados de E_{tc} na fase de maturação R_7 e R_8 , na ordem de 2,98 e 2,37 mm.dia^{-1} , respectivamente, demonstram o que é mencionado por Câmara (1992, 1998a), em que o período próximo à maturação final (a partir de R_7) caracteriza-se pela baixa exigência de umidade, sendo favorecido pela ausência de chuvas. Nesta fase, o excesso hídrico atrasa a colheita e pode ocasionar problemas ao amadurecimento normal dos grãos, proporcionando maior ocorrência de microorganismos e acelerando a maturação normal dos mesmos.

A necessidade hídrica da cultura pode ser observada de acordo com a respectiva fase fenológica na Figura 24. O valor médio de E_{tc} encontrado para o ciclo completo da cultivar BRS Candeia foi de 3,80 mm.dia^{-1} , bem abaixo da média encontrada por Berlato et al. (1986), que determinaram a E_{tc} da soja para o período 1974/75-1981/82, nas condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul, um valor médio da cultura de 6,1 mm.dia^{-1} ; e por Berlato e Bergamashi (1978), que encontraram média de 5,8 mm.dia^{-1} .

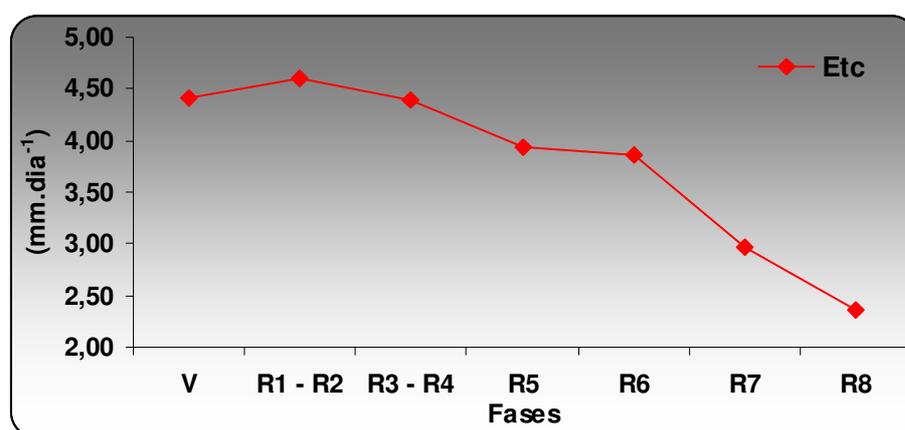


Figura 24: Evapotranspiração da cultura (E_{tc}) média para as fases fenológicas.

O valor total de evapotranspiração da cultura calculado para o ciclo completo da soja (130 dias), foi de 524,78mm. Este resultado está dentro do determinado pela EMBRAPA, (1994) que descreve que a exigência de água para a cultura da soja, está na faixa de 300 a 850mm, dependendo da cultivar, da época e das condições meteorológicas locais. Matzenauer et al., (1998) determinaram um

valor médio de evapotranspiração total no ciclo da cultura variando de 664 mm na época de semeadura de dezembro para Cruz Alta - RS, e 930mm para época de semeadura de outubro para Júlio de Castilhos – RS. Berlato, Matzenauer e Bergamaschi (1986) também determinaram, que o consumo total de água durante o ciclo da cultura foi de 820mm durante o período 1974/75-1981/82 para as condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul, indicando elevada quantidade do teor relativo de água necessária para o crescimento e desenvolvimento da soja. Grande parte dessa redução no consumo de água, observado no leste da Amazônia, quando comparado com outras localidades, possivelmente se deve a enorme variabilidade de nebulosidade (Figura 22) existente na área de estudo, ocasionando redução da intensidade luminosa (radiação incidente), proporcionando assim o aumento da eficiência do uso da radiação difusa.

O uso do coeficiente de cultura (K_c), calculado para a cultivar BRS Candeia no ano agrícola de 2006 em Paragominas, é apresentado na Figura 25, com valores médio e representativos para cada fase fenológica da soja, pois segundo Farias et al. (2001), se conhecer a quantidade de água consumida pela cultura em cada um dos vários períodos de crescimento permite ajustar as datas da semeadura de forma que as fases de crescimento mais críticas coincidam com os períodos aos quais é mais provável a água estar disponível.

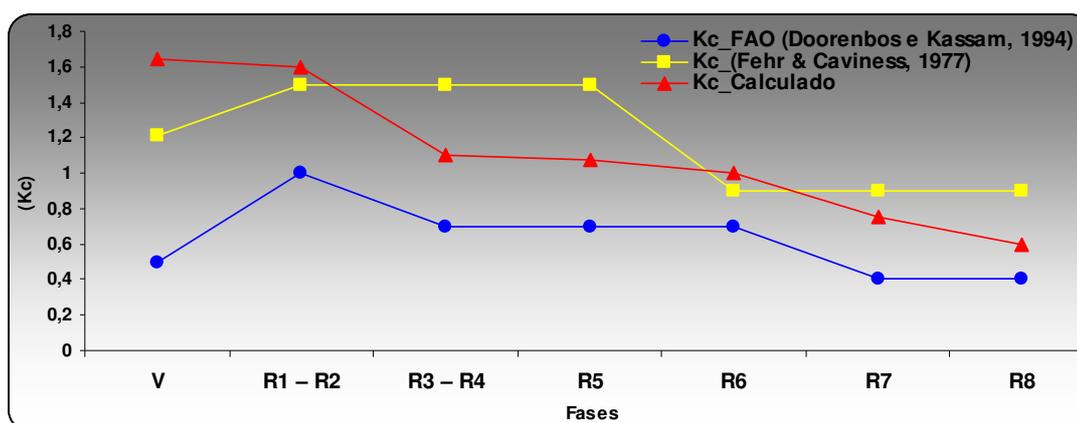


Figura 25: Representação gráfica dos coeficientes de cultura (K_c), da literatura e calculado.

O K_c calculado através da média dos dias analisados pode ser visualizado na Figura 25, apresentando alto valor na fase vegetativa (1,64), em checagem com os autores comparados, 1,21 para Fehr e Caviness, (1977) e 0,5 para Doorenbos e

Kassam, (1994). O K_c calculado assume comportamento semelhante ao indicado pela FAO de Doorenbos & Kassam (1994), decrescendo do período de florescimento (R_1 - R_2) de 1,6 para a fase de frutificação (R_3 - R_4) de 1,1 até a maturação plena (R_8) de 0,6; entretanto sempre se apresentando maior que o mesmo. As comparações dos coeficientes de cultura da Figura 25 se mostram bem similares quando relacionadas à fase de vagem cheia (R_6), apresentando uma convergência de valores próximos a 1,0.

A razão entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência origina os coeficientes de cultura, que dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da configuração de plantio e das condições meteorológicas reinantes. Esses coeficientes podem ser utilizados quando já estiverem sido determinados para a cultura de interesse, na estimativa da evapotranspiração da cultura, necessitando-se apenas de dados meteorológicos referentes à demanda atmosférica (WRIGHT, 1988). Motivo de tanta divergência nos coeficientes de cultura comparados acima.

A evapotranspiração de cultura calculada (ET_c) para os dias das fases (Figura 26), nos mostra a diferença em se calcular a ET_c utilizando coeficientes predeterminados e definidos de maneira geral, sem se levar em consideração a cultivar, as condições climáticas e a estrutura da plantação. O maior valor de ET_c , $6,45\text{mm.dia}^{-1}$, é mostrado pelo método calculado para a área do experimento, porém os maiores valores de ET_c , ao longo de todo o ciclo, são apresentados pelo método de Fehr e Caviness (1977), enquanto os menores, pelo método de Doorenbos e Kassam (1994), portanto um método superestima e o outro subestima, respectivamente, a ET_c calculada para a região de Paragominas, cultivar BRS Candeia no ano agrícola de 2006.

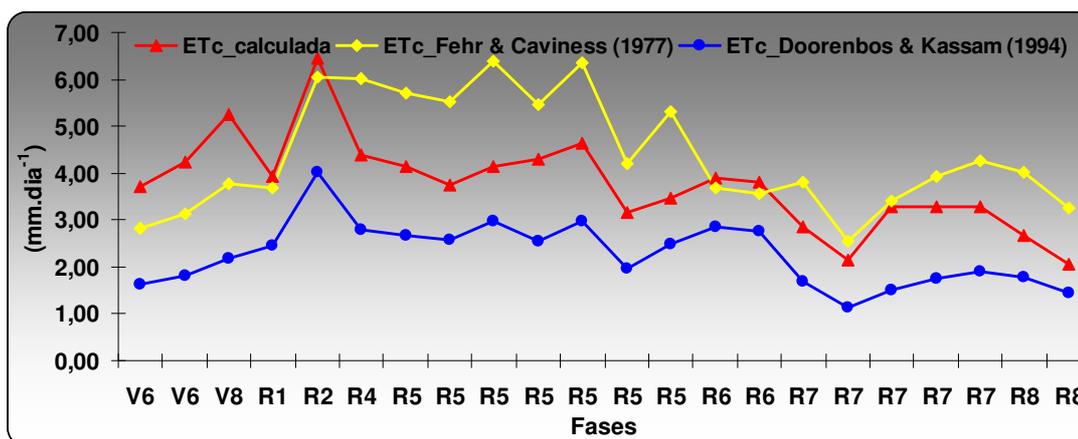


Figura 26: Evapotranspiração da cultura: calculada por Bohen, Fehr e Caviness (1977) e Doorenbos e Kassam (1984)

O regime de chuvas na região amazônica não apresenta uma estação seca bem definida, sendo, entretanto, possível diferenciar o período chuvoso e menos chuvoso. Em Caxiuanã, os meses de dezembro a maio representam a estação chuvosa, e os meses de agosto a novembro a estação menos chuvosa.

Na floresta de Caxiuanã, de acordo com Chagas, Souza e Rocha (2006), aproximadamente 74% das chuvas ocorrem no primeiro semestre do ano, entre janeiro e junho (1.443mm), enquanto que no semestre de julho a dezembro de 2003 choveu em média 512 mm, ou seja, corresponde a 26%. Chagas, Sousa e Rocha (op.cit) encontraram valores através da equação de Linacre (1977) e Hargreaves e Samani (1985) para os meses mais quentes (Julho a novembro), em que a evapotranspiração atingiu seu maior valor, sendo que no mês de setembro (estação menos chuvosa) os dois métodos apresentaram taxa de evapotranspiração máxima (4,00mm.dia⁻¹ por Hargreaves-Samani e 3,86 mm.dia⁻¹ por Linacre). Na monocultura de soja foi encontrado um valor médio para a cultura toda de 3,80mm.dia⁻¹, tendo seu pico no dia 02/04/2006 (6,42mm.dia⁻¹).

Souza Filho et al. (2005), através de medições micrometeorológicas de fluxos de energia e concentração de vapor d'água, obtidos através de um sistema de correlação de vórtices turbulentos (eddy covariation), para a floresta nacional de Caxiuanã no ano 1999, encontraram valor de transpiração para o período chuvoso menor que o encontrado para o período menos chuvoso com médias diárias de 2,90 mm.dia⁻¹ e 4,30mm.dia⁻¹ respectivamente (Tabela 13). A maior evapotranspiração

verificada no período menos chuvoso ocorreu apesar da condutância da superfície ser menor neste período, indicando que esse processo teve um maior controle exercido pela maior disponibilidade de energia e pela maior condutância aerodinâmica.

Tabela 13: Evapotranspiração para floresta e soja.

Tipo de Vegetação	Métodos	Evapotranspiração
Floresta	Linacre (1977)	3,86 mm/dia
	Hargreaves-Samani (1985)	4,00 mm/dia
	Eddy covariation	4,30 mm/dia
Soja	FAO-56 Penman-Monteith	3,80 mm/dia

Sendo assim, a evapotranspiração na floresta apresentou-se maior em todos os métodos calculados, quando comparado ao cultivo da soja (Tabela 13), com valor praticamente igual quando comparado ao método de Linacre (op.cit).

5.6 UMIDADE DO SOLO

O comportamento da umidade volumétrica do solo durante o período estudado, 05 de fevereiro a meados de junho, plantio e colheita, respectivamente, é mostrado na Figura 27, com um espaçamento diário na forma de Dias Após o Semeio (DAS). O comportamento mensal médio da umidade do solo no cultivo da soja é bem definido, e se mantiveram estáveis durante todo o período analisado, onde, os maiores valores de umidade do solo ocorreram sempre na época de máxima precipitação, observados nos meses de março e abril, meses mais chuvosos e o período em que a cultura encontrava-se na fase de enchimento dos grãos (R_5), com o maior índice de área foliar (IAF).

No mês de fevereiro (Figura 27a), mas precisamente no dia do plantio da soja, a umidade do solo estava em torno de $0,374\text{m}^3.\text{m}^{-3}$, com ligeira queda a $0,344\text{m}^3.\text{m}^{-3}$, porém, com a entrada da precipitação se eleva rapidamente e se mantém, fechando o mês a $0,390\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ (Tabela 14).

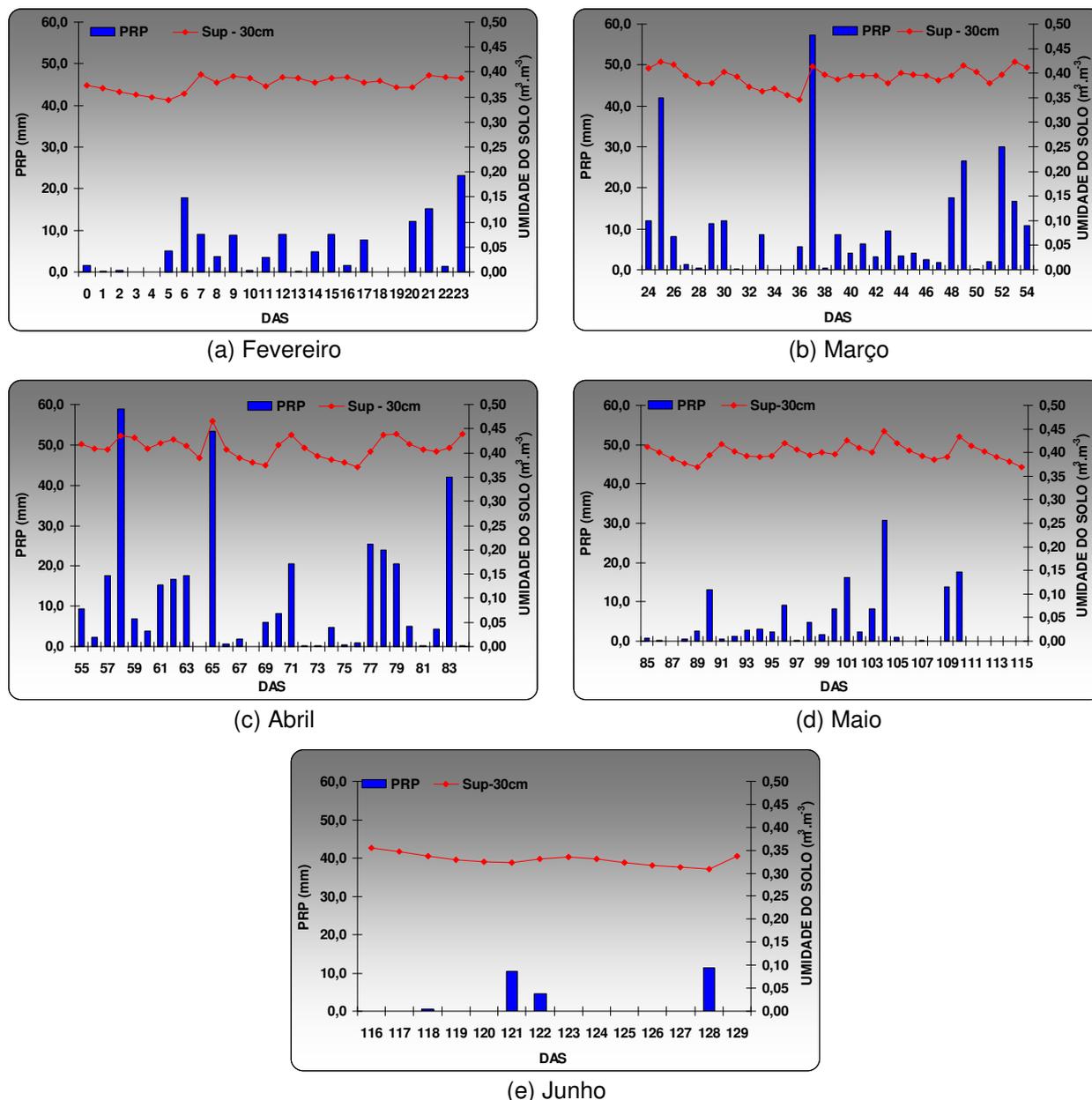


Figura 27: Valores diários da umidade volumétrica do solo na camada de 30cm abaixo da superfície sob a monocultura da soja e totais diários de precipitação de acordo com DAS.

Assim que iniciou a estiagem, no final de maio, observou-se um decréscimo de $0,446\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ para $0,369\text{m}^3.\text{m}^{-3}$, chegando no mês de junho a faixa de $0,309\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ (Tabela 14). Esse período coincide também com a fase de maturação da soja, estágio em que a cultura encontra-se em senescência, com uma baixa exigência hídrica e com um dos menores IAF (em torno de 1,0) de acordo com Ponte de Souza et al. (2007b), proporcionando uma menor interceptação luminosa pela copa e uma elevada evaporação de água do solo.

Tabela 14: Valores máximo, médio e mínimo da umidade volumétrica do solo em Paragominas para os meses de fevereiro a meados de junho de 2006.

Meses	Umidade Volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)		
	Máxima	Média	Mínima
Fevereiro	0,395	0,376	0,344
Março	0,422	0,392	0,345
Abril	0,466	0,411	0,371
Mai	0,446	0,401	0,369
Junho	0,356	0,330	0,309

A Figura 28 nos possibilita comparar o comportamento da umidade do solo durante todo o experimento, mês a mês, mostrando que abril é o período que apresenta o maior índice de umidade volumétrica, índice este aceitável já que ele também se configurou como o mês mais chuvoso, sendo seguido por março, maio, fevereiro e junho, este último com forte queda, coincidindo com o início da estiagem na região.

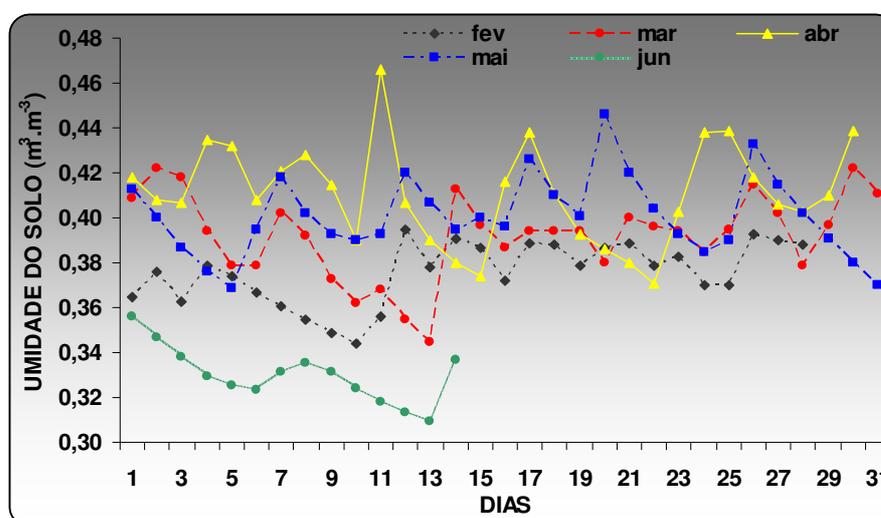


Figura 28: Valores diários da umidade volumétrica do solo para os meses do experimento em 2006.

Em comparação com a Floresta Nacional de Caxiuanã, segundo dados de Souza et al., (2006), a diferença de conteúdo de umidade no solo diminui entre os dois ecossistemas com a chegada da precipitação. Quanto à flutuação da umidade, observa-se que nos dois sítios a variabilidade dentro do período chuvoso é significativa. No entanto, como confirmado na Tabela 15, a maior flutuação foi encontrada no cultivo de soja, pois de acordo com Souza et al. (2006), a região de

Caxiuanã (floresta) tem um regime de chuvas, bem distribuído ao longo dos meses, o que não ocorre em Paragominas, que apresenta uma estação chuvosa e outra “seca” bem definida.

Tabela 15: Valores sazonais de umidade do solo nos sítios de floresta (Caxiuanã) e agricultura (Paragominas).

Umidade Volumétrica (m ³ .m ⁻³)	Vegetação / Período	
	Soja	Floresta
	05/02/2006 – 15/06/2006	20/02/2003 – 30/06/2003
Máxima	0,466	0,459
Média	0,382	0,428
Mínima	0,309	0,383

A cobertura vegetal de alto porte, bem como a porosidade no solo da floresta, permite um armazenamento hídrico mais eficaz neste ecossistema, de acordo com Souza et al., (2006), quando comparado à agricultura de soja em Paragominas, cujo solo é amarelo argiloso e a vegetação é de pequeno porte.

Observa-se que o máximo de umidade volumétrica do solo foi registrado na monocultura da soja, mas isso está relacionado ao tipo de solo (latossolo amarelo de textura argilosa), pois a argila (mais fina que a areia) retém mais água por um período maior. Isto se deve à maior área superficial, ao seu potencial matricial e as propriedades físicas desse tipo de solo. Apesar dessa umidade volumétrica maior, ter sido verificada na monocultura de soja é importante ressaltar que durante todo o período analisado, a umidade média e mínima é bem maior na área de floresta (Tabela 15).

A oscilação entre máximas e mínimas entre os dois sítios (Tabela 15), são bem marcantes. Na floresta essa oscilação chega a 0,08 m³.m⁻³ e no cultivo de soja, 0,16 m³.m⁻³, diferença significativa de 50% quando se refere a um período de exigências hídricas pela cultura em questão.

5.7 CONTEÚDO DE ÁGUA ATRAVÉS DA BIOMASSA

O uso da biomassa nos possibilita determinar a quantidade de matéria seca e de água presente em um determinado estágio fenológico da planta, porém, o interesse em questão é quantificar quanto de água faz parte da estrutura da planta, de acordo com sua fase fenológica. Na Figura 29, está representado essa quantidade de água, onde se observa que a maior quantidade de água se apresenta constante nas fases vegetativas (V), florescimento (R₁-R₂) e na frutificação (R₃-R₄), próximo a 85% de água, aos 28, 42 e 63 DAS, respectivamente.

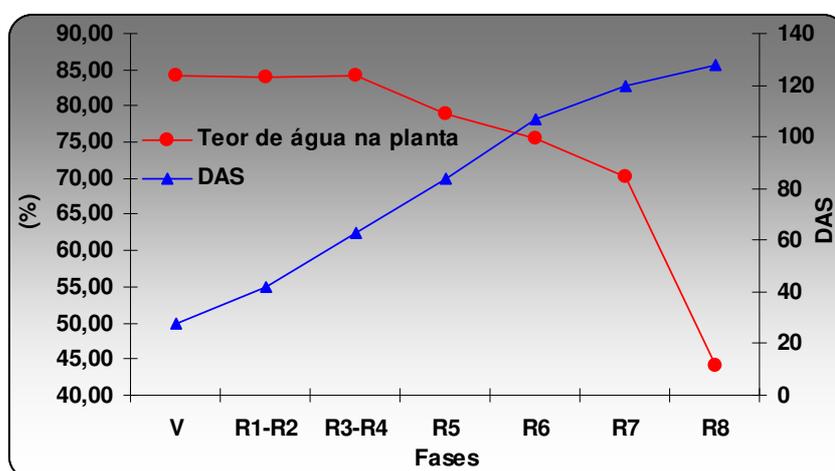
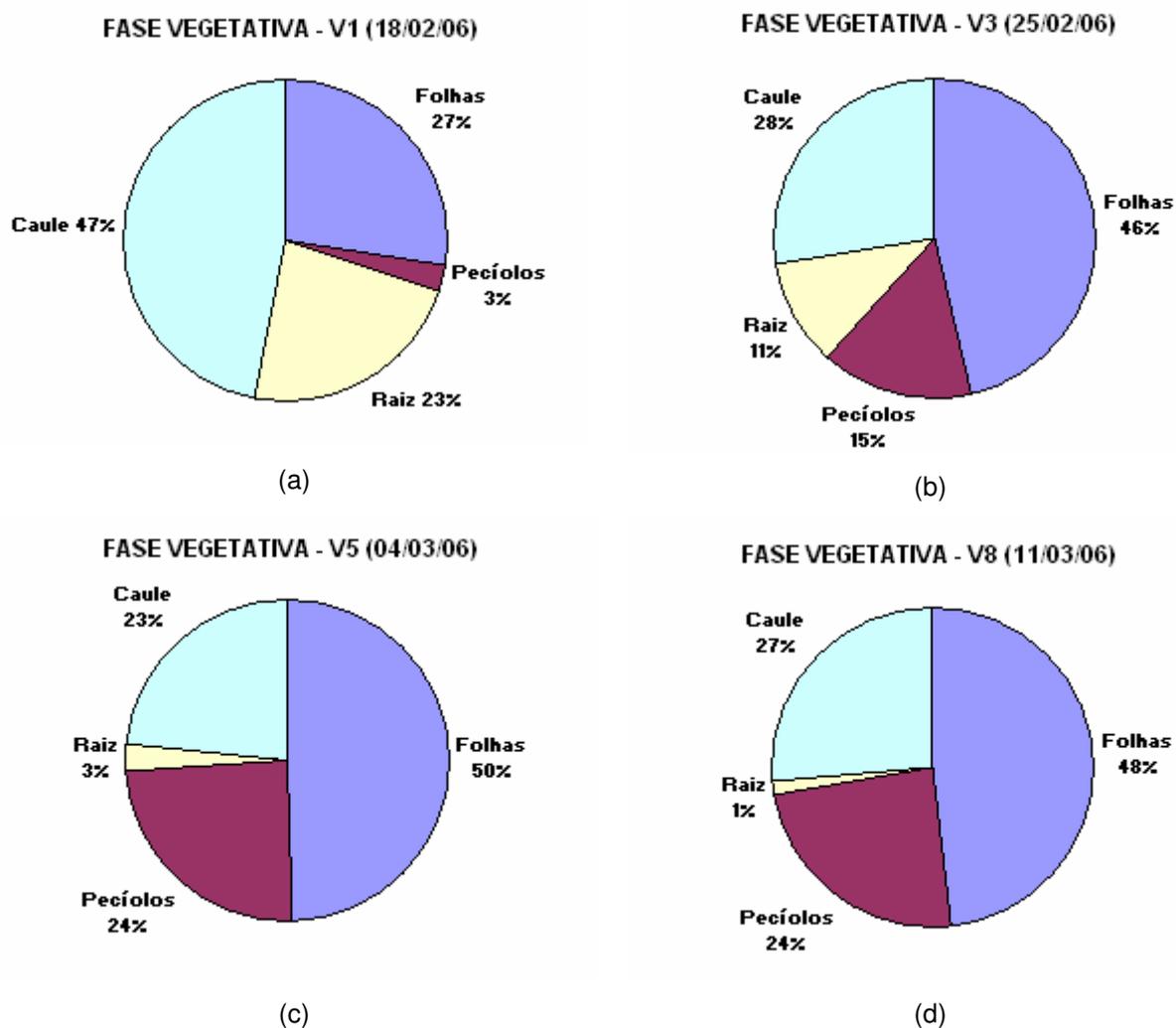


Figura 29: Teor relativo de água na planta (%) de acordo com a fase fenológica vegetativa (V), florescimento (R₁-R₂), frutificação (R₃-R₄), granação (R₅), vagem cheia (R₆), início da maturação (R₇) e maturação plena (R₈), relacionada com os dias após o semeio (DAS).

O decréscimo do valor relativo de água na planta é observado a partir da fase de granação (R₅), fase esta, segundo Câmara (2000) de intenso acúmulo de matéria seca pelos grãos, com queda gradativa de água até a fase de início da maturação (R₇), e com posterior queda brusca na fase de maturação plena (R₈), colheita, a exatamente 44% do seu peso em água (Figura 29). O período compreendido entre a fase vegetativa (V) e frutificação (R₃-R₄) é o período em que a planta apresenta um intenso acúmulo de matéria seca, e conseqüentemente alto teor relativo de água.

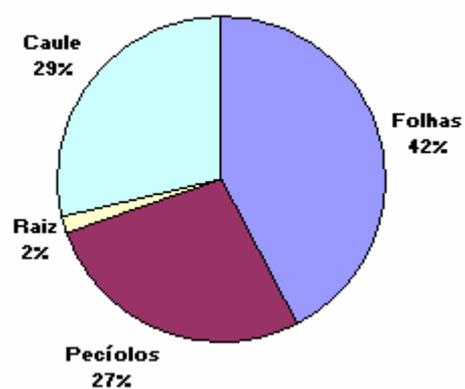
Na Figura 30, analisa-se como a água se distribui na partição da soja, e observa-se uma maior quantidade do teor relativo de água na raiz na Figura 30a e 30b, em virtude desta fase ocorrer a maior parte do crescimento radicular, chegando a um pico de aproximadamente $5,0\text{cm.dia}^{-1}$ na fase R_3 , caindo em seguida até $1,0\text{cm.dia}^{-1}$, crescendo praticamente até o final do ciclo da planta, de acordo com Rosolem (2006).

continua



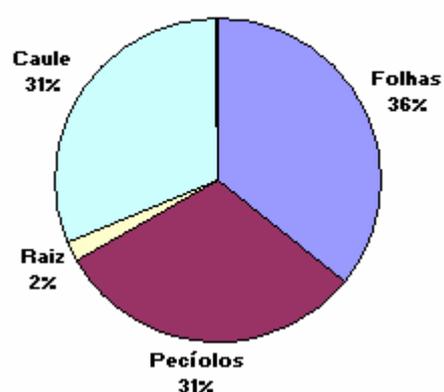
continuação

FASE VEGETATIVA - V14 (18/03/06)



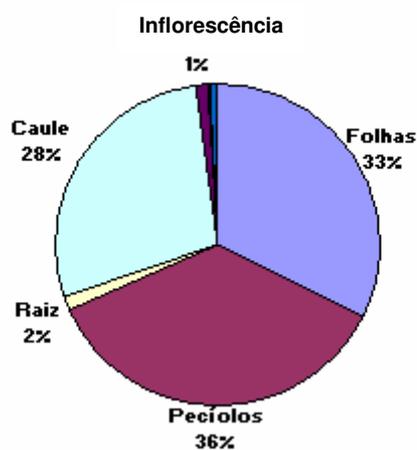
(e)

FLORESCIMENTO - R1 (25/03/06)



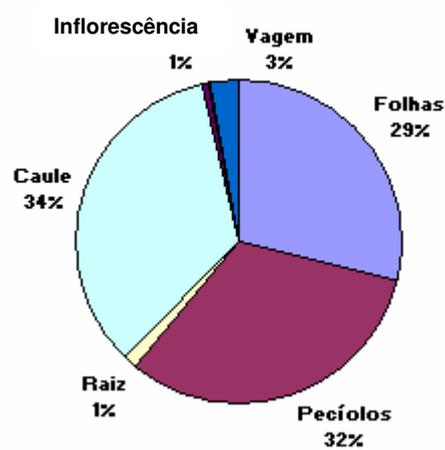
(f)

FLORESCIMENTO - R2 (01/04/06)



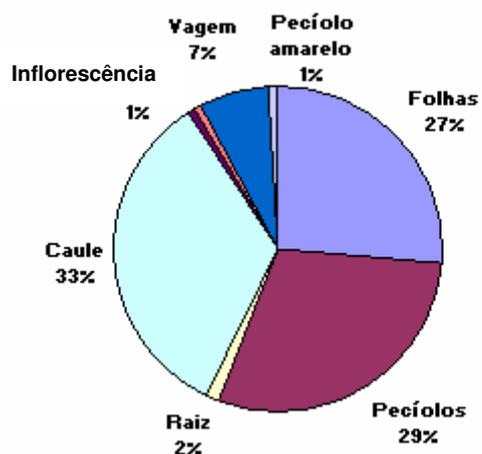
(g)

FRUTIFICAÇÃO - R4 (09/04/06)



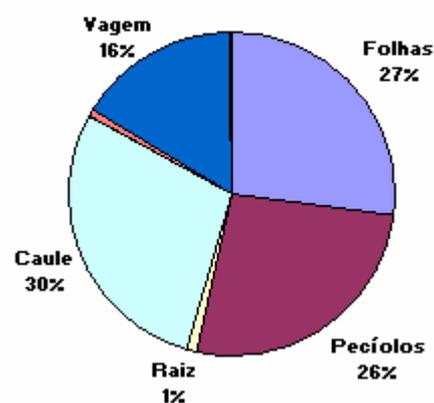
(h)

ENCHIMENTO DE GRÃOS - R5 (16/04/06)



(i)

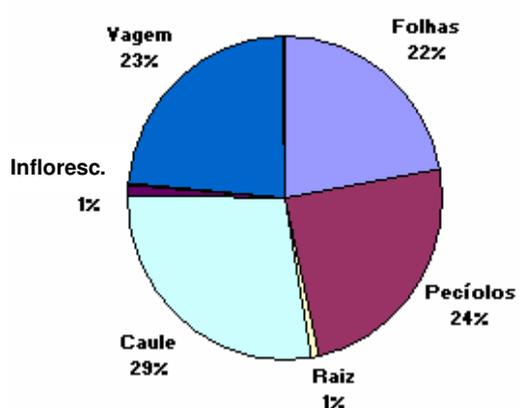
ENCHIMENTO DE GRÃOS - R5 (21/04/06)



(j)

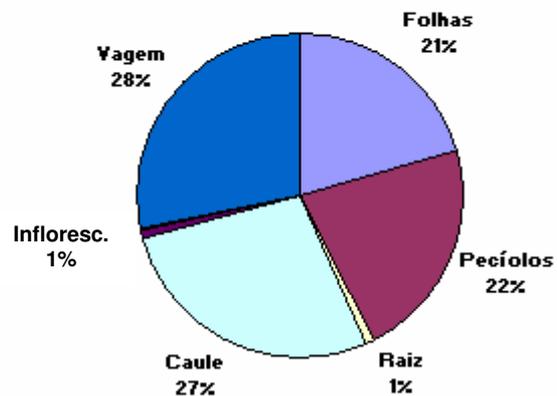
continuação

ENCHIMENTO DE GRÃOS - R5 (29/04/06)



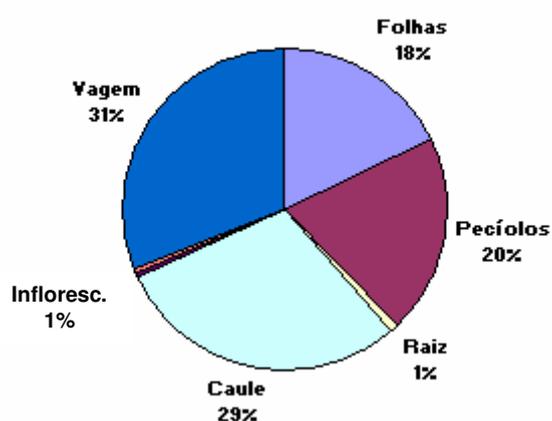
(k)

ENCHIMENTO DE GRÃOS - R5 (06/05/06)



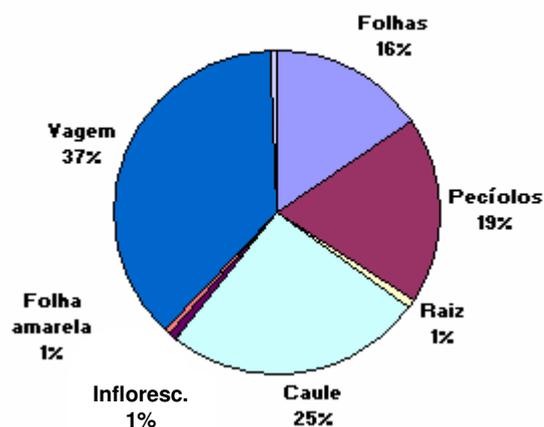
(l)

ENCHIMENTO DE GRÃOS - R5 (12/05/06)



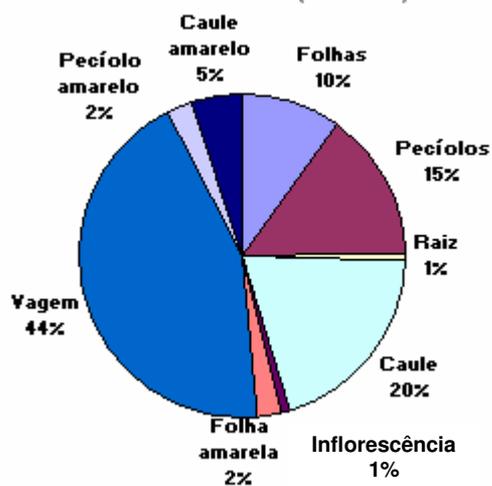
(m)

VAGEM CHEIA - R6 (19/05/06)



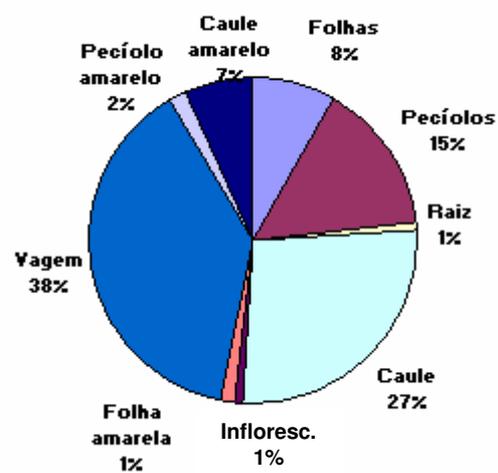
(n)

VAGEM CHEIA - R6 (26/05/06)



(o)

MATURAÇÃO - R7 (03/06/06)



(p)

conclusão

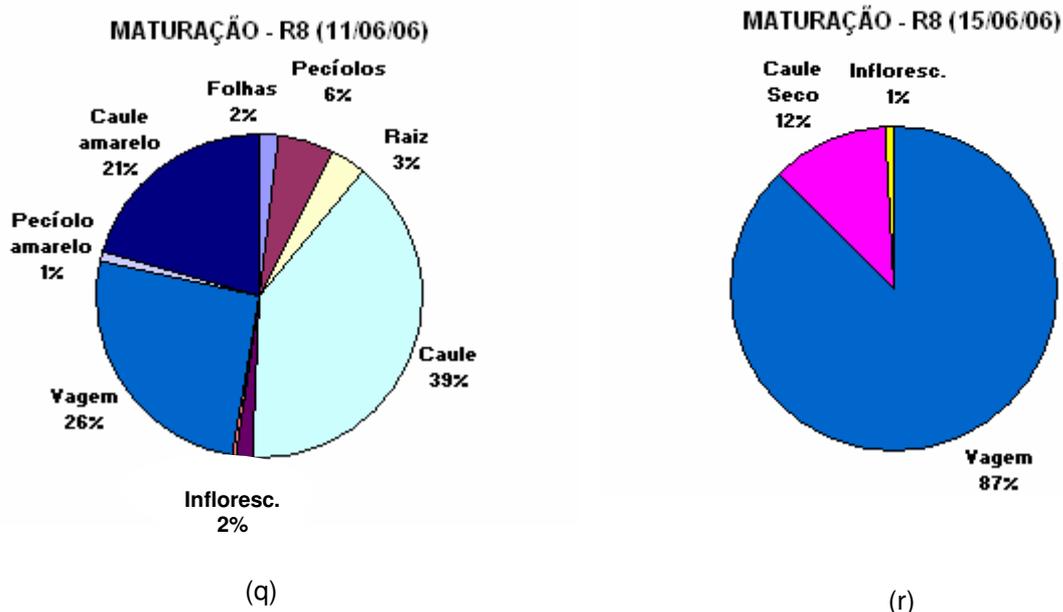


Figura 30: Quantidade do teor relativo de água na planta relacionada a partição e fase fenológica.

Na fase V_1 (Figura 30a) começa o lançamento do 1º trifólio, e com o lançamento de mais folhas (Figura 30a, 30b, 30c), nota-se um aumento expressivo de água, chegando a 50% da quantidade do teor relativo de água nas folhas no estágio V_5 (Figura 30c), diminuindo a partir da fase de florescimento R_1 chegando ao nível de 8% no início da maturação plena devido a senescência das mesmas, assim como também observado nos pecíolos. Na fase R_1 (Figura 30f) não existe porcentagem de água para flores, pelo fato de ser o início do florescimento, porém com florescimento pleno no R_2 (Figura 30g) já se observa uma pequena quantidade do teor relativo de água nas mesmas.

Iniciando a atividade fotossintética líquida, a planta da soja começa a adquirir e a acumular matéria seca, e, por conseguinte água, em seus órgãos (caule, pecíolos e folhas). Câmara e Heiffig (2006), relatam que a taxa de acúmulo de matéria seca e água acentua-se a partir do 4 e 5 trifólio, intensificando-se durante o período de crescimento vegetativo, mantendo-se elevada até o início da granação, quando acentua-se a translocação da massa seca dos órgãos vegetativos para os reprodutivos, fato que se observa a partir da Figura 30i, pois a quantidade do teor de água e por conseguinte de fotoassimilados, se transfere de órgãos vegetativos, para órgãos reprodutivos, como por exemplo, o crescimento rápido do peso das vagens.

Na fase de vagem cheia (R_6) na Figura 30o, a quantidade do teor relativo de água nas vagens é máxima, alcançando valores na ordem de 44% do peso da planta, reduzindo com o início da maturação (Figura 30p) a 38%. Com a senescência de órgãos vegetativos a partir da fase R_7 e se acentuando na fase R_8 (Figura 30r), a quantidade do teor relativo de água se concentra nas vagens (grãos), devido à existência de apenas três estruturas, em que a maior parte da planta esta secando e os grãos ainda apresentam elevado teor de umidade (água).

A Figura 31 refere-se a fenofase em que a planta de soja apresenta mais água retida na sua estrutura como um todo, e a fase de vagem cheia (R_6) se apresenta como a maior de todas, em virtude dos grãos estarem totalmente “gordos” e moles devido a alta concentração de água retida nos mesmos, Resultado praticamente igual é apresentado pela fase de enchimento dos grãos (R_5), pois de acordo com Rosolem (2006) é uma das fases que requer a maior exigência em água exigido para a translocação de fotoassimilados e água para os grãos, se configurando como o estágio mais eficiente no uso da água. A fase vegetativa se configura como a de menor exigência, pois a eficiência de água é significativamente aumentada, junto com o desenvolvimento da área foliar e matéria seca.

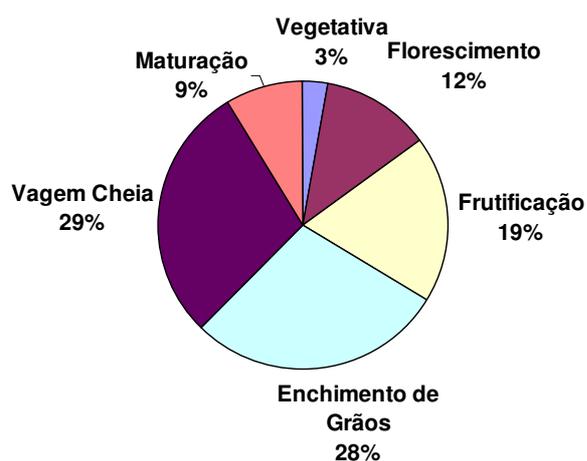


Figura 31: Conteúdo total relativo de água acumulado na planta durante todo o ciclo fenológico.

5.8 O BALANÇO DE ÁGUA

Na Tabela 16 encontram-se os balanços de água da plantação de soja, determinados através das médias para cada fase fenológica analisada. Eles dão uma visão global das relações hídricas ocorridas durante o período estudado da cultura. Foram realizados 37 balanços de água diários, considerando eventos de chuva consistentes, para as fases citadas acima.

Tabela 16: Armazenamento de água no solo (ARM), Armazenamento de água do dia anterior (ARM_{i-1}), Precipitação (P_i), Interceptação (Id_i), Evapotranspiração da cultura (ETc_i), Escoamento superficial (Esc_i), e Conteúdo de água retido pela cultura (C_i), para as fases fenológicas estudadas.

FASE	ARM (mm)	ARM_{i-1} (mm)	P_i (mm)	Id_i (mm)	ETc_i (mm)	Esc_i (mm)	C_i (mm)
Vegetativa	115,09	116,67	6,44	2,12	5,27	0,05	0,57
Florescimento	118,71	121,94	5,59	3,18	4,53	0,05	1,06
Frutificação	129,29	129,87	9,60	5,57	3,30	0,10	1,21
Granação	111,71	115,27	4,56	2,83	3,43	0,03	1,83
Vagem Cheia	123,81	120,64	12,51	3,50	4,18	0,25	1,41

Sendo a chuva o único componente que determina a aptidão de certa região para uma cultura, observou-se que a mesma acompanhou muito bem o valor histórico de precipitação para Paragominas como visto anteriormente, que mostra que este período (início de fevereiro a meados de março de 2006) foi menos chuvoso que a média climatológica, porém suprimindo a necessidade hídrica mínima exigida pela cultura.

O item precipitação (P_i) é a fonte alimentadora do balanço, em virtude de não haver irrigação na área. A precipitação foi selecionada de forma limitada para a equação do balanço, pois os coletores de precipitação interna instalados sob o dossel da soja, para o cálculo da interceptação (Id_i), eram relativamente pequenos para grandes quantidades de chuva, e muitas coletas não foram aproveitadas por problemas de transbordamento nos coletores sob o dossel, assim sendo, foram selecionados eventos de chuva na faixa de 0,25 a 13mm, com um total de

precipitação efetiva (acima do dossel) analisada para o cálculo do balanço de 222,13mm.

Considerando o total de entrada (P_i), verificou-se que o Escoamento superficial (Esc_i) representou a média de 1% do balanço final, mostrando o controle dessa componente nas condições experimentais avaliadas (Tabela 16). Nota-se a tendência do aumento de Esc_i em função do aumento de P_i , fato esperado, entretanto de difícil previsão uma vez que, o Esc_i depende mais da intensidade da chuva, do que do total, sendo ainda influenciado pelo valor de Armazenamento de água do dia anterior (ARM_i), que quando baixo, favorece a infiltração da água, além das condições de declive e de superfície de solo.

A interceptação (Id_i) foi de 47% de P_i , para o ciclo todo, onde na fase de granação ocorreu a maior interceptação de água pelo dossel (62%), em relação a P_i , motivo este da cultura se encontrar com o mais alto índice de área foliar IAF (7,1), de acordo com Ponte de Souza et al., (2007b). A cultura apresenta-se totalmente expandida, suportando a máxima retenção de água, demorando a saturar o dossel, em virtude da sua homogeneidade. A própria estrutura da planta é propícia a reter água na vegetação, pois apresenta como características morfológicas, seus órgãos (vagem, caule e folhas) revestidos por pêlos, aumentando assim a retenção de água.

A maior taxa de ETc_i medida foi de 81,9% de P_i durante a fase vegetativa, o que pode ser atribuída a uma maior exposição à radiação solar da superfície, e assim com grandes perdas por evaporação, também a vegetação encontrava-se em crescimento, onde segundo Jones (1999) plantas mais nova em atividade ou crescimento transpiram mais. Valor bem próximo (81%) foi encontrado na fase de floração em relação a P_i , fase está de máxima ETc (7 a 8 mm.dia⁻¹), de acordo com Berlato e Bergamashi (1978). A ETc média de 61% de P_i foi registrada para o balanço como um todo.

Na Figura 32, observa-se que ARM é maior que o ARM_{i-1} somente na fase de vagem cheia (3,17mm), pelo fato de uma maior precipitação ter ocorrido, alimentando o sistema, e uma redução no conteúdo de água na planta em virtude da aproximação da fase de maturação. A fase de granação apresentou a maior

diferença na variação da disponibilidade de água no solo entre o ARM e o ARM_{i-1} (-3,56mm); apesar de ter ocorrido precipitação, esta fase se apresenta como o período em que a cultura da soja está no do auge do IAF igual a 7,1; coincidindo com Câmara e Heiffig (2000) que acharam valores entre 5 e 8, e com taxa fotossintética máxima, com alta exigência em água e com intenso movimento de fotoassimilados para os grãos. Nesta mesma fase, granação, notou-se o maior C_i , em torno de 40% da precipitação, comprovando a esclarecimento anterior.

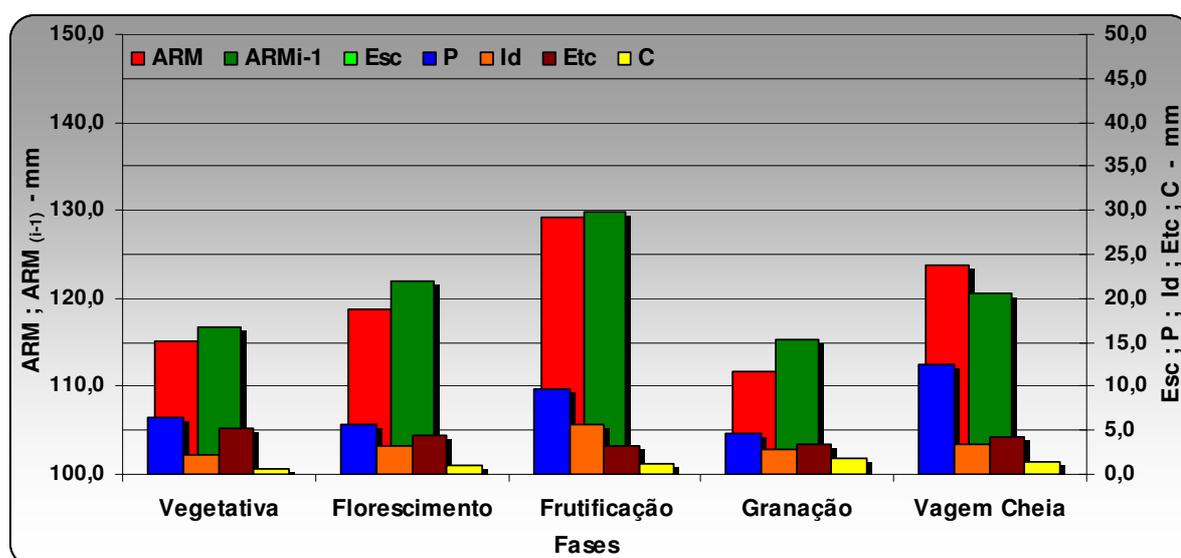


Figura 32: Valores médios dos componentes do balanço de água: armazenamento de água (ARM), armazenamento do dia anterior (ARM_{i-1}), precipitação (P_i), interceptação (Id_i), evapotranspiração da cultura (ETc_i), escoamento superficial (Esc_i) e conteúdo de água retido pela cultura (C_i).

De um modo geral não ocorreu deficiência de água no solo para as fases estudadas, pois a variação da disponibilidade de água no solo no ARM, de -5,78mm, não configura déficit de água no solo. Este resultado também foi encontrado por Sousa et al., (2007) para a mesma área de estudo através do método de Thornthwaite e Matter (1955), onde se percebe que durante todo o período, a chuva foi determinante para a manutenção da água no solo, uma vez que não ocorreram situações de deficiência de água para a cultura, com exceção de dois momentos durante o final do ciclo da cultura, onde o consumo de água pela soja esteve sempre abaixo da quantidade da água disponível no ambiente. Vale ressaltar que esse dois momentos citados por Sousa et al. (2007), se referem ao mês de maio, período em que a cultura encontrava-se na fase de granação, ou seja, mesmo resultado (-3,56mm) apresentado pelos cálculos do balanço de água apresentados neste trabalho, como citado acima.

A precipitação para os meses estudados se mostrou dentro da normalidade, quando comparada a média climatológica no período de 1985-2004 (BASTOS et al., 2006), que observaram condições de oferta de água pela chuva e consideraram como disponibilidade hídrica montantes de chuva mais elevados (acima de 100mm) entre dezembro e maio; com ocorrência de excedentes de fevereiro a maio (verificado na plantação de soja em 2006 de acordo com a Figura 32; e ocorrência de deficiência hídrica (acima de 10mm) entre junho a novembro. Pelo total precipitado no mês de junho, durante o período de maturação da soja, pode-se se considerar também a existência de déficit hídrico, porém este período não foi analisado pelo balanço de água acima. Isso nos induz que a condutividade hidráulica do solo não ficou tão baixa a ponto do fluxo de água para as raízes não atender a demanda atmosférica. Portanto, para se evitar essa situação, com a possibilidade de um bom rendimento da cultura, há a necessidade de se coincidir o cultivo da soja com a época das chuvas na região.

6 CONCLUSÕES

O ano de 2006 foi caracterizado por uma redução da precipitação quando comparado com a média climatológica nos meses de cultivo de soja. Observou-se também que houve o planejamento certo da época de plantio seguindo o regime de chuvas da região.

Os percentuais interceptados para as diferentes intensidades de precipitação variaram bastante, mostrando que a redução destes percentuais é bastante acentuada para chuvas fortes. A alta homogeneidade do dossel da plantação de soja induz a um alto valor da interceptação da chuva, aliado as baixas precipitações analisadas. Porém quando se analisa um período maior, observa-se que essa diferença se reduz consideravelmente a valores de interceptação na ordem de 45,9% para a soja, próximo aos valores observados na floresta de Caxiuanã.

Cuidados especiais são necessários na avaliação da interceptação pluvial em relação ao tamanho do reservatório usado para coleta da água, possibilitando avaliar volumes de chuvas maiores, mais intensos. A recomendação da instalação de pluviômetros ao lado de cada ponto de avaliação da interceptação e do escoamento superficial, com o intuito de registrar chuvas isoladas e assim, aumentar a precisão das medidas. Outro ponto a ser observado é em relação aos respingos da gota da telha de PVC de volta à folha e da telha para fora do “stand”.

O escoamento superficial médio por m^2 para todo o ciclo da soja ficou em torno de 1% da precipitação analisada para área de $1m^2$.

A velocidade de infiltração inicial no 1º minuto é sempre maior na floresta, porém a velocidade de infiltração média se torna maior na cultura da soja.

A cultura da soja apresentou uma demanda de evapotranspiração geral média para o ciclo de $3,80mm.dia^{-1}$, sendo esta, abaixo da demanda observada nas áreas tradicionais de cultivo. A maior demanda ocorreu na fase de floração (R_1-R_2)

com queda gradativa até a colheita, apresentando valor médio próximo a média calculada para floresta.

O armazenamento de água no solo, na floresta e no cultivo de soja obteve altos valores absolutos, com os maiores e menores picos de umidade do solo registrado na plantação de soja, porém a média se apresenta maior na floresta, com uma oscilação de umidade menor e, portanto maior retenção de água.

O período compreendido entre a fase vegetativa (V) e frutificação (R_3 - R_4), é o período em que a planta apresenta maior porcentagem de água nos seus órgãos, decaindo gradativamente a partir de fase de granação (R_5) devido ao acúmulo de matéria seca nos grãos.

Não ocorreu deficiência de água no solo no balanço médio, pois a variação no armazenamento de água na zona radicular não foi significativa, pois o solo conseguiu suplementar com a precipitação no atendimento da evapotranspiração.

Existiu uma pequena diminuição no armazenamento (na disponibilidade de água para as plantas), em quatro dos cinco estádios analisados na profundidade de 0 - 30cm, contudo, não afetando o desenvolvimento da planta.

A substituição da vegetação florestal por ecossistemas antropogênicos, como a agricultura, reduz a maioria dos componentes do ciclo hidrológico na região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. 2007. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/07/19/materia.2007-07-19.1847751883/view>>. Acesso em: 19/07/2007.

ALFONSI, R. R., PEDRO JR, J., CAMARGO, M. B. P. Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas da soja, milho, arroz de sequeiro, e feijão no Estado de São Paulo. Campinas. **Instituto Agrônomo**: 1995. 8p. Boletim Científico, 37.

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration** : guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO Irrigation and Drainage, 1998. 297p. (Paper, 56).

ALVALÁ, R. C. S. et al. Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content, and thermal properties under forest and pasture in Rondônia. **Journal of Geophysical Research**, Estados Unidos, v. 107, p. 2002.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2006.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: ESALQ/USP. 233-271p. 2002.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA SOJA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Grupo de Comunicações, 143p. 2000.

ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, (EMBRAPA-CNPAF, Documentos, 44), 236p. 1994.

ÁRIA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. New York, Academic Press, 1988.

AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BARNI, N.A.; BERGAMASCHI, H. Alguns princípios técnicos para semeadura. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A Soja no Brasil**. ITAL, Campinas, São Paulo, 1981. 1062 p., p. 476-480.

BASTOS, T. X. **Delineating agroclimatic zones for deforested areas in ParaState, Brazil**. Thesis (Philosophy Doctor). 160p. Manoa: University of Hawaii, 1990.

BASTOS, T. X. O estado atual do conhecimento das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: **Zoneamento agrícola da Amazônia. Belém**. IPEAN. (IPEAN - Boletim Técnico, 54), p 68-122. 1972.

BASTOS, T. X. et al. **Características agroclimáticas do Município de Paragominas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

BASTOS, T. X. et al. **Indicativo climático para o cultivo do açaizeiro em ambiente de terra firme no Estado do Pará: 1ª aproximação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. (Comunicado técnico, 159).

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 42 p. 1988.

BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 93 p. 1987.

BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I. Evapotranspiração estacional em ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1., Londrina, **Anais...** Londrina, EMBRAPA/CNPSO, 1978, v.1, p.53-58.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 95 p. 1981. (BOLETIM TÉCNICO, 7).

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2. 1986.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 596p. 1986.

BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. Growth dynamics the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. **Crop Science**, v. 88, n. 4, p. 567-572, 1996.

BOLETIM DE PESQUISA DE SOJA. Rondonópolis/MT: Fundação MT. n.10. 264p. 2006.

BORÉM, A. Escape gênico: os riscos do escape gênico da soja no Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.10, p.101- 107, 1999.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração de água no solo**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SA**. 23/24. São Luiz/Fortaleza. Rio de Janeiro, 1973.

BRITO, A. S. **Balço de água em um latossolo vermelho cultivado com cana-de-aúçar**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 82 f. 2006. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2006.

BURGER, D. **Tópicos de manejo florestal ordenamento florestal**: a produção florestal. Curitiba: UFP, 1976.

CÂMARA, G. M. S. ; HEIFFIG, L. S. **Agronegócio de plantas oleaginosas**: matérias-primas para biodiesel. 1 ed. Piracicaba-SP: ESALQ, v. 1. 256 p. 2006.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S. **Soja**: tecnologia da produção. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000, p. 81-120.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA G. M. S. **Soja**: tecnologia da produção. Piracicaba, p. 256-277. 1998a.

CÂMARA, G. M. S. Fenologia da soja. **Informações Agrônomicas**, São Paulo, n. 82, p.1-6. 1998b.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da soja. In: Simpósio sobre cultura e produtividade da soja, 1992, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba-SP: FEALQ, v. 1, 129-142p. 1992.

CAMARGO, M.B.P. **Exigências bioclimáticas e estimativa para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo**. 1984. 96f. Piracicaba: Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ/USP, 1984.

CARRIELLO, F. **Estimativas da resposta hidrológica das sub-bacias brasileiras**. 2004, 155f. INPE. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto). São José dos Campos. 2004.

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society (Ed.) of America, pt 1: Physical and mineralogical methods, 1986. p. 901-926.

CHAGAS, G. F. B. das; SOUZA, A. M. L. de; ROCHA, E. J. P. **Estimativa da taxa de evapotranspiração pelos métodos de Hargreaves-Samani (1985) e Linacre (1977) em área de floresta Tropical - Caxiuanã/Pa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2006, Florianópolis-SC.

CHANG, J. H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine Publishing Company. 1968. 304 p.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: Mc- Graw Hill May, 1964. Cap. 14, p. 141-149.

CONFALONE, A.; NAVARRO DUJMOVICH, M. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Rev. Bras. de Agrociência**, v.5 nº 3, p.195-198. set-dez. 1999.

COSTA, R. F. da et al. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.2, p.180-189. 2007.

COSTA, A. C. L. da et al. Estudos hidrometeorológicos em uma floresta tropical chuvosa na Amazônia – projeto esecaflor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.283-290. 2006.

COSTA, J. P. R.; LOUREIRO, R. S.; BRAGA, R. H. M. **Medida e estimativa de Evapotranspiração em Caxiuanã, área de floresta tropical da Amazônia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000, Rio de Janeiro - RJ.

COSTA, M. H. **Engenharia na agricultura**. Viçosa. 20p. 1994. (Série Caderno Didático).

COSTA, J. A.; TEIXEIRA, M. C. C.; MARCHEZAN, E. Taxa e duração do acúmulo de matéria seca nos grãos de soja e sua relação com o rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1577-1582, 1991.

CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; DALMAGO, G. A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119. 1998.

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem**: a água na agricultura. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988, v.3. 543p.

DALLACORT, R. et al. Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação CROPGRO-Soybean para região do noroeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá-PR, v. 27, n. 2, p. 369-377. 2005.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, UFPB, 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO. 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage, 33).

DOSS, B. D.; PEARSON, R. W.; ROGERS, H. T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, p. 297-299. 1974.

DOSS, B.D.; THURLOW, D.L. Irrigation, row width and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 66, n. 2, p. 297-299. 1974.

DYLLA, A. S.; TOMMONS, D. R.; SAULL, H. Estimating water used by irrigation corn in west central. **Soil Sci.Soc.Am. Journal**. Minesota, v.44, p.823-827. 1980.

EHLERS, W. Observation on earthworm channels in infiltration on tilled and untilled losses of soil. **Soil Sci.**, v.11, p.242-249. 1975.

EL-HUSNY, J. C. et al. **Cultivares de soja para microrregião de Paragominas, Pará**. Belém: Embrapa-CPATU. 1998. 19p. (Embrapa-CPATU. Circular Técnica, 76)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **BRS Candeia**: Cultivar de soja para o cerrado de Roraima. Boa Vista. 2006a. (EMBRAPA Roraima: comunicado técnico, n 7).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 1.CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. **Caracterização e avaliação da potencialidade dos solos do Município de Paragominas-Estado do Pará**. Belém, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. Londrina: Embrapa Soja, Documentos, 132; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 226p. 1999. (Documentos, 5).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina-PR: Embrapa Soja, n10. 217p. 2006b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste: EPAMIG: Fundação Triângulo, 2003, n.4, 237p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja>>. Acesso em: 18/07/2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** . Londrina. Embrapa Agropecuária Oeste, 225p. 2006c.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tropical soybean: improvement and production**. Rome, Italy: FAO,. (FAO – Plant Production and Protection Series, N° 27). 1994. 254p.

ENTIN, J. K. et al. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. **Journal of Geophysical Research**. v. 105, n. D9, p. 11865-11877, May. 2000.

ESALQ. **Balço Hídrico-Aula 9**. Disponível em:
<<http://ce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps>>. Acesso em: 03/06/2007.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO. 2006. Disponível em:
<<http://www.geocities.com/pjufra/aulas.htm>>. Acesso em: 15/04/2006.

FAGERIA, K.N. Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. **Ecofisiologia da cultura da soja**. Brasília: EMPRAPA-DPU, 1989. p.382-395. (EMBRAPACNPAF Documentos, 18)

FARIA, M. A. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Calda. **Anais...**, Lavras: UFLA / SBEA, 1998, p.133-237.

FARIAS, J.R.B. Climatic requirements. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tropical soybean: improvement and production**. Rome: FAO, p. 13-17. 1994. (FAO Plant Production and Protection Series; 27)

FARIAS, J. R. B. ; NEPOMUCENO, A L ; NEUMAIER, N. Ecofisiologia. In: Embrapa Soja; Basf. (Org.). **A cultura da soja no Brasil**. 1ed. Londrina: Embrapa Soja, 2000.

FARIAS, J. R. B., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A. L. Impactos da seca na produção de soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 20. **Ata e resumos**. Chapecó, SC. 1992. 186p

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B A; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development, Iowa. **Agric. Exp. Station**, 1977. 80 p. (Spec. Rep.).

FERNANDES, E.J.; TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v. 8, n. 2, p. 132-141. 2003.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia central. **Acta Amazônica**. v.35, n.1, p.55-62. 2005.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v. 6, n. 2, p. 262-265. 2002.

FIETZ, C. R. et al. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 3, n. 2, p. 150-153. 1999.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.59-66. 1999.

FRANKEN, W. et al. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. **Acta Amazônica**, v.12, n.2, p.327-331.1982a.

FRANKEN, W. et al. Interceptações das precipitações em floresta Amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**. v.12, Suplemento, p.15-22. 1982b.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície**. São Paulo: ESALQ/USP, 1993. 183p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento otimizado da irrigação. In: DOURADO NETO, D. et al. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba. Ed. da ESALQ, 1991. 190p.

FUNDAÇÃO MERIDIONAL. **Evolução da soja**. 2007: Disponível em: <<http://www.fundacaomeridional.com.br/soja/historico.htm>>. Acesso em: 10/05/2007.

GANCOPADHYAYA, M. et al. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. **World Meteorological Organization**. Geneva, 1966. 121p.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**. vol. 10, p. 383-393. 2006.

GOMES A. C. S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na região de Santiago, RS**. 2007. 133f. Santa Maria, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).

GOUVEIA, A. P.; ALVALÁ, R. C. dos S.; TOMASELLA, J. **Balço hídrico na região nordeste durante episódio ENSO 1982-1983**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002.

HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P. Predicting crop production as related to plant water stress. In: BRADY, N. C. ed. **Crop production and plant water stress. Advances in Agronomy**. Madison, 1982, v.35:p.193-215.

HARGREAVES, H.; SAMANI, A. Reference crop evapotranspiration from ambiente air temperature. St.Joseph: **American Society of Agricultura Engineers**. 1985. (ASAE Paper 85-2517).

HASSE, G. **O Brasil da soja**: abrindo fronteiras, semeando cidades. Porto Alegre: CEVAL Alimentos; L & P, 1996. 256p.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 65, n. 2, p. 285-295. 2006.

HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. Desing criteria for interception studies. In: Internacional Association Science Hydrology. **Extract.**, v. 67, p. 131-137. 1965.

HILL, R. W., JOHNSON, D. R., RYAN, K. H. A model for predicting soybean yield from climatic data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 251-256. 1979.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 320 p.

HILLEL, D. **Solo e Água**: fenômeno e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p.

HODGES, T.; FRENCH, V. Soyphen: soybean growth stages modeled from temperature, daylength and water availability. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.500-505. 1985.

HORTON, R.E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review**. 1919. 603-623p.

HUBNER, O. **Soja**: relato cultural – Paraná 00/01. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab/deral/rev010601.rtf>> Acesso em: 21 nov. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2006. **Produção Agrícola Municipal – Cereais, Leguminosas e Oleaginosas 2006**. Disponível em :<www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 ago. 2007.

JACKSON, I.J. **Climate, water and agriculture in the tropics**. London: Longman, 1979. 248p.

JACKSON, I. J.: Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest, **Journal of Hydrology**, v.12, p. 234–254, 1971.

JARDIM, F.C.S; HOSOKAWA, R.T. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. **Acta Amazonica**, v.16, n17, p. 411-508. 1986/87.

JONES, J. A. A. **Global hydrology**: processes, resources and environmental management. England: Pearson, 1999. Cap. 2 - 4, p. 22-119.

JORDAN, C.F.; HEUVELDOP, J. The water budget of an Amazonian rainforest. **Acta Amazonica**, 11: 87-92. 1981.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo - planta - atmosfera**. São Paulo: Livraria Nobel S.A. 1984. 408p.

KLAR, A. E. et al. Medidas de adaptação de plantas de trigo e déficits hídricos. **Científica**, São Paulo, v.3, n.113, p.117-127, 1985.

KOLLER, H. R.; NYQUIST, W. E.; CHORUSH, I. S. Growth analysis of the soybean community. **Crop Science**, v. 10, p. 407-412. 1970.

KOZLOWSKI, T. T. Introduction. In: KOZLOWSKI, T.T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. p.1-20.

KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. São Paulo: Cone, 178 p. 1994.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 81f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LEAL, Glauca Lygia Rabello. **Paragominas: a realidade do pioneirismo**. 2. ed. Paragominas, PA: Prefeitura Municipal de Paragominas. 2000.

LEOPOLDO, P. R. et al. Towards a water balance in the central Amazonian region. **Experientia.**, v.43, n.3, p.222-233. 1987.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: O próprio. 2004. 509p.

LIMA, J. R. S. et al. Estimativa da evapotranspiração do feijão caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 477-491. 2006.

LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates using temperature alone. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 409-429. 1977.

LLOYD, C. R.; MARQUES FILHO, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agric. For. Meteorol.**, v.42, p.63-73. 1988.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.1-12.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. In: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1985, Piracicab. **Anais...** 1985. v.42, p.401 - 428, 1985.

MARION, E. **Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento dos grãos de soja**. 2004, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC, Florianópolis-SC, 2004.

MARTINS, A.C.S. et al. Taxa de infiltração de água no solo sobre floresta em Caxiuanã-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2005, Campinas-SP. **Anais...** Campinas-SP: ABA, 2005.

MARTINS, S. R. **Respuestas fisiologicas y agronomicas de la soja (Glycine Max (L.) Merril) at deficit hidrico: el agua como funcion de producion**. 1984. 247f. Tese (Doutorado). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.1984.

MATZENAUER, R. et al. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do planalto médio do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275. 1998.

MATZENAUER, R.; MACHADO, F. A.; ROSA, F. S. Disponibilidade hídrica: um fator limitante para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 41; REUNIÃO TÉCNICA DO SORGO, 1996, Passo Fundo. **Anais...**, Passo Fundo: [s.n], 1996. p.72-74.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301. 2001.

MONTEITH, J.L. Does light limit crop production? In: JOHNSON, C.B. (Ed), **Physiological processes limiting plant productivity**. London: Butterworths, 1981. p.23-28.

MORAES A. V. C. et al. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas v. 57 n. 2. 1998.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O.; ALVES, E. G. P. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 133-138. 1996.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O.; SILVA, J. B. Risco de secas para a cultura da soja em diferentes regiões climáticas e unidades de solo do Estado do Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 44, n. 394, p. 11-14, 27-30. 1991.

MOTA, F.S. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In; VERNETTI, F.J. (Coord.) **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983.v. 1, p. 93-126.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; PENGELLY, B.C. Radiation use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.32, p.1-6. 1993.

MUELLER, C. C.; BUSTAMANTE, M.. **Análise da expansão da soja no Brasil**. Brasília, DF: Unb, 2002.

MÜLLER, L. Fisiologia. In: MYIASAKA, S.; MEDINA, J.L. **A Soja no Brasil**. Campinas, 1981. p. 109-29.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Water management. In FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, ed, Tropical soybean: Improvement and production. **FAO - Plant Production and Protection Series**, 27, Rome, Italy, 1994, p.153-160. 1994.

NOVAES, W. In: **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e Amazônia**. UnB, Brasília, DF. 2002

OLIVEIRA, L. L. **Avaliação da interceptação da precipitação pela vegetação na floresta nacional de Caxiuanã, Pará**. 2007. 123f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade federal de Campina Grande. 2007.

OLIVEIRA, L. L. et al. Sazonalidade da Precipitação Efetiva e da Interceptação na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006b.

OLIVEIRA, M. C. F. et al. Estimativa da infiltração de água no solo na floresta nacional de Caxiuanã-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006a.

PALMEIRA, A.; CREPANI F. E.; MEDEIROS J. S. de. Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na proposta de um mapa de ordenamento territorial do Município de Paragominas (Estado do Pará). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3207-3214.

PARÁ. Secretaria Executiva de Agricultura do Estado do Pará/SAGRI. Departamento de planejamento. Divisão de estatística. **Comparativo das áreas, rendimento e produção das culturas temporários do Estado 2004/2005**. Belém, 2005.

PARAGOMINAS. 2006. Disponível em: <<http://www.googleearth.com.br>>. Acesso em: 2006.

PEIXOTO, C.P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja (Glicyne max (L) Merrill) em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**. 1999. 151f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo: Piracicaba. 151f. 1999.

PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. Water cycle. In: Physics of Climate. New York: Springer-Verlag, 1992. Cap. 12, p. 270-274.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 33p. 1987. (Boletim técnico, 114).

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.

PEREIRA, L. S. Surface irrigation system. **Sustainability of water resources utilization in agriculture**. 1995.

PIMENTEL, R. G. **A soja**. São Paulo: Nobel, 1990.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278p.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, Seção I, v. 1, p. 121-194. 2001.

PONTE DE SOUZA, P. J. O. et al. Albedo da Soja em áreas de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. x, p. x-y, 2007b. (Submetido).

PONTE DE SOUZA, P. J. O. et al. Radiation interception and the radiation use efficiency by Soybean in the Amazonia. **Field Crops Research**. 2007a. (submetido).

PRODUÇÃO DE GRÃOS. 2006. Disponível em: <<http://www.inteligentesite.com.br/modelos/modelo73/subconteudo.asp?ID=471&IDSUBLINK=3153>>. Acesso em: 18/07/2007.

READ, R.G. Microclimate as background environment for ecological studies of insects in a tropical forest. **Journal of Applied Meteorology**, v.16, p.1282-1291. 1977.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1 ed. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1978. 119p.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-água-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 478. p.2004.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. Dinâmica da água em solos cultivados com milho. Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.1-5. 1989.

REICHARDT, K. et al. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-5. 1979.

REZENDE, F. C.; SCALLOPI, J. E. Avaliação de métodos para a determinação das características de infiltração por sulcos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.227-233. 1985.

RODRIGUES, T. E.; et al. **Caracterização e classificação dos solos do Município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental. 2002. 47p.

ROSE, C.W.; STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as function of depth and time. **Australian Journal of Soil Research**. Sidney, v.5, p.11-9. 1967.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. G. **Microclimate**: the biological environment. 2. ed John Wiley & sons, Inc., 1983.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia da soja**. Boletim de pesquisa de soja. Rondonópolis-MT: Fundação MT. n10. 2006. 264p.

RUSSO, R. O. **Mediciones de biomasa em sistema agroflorestales**. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1983. 27p.

SAAD, A. M. **Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro {Phaseolus vulgaris, L.}**. 1991. 144f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba. 144p. 1991.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração potencial. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988. v.2, p.999-1021.

SALINAS, A. R. et al. Comportamento de genotipos de soja, hasta el estadio de plantulas, en diferentes niveles de humedad. IN: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989. Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Asociación Argentina de la Soja, 1989. p.376-382.

SANTOS, O. S. **A cultura da soja**: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná. 2.ed. São Paulo: Globo. 1995. (Coleção do agricultor. Grãos; Publicações Globo Rural).

SCHNEIDER, F. M. et al. O Clima. In: SANTOS, O.S. dos (Coord.). **Cultura da soja**: Rio Grande do Sul - Santa Catarina - Paraná. 2.ed. São Paulo: Globo, 1995. 299p. Cap. 3, p.37-58.

SCHNEIDER, R. R. et al. **Amazônia sustentável**: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural. Brasília: Banco Mundial; Belém: Imazon. 2000. Série Parcerias, n.1.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 89-96. 2002.

SCHUBART, H. O. R.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência hoje**. v.2, n.10, p.26-32. 1984.

SCOTT, H.D.; BATCHELOR, J.T. Dry weight an leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 776-782. 1979.

SELLERS, P. J. et al. Calibrating the simple biosphere model for Amazonian tropical forest using field and remote sensing data. Part I: Average calibration with field data. **Journal of applied meteorology**, v.28, n.8, p.727-759, 1989.

SFREDO, G. J.; PANIZZI, M. C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 57p. 1990. (EMBRAPA-CNPSo, Documentos, 40).

SHARKEY, T. D.; SEEMANN, J. R. Mild water stress effects on carbon-reduction-cycle Intermediates, ribulose biophosphate carboxylase activity, and spatial homogeneity of photosynthesis in intact leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v.89, p.1060-65. 1989.

SHAW, E. W. **Hidrology in practice**. Workingham: Van Nostrand Reinhold. Co. Ltd. 1983. 569p.

SHAW, R. H.; LAING, D. R. Moisture stress and plant response. In: PIERRE, W.H., et al., ed. **Plant environment and efficient water use**, Madison, p. 73-94. 1966.

SIDIRAS, N.; ROTH, C.H.; FARIAS, G.S. Efeito da intensidade da chuva na degradação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:251-254, 1984.

SILVA, A. L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil. 2005. 72f. Piracicaba, Tese (Doutorado em Agronomia) ESALQ, Piracicaba, 72p. 2005.

SILVA, P. R F. da. Et al. Densidade e arranjo de plantas em girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.6, p.797-810. 1995.

SIONIT, N.; KRAMER, J. P. Effect of water stress during different stages of rowth on soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.274-278. 1977.

SOARES, W. R. et al. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kcini) à lâmina de irrigação e textura do solo . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, UFPb, v. 5, n. 1, p. 23-27. 2001.

SOUSA, A. M. L. et al. Impactos sobre os recursos hídricos da expansão da fronteira agrícola na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracajú. **Anais...** Aracajú: SBA, 2007.

SOUSA, V. F. et al. **Manejo de irrigação através do balanço de água no solo**. Terezina: EMBRAPA-CPAMN, (Documentos / Embrapa – CPAMN; 23). 36 p. 1997.

SOUZA, J. R. S. de et al. Umidade do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBM, 2006.

SOUZA, L. D. **Estimativas e utilização da capacidade de campo**. 1989. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 126f. 1989.

SOUZA, J. R. S. et al. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob Floresta, Pastagem e Manguezal, no Leste da Amazônia. In: CONGRESSO DE METEOROLOGIA, 2002. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu : SBM, 2002.

SOUZA FILHO, J. D. da C. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Acta Amazônia**, v.35, n.2, p.223 – 229. 2005.

STASWICK, P. E. Storage proteins of vegetative plant tissues. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.45, p.303-322. 1994.

STASWICK, P. E.; HUANG, J.F.; RHEE, Y. Nitrogen and methyl jasmonate induction of soybean vegetative storage protein genes. **Plant Physiology**, Rockville, v.96, n.1, p.130-136. 1991.

STAUT, L. A. **Como minimizar o estresse hídrico na soja**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/soja/index.htm>. Acesso em: 21/8/2007.

STEWART, J. B. A discussion of the relationships between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 30, p. 111-127. 1983.

STOLLER DO BRASIL LTDA. **Guia de fases de desenvolvimento**. Campinas, 2005.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. SUDAM. Projeto de hidrologia e climatologia da Amazônia. **Atlas climatológico da Amazônia Brasileira**. Belém. 125 p. 1984. Publicação, 39.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. In. THE YEARBOOK OF AGRICULTURE: **Water**. Washington, D.C.: Department of Agriculture, 1955. p.346-358.

TIMM, L.C. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas**. 2002. 115f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de um solo "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 115f. 2002.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva**: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre, ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, EDUSP. 1993. p.243-252.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, ABRH. 1998. 669p.

UBARANA, V.N. **Observation and modelline of raifall interception at two experimental sites in Amazônia**. Amazônian deforestation and climate. 1996.

UBARANA, V. N. **Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica**. 1994. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. São José dos Campos, SP. Brasil, 1994.

UHLAND, H.E. et al. Surface flux measurement and modelling at a semi-arid Sonoran Desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.82, n.1, p.119-53. 1996.

VALENTE, F. M. R. T. Interceptação da precipitação por cobertos arbóreos: as condicionantes físicas e a modelação do processo. **Estatuto da carreira docente universitária**. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa: 1990. Alínea B, n2, atr.58.

VASSEY, T.L.; SHARKEY, T.D. Mild water stress of (*Phaseolus vulgaris*) plants leads to reduced starch synthesis and extractable sucrose phosphate synthase activity. **Plant Physiolohty**, Rockville, v.89, p.1066-70. 1989.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field- measured infiltration rate. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 45:1040-1048. 1980.

VIEIRA, H. A. **Comportamento de quatro infiltrômetros na determinação da velocidade de infiltração básica d'água no solo**. 1977. 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa - UFV, 52f. 1977.

VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. USP. 1967. 89f. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba: 89 p. 1967.

VILLAGRA, M.M. et al. Difficulties of estimating, evaporation from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 72, p. 317-325. 1995.

WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. V. **Teoria y practica del riego por superficie**. Logan: International Irrigation Center, 1987. 459p.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of Soil Physics. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WHIGHAM, D.K.; MINOR, H. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G. **Soybean physiology: agronomy and utilization**. New York: Academic Press, 1978. p.78-118.

WIGHAM, J. M. Interception. In: RAY, D. (ed) **Handbook of principles of hydrology**. Huntington: Water information Center. 1970. Paginação irregular. Section 4.

WRIGHT, J.L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in Southern Idaho. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, p. 662-669. 1988.

WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 108, n. IR2, p. 57-74. 1982.