



Universidade Federal do Pará - UFPA
Curso de pós-graduação em Ciências Ambientais - CPPGCA

Ana Patrícia Ramos Araújo dos Santos

**Características agrometeorológicas da cultura de soja (*Glycine max* (L.)
Merrill) variedade *Candeias* em Paragominas – PA**

Belém-Pará

2008

Ana Patrícia Ramos Araújo dos Santos

**Características agrometeorológicas da cultura de soja (*Glycine max* (L.)
Merrill) variedade *Candeias* em Paragominas – PA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará,
como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Ciências Ambientais.
Orientador: João Batista Miranda Ribeiro.

Belém-Pará

2008

Nome do autor: Ana Patrícia Ramos Araújo dos Santos

Título: **Características agrometeorológicas da cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) variedade Candeias em Paragominas – PA**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Edson José Paulino de Rocha -
SIPAM

Prof. Dr. Renato Ramos da Silva – UFPA

Prof. Dr. Rodrigo Silva do Vale - UFRA

Data da defesa: 31 de janeiro de 2008

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Comparativo da produção (t) de Grãos no Estado do Pará, no período 2004/05 e o 4º Levantamento da Safra 2005/2006. Fonte e elaboração: Conab/Sureg/PA/Geose/Segeo, Setembro 2006 40

Quadro 2- Comparativo da Estimativa da Área Plantada de Grãos no Estado do Pará, no período 2004/05 e o 4º Levantamento da Safra 2005/2006. Fonte e Elaboração: Conab/Sureg/PA/Geose/Segeo, Setembro 2006 41

Quadro 3- Variáveis micrometeorológicas coletadas pela estação meteorológica automática 50

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Parâmetros de determinação da Evapotranspiração

62

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Troca de energia entre a planta e o ambiente esquematicamente. Fonte: MOTA (1976) 27
- Figura 2- Desenvolvimento de uma cultura de acordo com a atuação das variáveis micrometeorológicas. Fonte: MOTA (1976) 28
- Figura 3 - Crescimento exponencial da produção de grãos. Fonte: EMBRAPA (2003) 38
- Figura 4 - Desenvolvimento de grãos ao longo do período de 1970 a 2002. Fonte: EMBRAPA, 2003 42
- Figura 5 - Imagem do Satélite Lland-Sant do Município de Paragominas- PA. Fonte: Google earth, 2006 44
- Figura 6- Mapa de Intensidade Pluviométrica do Município de Paragominas (PA) FONTE: PALMEIRA (2004) 47
- Figura 7- Torre micrometeorológica automática de 4 metros construída no interior de um plantio de soja 48
- Figura 8 - Plantio de soja *Glycine Max (L.) Merrill* variedade *Candeias* em Paragominas-PA 49
- Figura 9 – Datalogger da Campbell CR 10x 51
- Figura 10- Equipamentos da estação meteorológica automática CRTX 10 Campbell utilizados para coleta dos dados da cultura de soja em Paragominas – PA 52

Figura 11- Sensor de Umidade do solo CS615	53
Figura 12- Representação gráfica da teoria da “big leaf”	59
Figura 13– Valores mensais de precipitação em dias julianos coletados em Paragominas durante o período de fevereiro a junho de 2006	67
Figura 14 - Valores de precipitação em dias julianos coletados em Paragominas durante o período de fevereiro a junho de 2006	68
Figura 15 - Umidade específica do ar Máxima, média e mínima (2m) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	69
Figura 16 - Temperatura do ar máxima e mínima (2m) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	71
Figura 17 - Temperatura do solo a 5, 10 e 20 cm em uma cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	72
Figura 18 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (5,0 cm) x desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	73
Figura 19 - Temperatura do solo máxima e mínima (10 cm) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	74
Figura 20 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (20 cm) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	75
Figura 21 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (5 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	76

Figura 22 - Temperatura do solo máxima e mínima (10 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	77
Figura 23 - Temperatura do solo máxima e mínima (20 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	78
Figura 24 - Velocidade máxima do vento X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006	79
Figura 25 - Direção do vento X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006	80
Figura 26 - Albedo X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006	82
Figura 27 - Umidade do solo a 10, 20 e 30 cm em uma cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006	83
Figura 28 - Umidade do solo (10 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	84
Figura 29 - Umidade do solo (20 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	85
Figura 30 - Umidade do solo (30 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006	86
Figura 31 - Fluxo de calor no solo (10 cm) X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006	87

Figura 32 - Fluxo de calor no solo (20 cm) X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006 88

Figura 33 – Evapotranspiração medida e estimada X Crescimento vegetativo no período de fevereiro a junho de 2006 89

Figura 34 – Regressão linear da Evapotranspiração medido e estimado no período de fevereiro a junho de 2006 93

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS	25
2.1 Objetivo geral	25
2.2 Objetivos específicos	25
3 REFERENCIAL TEÓRICO	26
3.1 Temperatura do ar	28
3.1.1 A influência da temperatura do ar nas plantas	29
3.1.2 Grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar	29
3.2 Temperatura do solo	30
3.2.1 Comportamento térmico do solo	30
3.2.2 Influência da temperatura do solo nas plantas	31
3.3 Radiação Solar	34
3.4 Balanço de radiação	35
3.5 Evapotranspiração	35

3.6 Cultura de Soja	37
3.6.1 Origem	37
3.6.2 Introdução no Brasil	38
3.6.3 Impactos sócio-econômicos	40
3.6.4 Clima	42
3.6.5 Solo	43
4 MATERIAL E MÉTODO	44
4.1 Aspectos físico-territoriais de paragominas	44
4.1.1 Localização	44
4.1.2 Solos	44
4.1.3 Vegetação	45
4.1.4 Topografia	45
4.1.5 Aspectos geológicos e Relevô	45
4.1.6 Hidrografia	46
4.1.7 Clima	46
4.2 Instalação do experimento	47

4.3 Coleta e Análise de dados	48
4.3.1 Metodologia aplicada para cada variável agrometeorológica	50
4.3.1.1 Instrumentos agrometeorológicos	51
4.3.2 Fundamentos teóricos	53
4.3.2.1 Determinação do albedo (α)	53
4.3.2.2 Determinação da emissividade da superfície	54
4.3.2.3 Umidade específica (q)	54
4.3.2.4 Fluxo de calor no solo (G)	56
4.3.2.5 Método de Penman – Monteith	57
4.3.2.6 Distribuição da radiação e da luz dentro de uma cultura de soja	58
- Parametrização proposta pela FAO	60
- Tabela para determinação de ETo	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1 Precipitação mensal	67
5.1.1 Precipitação	68
5.2 Umidade específica	68

5.3 Temperatura do ar no decorrer do desenvolvimento do plantio	69
5.4 Perfil horizontal da temperatura média do solo a 5, 10 e 20 cm	71
5.4.1 Temperatura do solo a 5cm no decorrer do desenvolvimento do plantio	72
5.4.2 Temperatura do solo a 10cm no decorrer do desenvolvimento do plantio	73
5.4.3 Temperatura do solo a 20cm no decorrer do desenvolvimento do plantio	74
5.4.4 Temperatura do solo a 5 cm de acordo com a profundidade do plantio	75
5.4.5 Temperatura do solo a 10 cm de acordo com a profundidade do plantio	77
5.4.6 Temperatura do solo a 20 cm de acordo com a profundidade do plantio	78
5.5 Velocidade máxima do vento no decorrer do desenvolvimento do plantio	78
5.6 Direção do vento no decorrer do desenvolvimento do plantio	79
5.7 Albedo	80
5.8 Perfil horizontal da umidade média do solo a 10, 20 e 30 cm	82
5.8.1 Umidade do solo a 10 cm de acordo com a profundidade do plantio	83
5.8.2 Umidade do solo a 20 cm de acordo com a profundidade do plantio	84
5.8.3 Umidade do solo a 30 cm de acordo com a profundidade do plantio	85

5.9 Fluxo de calor no solo a 10 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio	86
5.10 Fluxo de calor no solo a 20cm no decorrer do desenvolvimento do plantio	87
5.11 Evapotranspiração no decorrer do desenvolvimento do plantio	88
5.12 Regressão linear da Evapotranspiração no decorrer do desenvolvimento do plantio	92
6 CONCLUSÃO	94
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

RESUMO

SANTOS, A. P. R. A. dos. **Características agrometeorológicas da cultura de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) var. *Candeias* em Paragominas – PA.** Pará, 2007. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará- UFPA.

O Município de Paragominas pertence à Mesorregião Sudeste Paraense (03° 00' 00" S e 47° 21' 30" W) onde há toda uma área já alterada por desmatamentos e pastagens apenas à espera de ser incorporada ao processo produtivo agrícola. A cultura da soja tem importância significativa para a economia nacional, sendo um dos principais produtos agrícolas de exportação e geração de divisas, pertencente à família das leguminosas, se adapta em uma ampla faixa de climas, podendo ser cultivada em todos os tipos de solo. O objetivo deste estudo é avaliar as condições agrometeorológicas durante o ciclo vegetativo da soja em Paragominas - PA. Nesta área foi construída uma torre meteorológica automática de 4 metros de altura, sendo a fazenda Boi branco localizada a 03°02'15''S e 47°17'56''W e instalada uma estação com medidas a cada (5) cinco minutos das seguintes variáveis: temperatura do ar (Tar), umidade específica do ar (q), temperatura do solo (Tsolo), umidade do solo (Usolo), velocidade do vento (W), direção do vento (D), radiação solar incidente (Sin), radiação solar refletida (Sout), saldo de radiação (Rn) e fluxo de calor no solo (G) e precipitação. Variações microclimáticas têm efeitos bastante diretos no desenvolvimento da planta. As coletas realizadas entre fevereiro a início de junho de 2006 mostram que os dias 84, 98 e 126 foram os dias de maior precipitação e os dias 70 e 154 e 161 não houve chuva. De acordo com o desenvolvimento do plantio observamos que nos meses de fevereiro a início de abril a umidade específica máxima do ar se manteve elevada 21,0 g/Kg. A jornada da temperatura do ar máxima se manteve entre 23,5 °C e 32,5 °C acompanhando o desenvolvimento da cultura. A temperatura média do solo em três medidas (5, 10 e 20 cm), observou-se que as temperaturas estão entre 25 °C a 35 °C. No início do plantio a velocidade do vento estava por volta de 3 m/s decrescendo, e no final do cultivo encontrava-se 2,5 m/s.

No período de floração a velocidade se manteve estável o que contribui para a dispersão de pólen e sementes. O vento vem de todas as direções, entretanto, o vento é predominante de nordeste. Quando o solo ainda se encontra completamente nu, o albedo é elevado, pois a radiação que entra no sistema é a mesma que sai. Quando o plantio começa a se desenvolver o albedo tende a diminuir, pois a quantidade de radiação solar que chega ao sistema parte é refletida e outra absorvida pela superfície. A umidade média do solo em três medidas (10, 20 e 30 cm), onde observamos que a umidade está entre $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ a $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$. O fluxo de calor no solo a 10 cm apresentou picos em torno de -135 W/m^2 e 55 W/m^2 (7 as 18 h) e a 20 cm apresentou picos em torno de -25 W/m^2 e 45 W/m^2 (7 as 18 h). O sinal positivo representa transferência de calor do ar para o solo e o fluxo foi da superfície para as camadas mais internas do solo. Quando analisamos a evapotranspiração estimada notamos que foi inferior do que a evapotranspiração medida, sendo o pico da evapotranspiração estimada $4,0 \text{ mm/dia}$ e a evapotranspiração medida $8,8 \text{ mm/dia}$. Quando analisamos a regressão linear a evapotranspiração estimada foi inferior a evapotranspiração medida.

Palavra-chave: Soja, Temperatura do ar (T_{ar}), Umidade específica do ar (q), Temperatura do solo (T_{solo}), Umidade do solo (U_{solo}), Velocidade do vento (W), Direção do vento (D), Fluxo de calor no solo (G) e Precipitação.

ABSTRACT

SANTOS, A. P. R. A. dos. **Características agrometeorológicas da cultura de soja ((*Glycine max (L.) Merrill*) var. *Candeias* em Paragominas – PA.** Pará, 2007. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará- UFPA.

The local authority of Paragominas belongs to the South-east Mesorregião from Pará (03 ° 00 ' 00 " S and 47 ° 21 ' 30 " W) where there is the whole area already altered for deforestation and pastures only waiting for being incorporated to the productive agricultural process. The culture of the soy has significant importance for the national economy, being one of the principal agricultural produce of export and generation of emblems, pertaining to the family of the leguminous plants, is adapted in a spacious belt of climates, being able to be cultivated in all the types of ground. The objective of this study is to value the conditions agrometeorológicas during the vegetative cycle of the soy at Paragominas - PA. In this area there was built a meteorological automatic tower of 4 meters of height, being the farm white Ox located to 03°02 ´ 15 " S and 47°17 ´ 56 " W and when a station was installed with measures to each (5) five minutes of the next variables: temperature of the air (Tar), specific moisture of the air (q), temperature of the ground (Tsolo), moisture of the ground (Usolo), speed of the wind (W), direction of the wind (D), solar radiation incident (Sin), solar radiation reflected (Sout), balance of radiation (Rn) and flow of heat in the ground (G) and Haste. Microclimatic variations have quite straight effects in the development of the plant. The collections when the beginning of June of 2006 was carried out between February show that the days 84, 98 and 126 were the days of bigger haste and the days 70 and 154 and 161 there was no rain. In accordance with the development of the planting we notice that in the February the beginning of April on the very specific moisture of the air maintained elevated 21,0 g/Kg. The journey of the temperature the maxim of the air was maintained between 23,5 °C and 32,5 °C accompanying the development of the culture. The middle temperature of the ground in three measures (5, 10 and 20 cm), noticed to itself that the temperatures are between 25 °C to 35 °C. In the beginning of the planting the speed of the wind was about 3 m/s decreasing, and in

the end of the cultivation 2,5 was m/s. In the period of blooming the speed was maintained stable what contributes to the dispersal of pollen and seeds. The wind comes from all the directions, meantime, the wind is predominant of northeast. When the ground is still completely naked, the albedo is lifted up, since the radiation that enters in the system is same that it goes out. When the albedo begins to develop the planting it has a tendency to lessen, since the quantity of solar radiation that reaches the system part is reflected and other one absorbed by the surface. The middle moisture of the ground in three measures (10, 20 and 30 cm), where we notice that the moisture is between 0,2 m/m to 0,45 m/m. The flow of heat in the ground to 10 cm presented peaks around-135 W/m² and 55 W/m² (7 the 18 h) and to 20 cm he presented peaks around-25 W/m² and 45 W/m² (7 the 18 h). The positive sign represents transfer of heat of the air for the ground and the flow was of the surface for the most internal layers of the ground. When we analyse the appreciated evapotranspiration we notice what was inferior of what the evapotranspiration when 4,0 mm/dia was appreciated and the measured evapotranspiration 8,8 mm/dia. When we analyse the linear regression to appreciated evapotranspiration the measured evapotranspiration was lower.

Keyword: Soybean, Air temperature (T_{ar}), specific humidity of the air (q), soil temperature (T_{soil}), soil humidity (U_{soil}), wind speed (W), direction of the wind (D), flow of heat in the soil (G) e Haste.

Dedico à,
Minha Mãe Silvia Lúcia,
Minha Avó Delma Ramos,
Meu Marido Rafael Santos e
Ao meu Filho Filipe Santos

“É de incomensurável importância que todos os seres humanos de bom senso adquiram uma compreensão adequada dos perigos implícitos na nossa exploração desenfreada dos recursos naturais.”

S. Dillon Ripley,
Secretário Emérito, Museu Nacional da História Natural, Instituto Smithsonian

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Ao meu Orientador Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro;

Ao Coordenador e vice-coordenador Prof Dr. Leonardo Sá e Prof (a) Dra. Maria Aurora Mota do Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais - CPPGCA;

Ao Prof. Dr. Edson Rocha coordenador do projeto CT-HIDRO “Impactos nos recursos hídricos da expansão da fronteira agrícola na Amazônia”.

Ao Prof. Dr. Renato da Silva Ramos;

Aos Familiares e Amigos;

1 INTRODUÇÃO

O processo de ocupação da área que mais tarde daria origem ao município de Paragominas está relacionado ao povoamento do estado do Pará, na década de 50, a partir da abertura de rodovias e projetos de colonização. Esta ocupação foi efetivada com a presença dos camponeses, pois registros mostram que antes mesmo da chegada dos camponeses, com autorização do Governo do Estado, especuladores de Goiás haviam se inserido na floresta, ao longo do Rio Capim, com o objetivo de efetuar levantamentos e titular terras para compradores de Uberaba e Itumbiara, em Minas Gerais - MG. Com isso, houve uma rápida concentração de propriedades, e com intensas disputas pela área, as tentativas de colonização fracassaram. Contudo, muitos colonizadores (imigrantes), se fixaram na área, de onde nasceu um povoado, que foi se estruturando. E mais tarde, devido à progressiva expansão, os moradores pleitearam a emancipação política administrativa daquele povoado (HISTÓRICO DE PARAGOMINAS, 2006).

Em Paragominas, e no seu entorno, há toda uma área já alterada por desmatamentos e pastagens apenas à espera de ser incorporada ao processo produtivo agrícola. No Sul do Pará, a integração através de diversos modais de transporte é a principal vantagem para o plantio da soja. Todos os pólos possuem atrativos quanto à localização, já que ficam ao longo do corredor de exportação que desemboca no estuário do Rio Pará. Outra vantagem reside na existência de grandes depósitos de calcário na região garantia de correção do solo para a agricultura (HISTÓRICO DE PARAGOMINAS, 2006).

Essas transformações na cobertura vegetal abrangem três aspectos: a área desmatada para o plantio da soja, o impacto nas áreas de floresta em torno dos campos de soja e os investimentos em infra-estrutura que contribuem para desmatamento (FEARNSIDE, 2004).

A soja é uma planta pertencente à família das leguminosas, ou seja, do feijão, lentilha, grão de bico, ervilha e, destaca-se por ser rica em proteínas, lipídeos (gordura), fibras e algumas vitaminas e minerais.

A cultura da soja tem importância significativa para a economia nacional, sendo um dos principais produtos agrícolas de exportação e geração de divisas (CUNHA & BERGAMASCHI, 1992).

Estratégias efetivas para conter o avanço da soja e os danos causados por este processo requererão o entendimento dos processos pelo qual o avanço acontece, assim como a natureza de seus impactos (FEARNSIDE, 2004).

A abertura de novas áreas para o cultivo da soja em fazendas amazônicas pode avançar mesmo que a floresta não seja derrubada. Como é o caso de Paragominas - Pará, onde a soja é plantada em áreas já degradadas. No entanto, para substituir as pastagens perdidas, os fazendeiros podem desmatar mais áreas de floresta dentro das suas propriedades, além de desviar parte dos recursos dos subsídios governamentais destinados à soja para aumentar áreas de pastagem, o que aconteceu nos anos oitenta com os subsídios da seringueira em Rondônia.

O impacto mais óbvio é a perda do solo e de ecossistemas naturais, convertidos em soja. O sistema de agricultura convencional reduz a importância da radiação solar e subestima seus efeitos diretos no solo, em especial na redução dos estoques de matéria orgânica essencial à atividade microbiana (GASPARIM, 2005).

O sistema plantio direto tem-se destacado como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar perdas de solo e de nutrientes por erosão (GASPARIM, 2005).

Esse sistema de manejo do solo sem preparo tem apresentado rápido crescimento em área cultivada no Brasil, ocupando, atualmente, cerca de 20 milhões de hectares. Além disso, o plantio direto apresenta outros benefícios de natureza diversos: 1) possibilita a semeadura da cultura em épocas adequadas, 2) contribui para redução no consumo de combustível nas atividades agrícolas, 3) reduz o trânsito de máquinas na área, 4) pode contribuir para redução do número de terraços na área, 5) proporciona maior conservação de umidade no solo e maior aproveitamento de água disponível pelas plantas, 6) contribui para melhoria da porosidade total do solo, 7) proporciona maior tolerância a períodos de

estiagem e assegura maior probabilidade de obtenção de rendimentos elevados, já que proporciona melhores condições para o desenvolvimento vegetal (PEREIRA, 1998).

Variações microclimáticas têm efeitos bastante diretos no desenvolvimento da planta, pois elevadas temperaturas dificultam a germinação da semente desde que o solo alcance uma temperatura crítica, assim o desenvolvimento normal da planta se dá em uma temperatura adequada.

As reações químicas e a liberação de nutrientes para a planta dependem de faixas adequadas de temperatura do solo, pois influenciam na germinação das sementes, atividade funcional das raízes, velocidade e duração do crescimento das plantas e ocorrência e severidade de doenças em plantas. A superfície do solo, com ou sem cobertura vegetal, é a principal trocadora e armazenadora de energia térmica nos ecossistemas terrestres. É a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que ele se aquece e se resfria, no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes.

Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrer na superfície, aliado à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais. Segundo (BERGAMASCHI & EGUADAGNIN, 1993), a amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, no mesmo instante em que ocorre um retardamento no período de ocorrência das máximas e mínimas, em função da magnitude e da lentidão do fluxo de calor no seu interior.

A significação ecológica da temperatura do solo é obviamente importante para aqueles que trabalham na agricultura. A temperatura do solo responde mais aos efeitos locais de insolação, face da exposição e outros efeitos semelhantes, podendo diferir muito da temperatura do ar. A temperatura do solo tem maior significação ecológica para a vida vegetal do que a temperatura do ar. Nos trópicos, (MOTA, 1983), constatou que a alta temperatura do solo causa degeneração dos tubérculos de batata, sendo a temperatura ideal do solo em torno de 17°C e os tubérculos não crescem em temperaturas de solos superiores a 29°C.

Muitas localidades nas áreas polares e em altas montanhas ficariam certamente sem vegetação se não fosse o fato da temperatura do solo ser muito mais alta que a do ar, especialmente durante o período de incidência da radiação solar. Uma temperatura do solo desfavorável durante a estação de crescimento pode retardar ou mesmo arruinar as colheitas. O solo, além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor.

(PREVEDELLO, 1996) cita que “a capacidade de um solo armazenar e transferir calor é determinada pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas do local que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo”.

A condução de calor no solo é um processo muito complexo, pois não apenas pela grande variedade de partículas no solo podem ser encontradas como pela complexa estrutura do solo.

As propriedades físicas da água, do ar e do solo, bem como seus movimentos e disponibilidade no solo contribuem com reações químicas que liberam nutrientes para as plantas e são influenciados pela temperatura do solo. Além disso, o calor armazenado próximo da superfície do solo tem grande efeito na evaporação.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia – (OMM, 1956), as profundidades padrões para medir a temperatura do solo seriam 10, 20, 50 e 100 cm. As medidas de temperatura abaixo da superfície do solo não são tão imprecisas como aquelas acima da superfície, porque as variações rápidas são contrabalançadas pela grande capacidade de retenção de calor do solo, sendo o tempo de variação da temperatura em função da variação da radiação solar, aproximadamente de 1 hora. Portanto, considera-se suficiente, para a maioria dos propósitos agrícolas, medir unicamente as temperaturas máximas e mínimas diárias, especialmente a grandes profundidades.

A temperatura do solo bastante elevada ou muito baixa (oscilação térmica) causa sérios danos ao desenvolvimento das culturas. De acordo com (VOOS & SIDIRAS, 1985), a cobertura vegetal no solo contribui para o

fornecimento de matéria orgânica, que se constitui em um reservatório importante de nutrientes para os microrganismos e plantas, além de colaborar com o aumento do teor de água no solo e diminuir as variações das geotemperaturas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as condições agrometeorológicas na área de pesquisa do projeto CT-HIDRO “Impactos nos recursos hídricos da expansão da fronteira agrícola na Amazônia”.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as variáveis agrometeorológicas em diferentes períodos de observação e altura média da cultura de soja.
- Determinar as variações de crescimento diurnas e mensais no coeficiente de reflexão de ondas curtas (albedo) para diferentes estágios da cultura de soja: crescimento vegetativo, floração e maturação.
- Avaliar os efeitos radiativos no transporte de calor no solo.
- Estudar o balanço térmico do solo para diferentes estádios da cultura de soja.
- Determinar a evapotranspiração.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

As plantas interagem com o ambiente de forma complexa que envolve fatores bióticos e abióticos. A intensidade de seus fatores varia com a hora, o dia e a estação do ano (MOTA, 1983).

Segundo (PILLAR, 1995) a variação da intensidade de radiação solar determina as variações do clima no espaço e no tempo. A radiação solar influencia as condições de temperatura, movimentação do ar e a disponibilidade de água para as plantas, além de, ser utilizada diretamente pelas plantas fotossintetizantes na síntese de compostos orgânicos, estimulam processos de diferenciação de tecidos e órgãos, sendo a única fonte de toda a energia que circula através dos organismos em ecossistemas.

Sob condições de balanço positivo de radiação, a direção da convecção de calor, em geral, verifica-se distante da superfície das plantas. Por outro lado, se a superfície das plantas for mais fria que o ar, o calor é transferido para ela a partir do meio ambiente. A troca de calor com o ar ambiente por convecção será tanto mais eficaz, quanto menor e mais subdivididas forem as folhas, e quanto maior for a velocidade do vento. Sob forte insolação, a planta é cercada por um envoltório sobreaquecido de ar, junto à sua superfície.

O vento afasta a camada mais próxima alguns milímetros da superfície da planta, aumentando assim a taxa de troca de calor. Por outro lado, as plantas em roseta e as almofadadas, as quais crescem perto do solo perdem calor com menos rapidez do que as eretas – especialmente quando ocupam sítios protegidos contra o vento.

A radiação solar alcança a planta como luz solar direta dispersa e refletida. A radiação termal é emitida em frequências infravermelhas pela atmosfera, solo, plantas e animais. A planta morreria de calor se a maior parte desta energia não fosse dissipada. O grosso da energia é reirradiada; a refrigeração pela transpiração e a transferência pela convecção remove o resto. Estes fatores influenciam muito na distribuição das plantas cultivadas e isso

determina a presença da espécie ou o rendimento, em um determinado local (MOTA, 1983) (Figura 1).

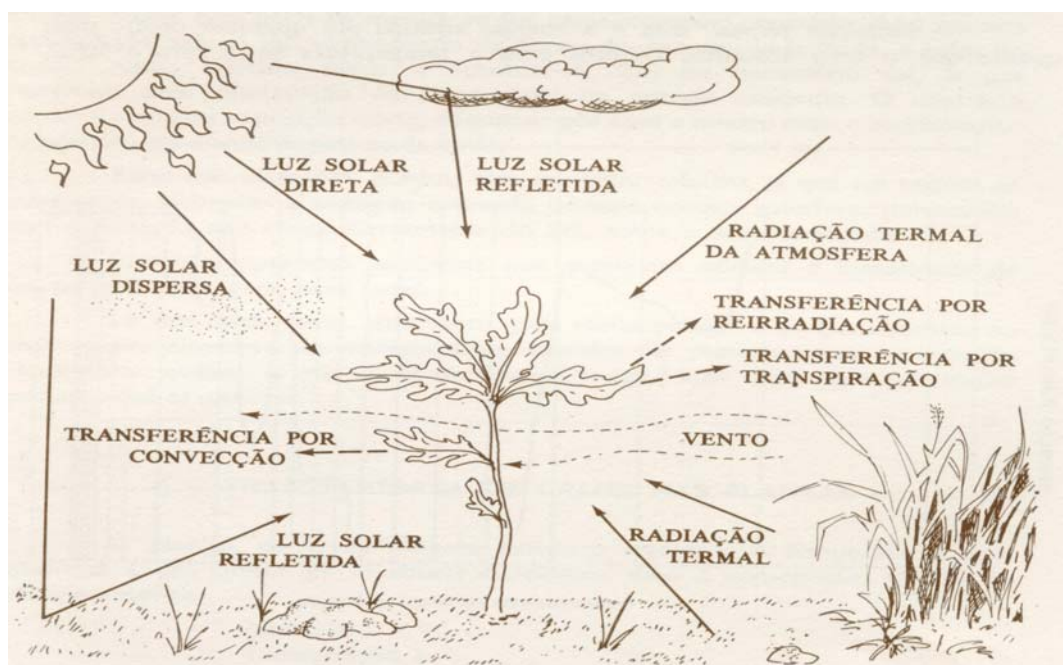


Figura 1- Troca de energia entre a planta e o ambiente esquematicamente. Fonte: (MOTA, 1983).

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. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50,0% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85,0% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50,0% (DOORENBOS & KASSAN, 1994).

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 8 mm/dia), decrescendo após esse período. 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 (EMBRAPA, 1999).

O princípio para determinação do risco climático é simples. As áreas de menor risco são aquelas onde não há deficiência hídrica o que garante a germinação e principalmente na fase de floração-enchimento de grãos (fase do ciclo das plantas que define a produtividade das culturas em quilogramas por hectare), o risco de faltar água deve ser inferior a 20,0% (SCHÖFFEL & VOLPE, 2002).

As três fases principais – crescimento da plântula, grande período de crescimento e reprodução - requerem distintas proporções de umidade, temperatura, luz e nutrientes (Figura 2).

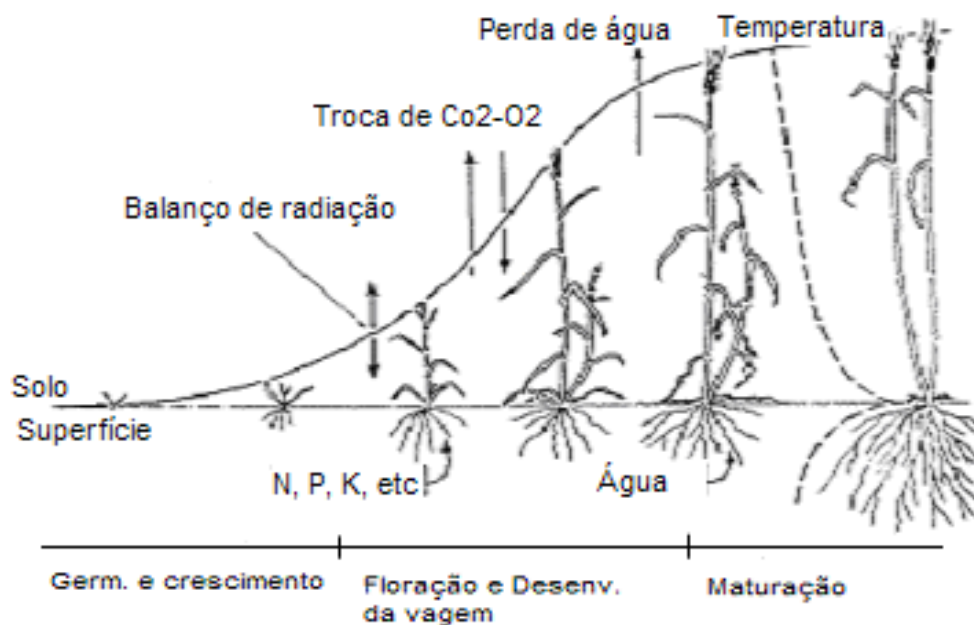


Figura 2- Desenvolvimento de uma cultura de acordo com a atuação das variáveis micrometeorológicas. Fonte: (MOTA, 1983).

3.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é medida através de termômetros comuns de mercúrio, termômetros de máxima e de mínima, ou termógrafos (registrador de temperatura que funciona pela variação da dilatação do elemento sensível com registro contínuo sobre papel em um tambor movido por mecanismo de relojoaria).

Ao contrário do solo onde a agregação das partículas sólidas facilita a transferência de energia por condução, no ar atmosférico onde as moléculas estão dispersas devido a tênue energia de ligação, o transporte de calor ocorre por convecção, que é representado pelo movimento de massa de um fluido resultando no transporte de propriedade do próprio fluido. A energia é transferida da superfície do solo (mais aquecida) para o ar imediatamente acima (mais frio), o qual quase sempre atua como reservatório de energia, havendo, entretanto, situações em que ocorrem inversões do fluxo de energia no sentido ar-superfície do solo (PREVEDELLO, 1996).

3.1.1 A influência da temperatura do ar nas plantas.

A temperatura do ar afeta todos os do processo de crescimento das plantas. Assim como todos têm um limite térmico mínimo, ótimos e máximos para cada um dos estágios de crescimento.

A eficiência na absorção dos raios solares no dossel vegetativo dá-se através de múltiplas reflexões da radiação no profundo dossel, o que causa, inclusive, diminuição do albedo. A própria natureza da disposição das folhas favorece este processo de absorção.

A radiação absorvida pela planta e que não é usada na fotossíntese é dissipada através da emissão de reirradiação de onda longa, da transpiração e da convecção. Se não houvesse dissipação de calor, a temperatura das folhas atingiria níveis muito elevados para as suas funções normais.

A temperatura ótima para a fotossíntese é geralmente mais baixa do que a temperatura ótima para a respiração; como o crescimento depende do acúmulo mais rápido do que a oxidação de compostos orgânicos. As temperaturas ótimas para fotossíntese e respiração, e a relação entre temperatura diurna (quando

ocorre fotossíntese e respiração) e noturna (só respiração) são importantes na determinação dos limites de ocorrência de grupos de plantas.

3.1.2 Grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar

O método dos graus-dia, que se baseia na premissa de que uma cultura necessita de uma determinada soma térmica acima de uma temperatura-base para completar um subperíodo ou o seu ciclo total (BERLATO, 1981); (CAMARGO & BOULOS, 1987) é o mais utilizado para relacionar o grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar; no entanto, devido a influência do fotoperíodo, este método não explica suficientemente o desenvolvimento da soja. Segundo (BERLATO, 1981), o método dos graus-dia tem sido usado para quantificar as disponibilidades térmicas regionais durante a estação de crescimento da soja.

A temperatura-base utilizada foi de 14,0°C de acordo com os experimentos de (CAMARGO & BOULOS, 1987) *apud* (SCHÖFFEL & VOLPE, 2002).

3.2 Temperatura do solo

A temperatura do solo interfere na evaporação e indiretamente nas condições hídricas (PILLAR, 1995). A medição da temperatura do solo é feita por geotermômetros, geotermógrafos (registram o curso diário ou semanal da temperatura) ou termopares enterrados a diferentes profundidades.

A profundidade determina a amplitude das ondas de temperatura no solo. Nota-se que a partir de 30 cm de profundidade, não se observa praticamente variação diária, especialmente nos níveis mais profundos (VIANELLO & ALVES, 1991).

A quantidade de radiação solar pode ser absorvida em menor ou maior quantidade de acordo com a coloração do solo. Solos de coloração clara absorvem menos do que solos escuros.

A temperatura da superfície, e das camadas mais inferiores, dependem também da razão de condução de calor através do solo e sua capacidade de calor. Estas propriedades variam com as proporções de água, sólidos e matéria orgânica no solo (PREVEDELLO, 1996).

Como generalização mais ampla, cerca de 10,0 – 30,0% do saldo de radiação instantâneo pode ser absorvido durante o dia enquanto durante a noite o solo contribui com uma maior proporção de radiação perdida. Há um ganho líquido de calor pelo solo equivalente a aproximadamente 2,0% da radiação incidente durante o verão e quase a mesma perda líquida durante o inverno.

A condutividade térmica do solo é favorecida pela porosidade e pelos seus teores de umidade e de matéria orgânica. Além da condutividade do solo, devemos considerar a difusividade térmica, ou seja, o quociente entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica, a qual determina a penetração do calor no solo.

3.2.1 Comportamento térmico do solo

Durante o período diurno o perfil do solo atua como um reservatório de calor e à noite em virtude da perda de radiação pela superfície do solo, transforma-se numa fonte de energia liberando-a para as camadas superiores (VIANELLO & ALVES, 1991).

Isso reafirma que a quantidade de energia que adentra o perfil durante o período diurno é aproximadamente igual à energia que deixa o perfil durante a noite, pois podemos dizer que o balanço de energia passa a ser repartido apenas entre aquecimento do ar e evaporação da água.

3.2.2 Influência da temperatura do solo nas plantas

A temperatura do solo é essencial para a caracterização do microclima junto à superfície do solo, tornando-se, portanto, relevante conhecer a sua variação para melhor entendimento dos fenômenos relacionados aos balanços

energéticos. É também um dos fatores que controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como a decomposição da matéria orgânica. Assim, tem importância na biologia, química e física do solo, exercendo um papel fundamental para o equilíbrio da produtividade do solo.

Além disso, a atmosfera do solo, segundo (MILTHORPE & MOORBY, 1979), contém comumente cerca de dez vezes a concentração de dióxido de carbono, o dobro da concentração de vapor d'água e menos oxigênio e nitrogênio do que a própria atmosfera. Estas concentrações variam, é claro, com a atividade dos microorganismos, fauna do solo e raízes, cuja respiração conduz a um fluxo de entrada de oxigênio e um fluxo de saída de dióxido de carbono. Esta atividade, juntamente com a impedância para a difusão de gases dentro do solo, evita a manutenção de algum equilíbrio, sendo que a maioria das trocas ocorre por difusão molecular.

A temperatura do solo influencia as atividades e os processos microbiológicos envolvidos na produção agrícola. A razão de decomposição da matéria orgânica e a mineralização das formas orgânicas de nitrogênio aumenta com a temperatura.

Segundo (LARCHER, 1986) as plantas são organismos pecilotérmicos – isto é, suas temperaturas tendem a se aproximar da temperatura ambiente. Entretanto, essa adequação não é precisa. Como elas trocam energia com os seus ambientes, a temperatura das partes das plantas acima do solo pode divergir consideravelmente da do ar. Assim, a troca de calor das plantas deve sempre ser considerada com respeito ao balanço de energia do habitat. A radiação líquida (saldo de radiação), o consumo de energia e a troca de calor são os principais fatores que influem na energia e possibilitam o equilíbrio térmico das plantas.

Suficiente, mas não excessivo, o calor é um pré-requisito básico para a vida. O processo vital e certa faixa de temperatura restringem-se mutuamente e possui ótimas temperaturas operacionais, cujo rendimento declina em ambos os lados. Assim, para cada espécie de planta, e para cada estágio de desenvolvimento, podem-se fixar “temperaturas cardiais” características (SILVA & HERZ, 1987).

Elas não constituem constantes rígidas, mas uma faixa ao redor da norma genericamente fixada. Nessas escalas, as plantas de uma espécie isolada podem evoluir para diferentes ecótipos metabólicos e/ou de resistência.

As temperaturas ótimas, mínimas e máximas, para a planta podem variar à medida que a planta adapta-se às condições ambientes. É possível, do ponto de vista térmico, conhecer os limites de sobrevivência para as plantas. Estes limites consistem nas temperaturas mais baixas e nas mais elevadas na qual uma planta pode sobreviver (SILVA & HERZ, 1987).

Faz-se uma distinção entre o limite de atividade e o limite de letalidade. Quando o limite de atividade é ultrapassado, os processos vitais ativos diminuem de modo reversível, até uma taxa mínima. No limite de letalidade, o dano é permanente e a vida se extingue. A resistência ao calor ou ao frio intenso é uma vantagem para qualquer planta. Sobretudo para aquelas que precisam evitar a competição; estas não podem se estabelecer sob condições de temperatura favoráveis. São encontradas somente em habitats abertos e, portanto, climaticamente extremos.

Segundo (RIBEIRO, 1993), a probabilidade de uma espécie vegetal sobreviver é função de sua capacidade de suportar condições atmosféricas extremas e preservar-se em habitats ameaçados. Durante a época de calor, as plantas enfrentam não apenas altas temperaturas, mas também a ameaça de dessecação. Para avaliar o grau em que uma planta é ameaçada pelo estresse térmico é necessário saber a distribuição da frequência e tempo provável de ocorrência de temperaturas extremas. Quando não dispomos de corretas medições de temperatura das plantas, as estações meteorológicas padrão podem fornecer estimativas aproximadas para comparar, em larga escala, plantas de tamanho adequado. Tais interferências podem ser úteis. Mas elas não substituem uma análise ecofisiológica quantitativa.

As temperaturas altas e baixas prejudicam as funções vitais e limitam a distribuição de determinada espécie. Temperaturas perigosamente elevadas nas plantas – exceto, naturalmente, em incêndios – ocorrem somente sob insolação

intensa. O aumento da reflexão neutraliza o superaquecimento. É o caso das folhas que se dobram interceptando menos luz solar (SILVA & HERZ, 1987).

Os efeitos do calor dependem da duração da exposição. Isto é, um leve excesso de calor durante muito tempo é tão lesivo quanto um calor intenso durante um curto espaço de tempo. A resistência ao calor é propriedade muito específica de determinadas espécies e mesmo variedades. Espécies intimamente aparentadas do mesmo gênero podem diferir, acentuadamente, a este respeito. A evolução de algumas adaptações características foi associada às condições ambientais que afetam a vida da planta, em sua amplitude de distribuição original ou presente (RIBEIRO, 1993).

Apesar da diferença na temperatura do ar entre a base e o topo de uma vegetação densa poder atingir até cerca de 10,0°C em algum instante, normalmente esta diferença é muito menos que isto. É também muito menos à noite.

Geralmente as temperaturas no dossel ficam dentro de $\pm 2,0^\circ\text{C}$ daquelas medidas fora dele. A umidade pode variar cerca de 5 g de vapor d'água por kg de ar, ou 0,8 kPa.

O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10,0°C. Temperaturas acima de 40,0°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2003).

A soja melhor se adapta a temperaturas do ar entre 20,0°C e 30,0°C; a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30,0°C. Sempre que possível, a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20,0°C porque prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30,0°C, sendo 25,0°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme (EMBRAPA, 2003).

A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13,0°C. 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. Diferença de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, é devida, principalmente, à resposta diferencial dos cultivares ao comprimento do dia (fotoperíodo) (EMBRAPA, 2003).

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 as condições de baixa umidade, predispõem a semente a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas ao período chuvoso ou de alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar (EMBRAPA, 2003).

A adaptação de diferentes cultivos 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” possui adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes (locais) e de épocas de semeadura (EMBRAPA, 2003).

3.3 Radiação Solar

A radiação solar que atinge a superfície da Terra é um parâmetro de fundamental importância para os diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Do total de radiação que chega à superfície, parte é

imediatamente refletida, parte é transmitida e outra é absorvida pelas plantas de forma diferenciada, dentro do espectro solar.

Segundo (GATES, 1965) as plantas absorvem cerca de 50,0% da radiação de ondas curtas incidentes e 97,0% da radiação de ondas longas provenientes da atmosfera. A razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes é denominada coeficiente de reflexão ou albedo, um parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação à superfície.

O albedo de uma superfície vegetada varia ao longo do período diurno, em função do ângulo de elevação do sol e ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, em função do grau de cobertura vegetal, tipo e estado de umidade do solo, condições de umidade do ar e da quantidade e tipo de cobertura de nuvens (BLAD & BAKER, 1972); (LEITÃO, 1989); (AZEVEDO *et al.*, 1990).

De acordo com (AYOADE, 1983) os raios solares verticais geralmente produzem albedo menor que os raios solares oblíquos ou inclinados; desta forma, o albedo de uma superfície é elevado após o nascer e antes do pôr-do-sol, enquanto seus menores valores ocorrem em torno do meio dia. (ANDRÉ & VISWANADHAM, 1983) estudando uma cultura de soja, observaram que o albedo variou com o desenvolvimento desta, porém se mostrou inversamente relacionado com a altura das plantas.

O albedo pode ser influenciado pela irrigação e, como consequência, afetar diretamente o balanço de radiação à superfície e, indiretamente, o balanço de energia, o que pode produzir erros significativos, principalmente nas estimativas da evapotranspiração (LEITÃO *et al.*, 1996)

3.4 Balanço de radiação

Estudos envolvendo a radiação são importantes por ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera (LEITÃO, 1994).

O balanço de radiação de uma superfície significa o estudo das trocas verticais de radiação entre a atmosfera e a superfície de um determinado sistema.

As trocas verticais de radiação são constituídas de componentes de ondas curtas e de componentes de ondas longas, que possuem fluxos direcionados à superfície e à atmosfera. O saldo de radiação representa a quantidade de energia que foi absorvida pela superfície do sistema, e que está disponível para ser usada nos processos de transferência de calor latente (evaporação e evapotranspiração) e calor sensível (aquecimento do ar e do sistema) e no processo de fotossíntese entre estas superfícies e a atmosfera (STANHILL, 1965).

Quando consideramos uma folha podemos dizer que a radiação solar ao atingir essa folha ela pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Este balanço de radiação está diretamente relacionado às características de superfície da folha, bem como a outras características internas da espécie vegetal. Estudos mostram que há uma alta correlação entre a partição da radiação incidente nas folhas e as características fisiológicas de cada espécie. Torna-se, então, possível o monitoramento remoto da biomassa e do estado fisiológico das plantas.

Sabe-se, porém, que a medida de reflectância espectral da vegetação depende de uma série de fatores como espécie, índice de área foliar, biomassa, forma e posição das folhas, teor de água, conteúdo de pigmentos, características do solo (granulometria, água e seus nutrientes), tipo de sistema sensor, assim como das condições atmosféricas. Todos estes fatores devem ser levados em consideração para que se obtenha uma adequada identificação e quantificação da vegetação. Portanto, uma vegetação escura, tipo floresta, reflete menos radiação solar que uma cultura ou gramado. Logo, sob mesmas condições climáticas, uma floresta evapotranspira mais que um gramado (BLAD & BAKER, 1972).

3.5 Evapotranspiração

A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação (GRUPO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007).

A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica, e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Alguns métodos de estimativa de ET_0 necessitam tanto de R_s (radiação solar recebida num plano horizontal na superfície terrestre) quanto de R_n (radiação líquida). R_s seria medida numa estação meteorológica, e é mais comumente registrada do que R_n , a qual necessita da medição tanto da entrada quanto da saída de radiação solar.

O solo, as plantas e a atmosfera podem ser considerados como componentes de um sistema fisicamente inter-relacionado e dinâmico, no qual os vários processos de fluxo estão interligados como os elos de uma corrente. Neste sistema, é valioso e aplicável o conceito de potencial hídrico, ou seja, o fluxo de água ocorre dos pontos de maior potencial para os de menor potencial (o fluxo ocorre em direção do gradiente de potencial negativo) (CAIRES *et al.*, 2006).

A quantidade de água transpirada diariamente é grande em relação às trocas de água na planta, de modo que se pode considerar o fluxo através da planta, em curtos períodos de tempo, como um processo em regime permanente. As diferenças de potencial, em distintos pontos do sistema são proporcionais à resistência do fluxo. A menor resistência ao fluxo é encontrada na planta e a maior resistência é encontrada no fluxo das folhas para a atmosfera, devido à mudança do estado líquido para vapor. A passagem para a atmosfera ocorre através dos estômatos localizados nas folhas e a diferença total do potencial entre o solo e a atmosfera pode chegar a centenas de bares.

O transporte de água desde as folhas até a massa de ar ocorre também através do processo de difusão de vapor, sendo proporcional ao gradiente de tensão do vapor d' água. A umidade relativa, ou seja, a relação entre a tensão real e a de saturação de vapor, relaciona-se exponencialmente com o potencial hídrico.

A transferência de água de uma área cultivada, onde a umidade do solo não é um fator limitante, ocorre segundo sua intensidade potencial e, qualquer variação será devida somente a diferenças de condições meteorológicas, incluindo os efeitos de advecção. De acordo com (BERLATO & MOLIN, 1981), o controle

exercido pela vegetação seria através da sua estrutura, afetando o albedo, a rugosidade e o sistema radicular. Na medida em que diminui a umidade do solo, ocorrem restrições à transferência de água para a atmosfera, que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas também do sistema radicular das plantas, bem como de outras características, como o estado fitossanitário das mesmas. Esta condição permite distinguir entre evapotranspiração potencial e real.

A temperatura do solo e do ar e pressão atmosférica quando afetadas pela altitude influenciam na evapotranspiração.

3.6 Cultura de Soja

3.6.1 Origem

Surgiu a partir do cruzamento de plantas naturais, oriundas de duas espécies selvagens, estas foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. São consideradas como uma das mais antigas plantas cultivadas do planeta (EMBRAPA, 2003).

A soja, juntamente, com o trigo, o arroz, o centeio e o milho tinham um papel importante na dieta alimentar da antiga civilização chinesa, onde consideravam um grão sagrado, com direito a cerimônias ritualísticas na época da semeadura e da colheita (EMBRAPA, 2003).

Durante cinco mil anos foi conhecida e explorada pelo Oriente, sendo ignorada pelo Ocidente até a segunda década do século vinte, quando os Estados Unidos (EUA) começaram a demonstrar interesse por essa exploração comercial, inicialmente como forrageira e, posteriormente, como grão (EMBRAPA, 2003).

Com o passar do tempo, a área cultivada para grãos superou a cultivada para forragem, deixando de existir por volta dos anos 60. A área cultivada para a produção de grãos crescia de forma exponencial, não apenas nos EUA, como também no Brasil e na Argentina, principalmente (Figura 3) (EMBRAPA, 2003).

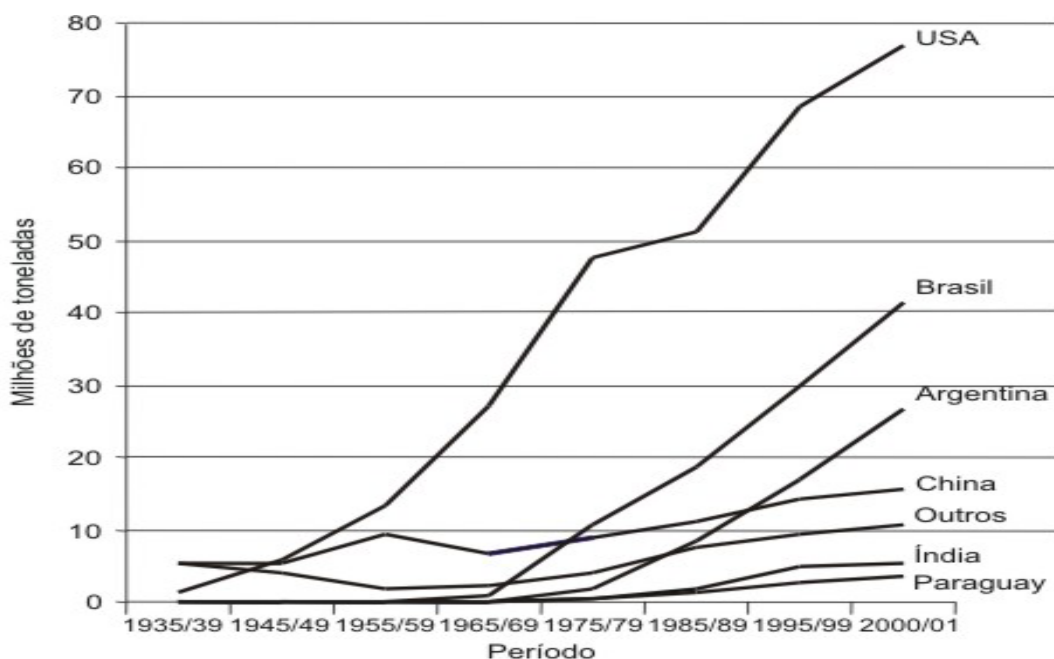


Figura 3 - Crescimento exponencial da produção de grãos. Fonte: (EMBRAPA, 2003).

3.6.2 Introdução no Brasil

A soja chegou ao Brasil através dos Estados Unidos, em 1882. Em 1891, foi estudada e analisada no Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo - SP. A soja no Brasil nesse período foi estudada mais como uma cultura forrageira, assim como nos EUA. Os grãos produzidos eram utilizados para o consumo de animais da propriedade (EMBRAPA, 2003).

Em 1900 e 1901, o Instituto Agrônomo de Campinas, SP, distribuiu as primeiras sementes de soja para os produtores paulistas, tendo-se neste mesmo período os primeiros registros do cultivo de soja no Rio Grande do Sul - RS, onde as condições de cultura eram semelhantes aos dos EUA (EMBRAPA, 2003).

Ganhando espaço em meados dos anos 50, onde a cultura da soja foi incentivada, por suceder as gramíneas, pois é uma leguminosa, quanto economicamente (melhor aproveitamento da terra, das máquinas/implementos, da infra-estrutura e da mão de obra) (EMBRAPA, 2003).

O primeiro registro de cultivo de soja no Brasil data de 1914 no município de Santa Rosa, RS. Mas foi somente a partir dos anos 40 que ela adquiriu alguma importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional em 1941, no Anuário Agrícola do RS: área cultivada de 640 ha, produção de 450 t e rendimento de 700 kg/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, 2003).

Mas foi a partir da década de 1960, impulsionada pela política de subsídios ao trigo, visando auto-suficiência, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante para o Brasil. Nessa década, a sua produção multiplicou-se por cinco (passou de 206 mil toneladas, em 1960, para 1.056 milhão de toneladas, em 1969) e 98% desse volume era produzido nos três estados da Região Sul, onde prevaleceu a dobradinha, trigo no inverno e soja no verão (EMBRAPA, 2003).

Apesar do significativo crescimento da produção no correr dos anos 60, foi na década seguinte que a soja se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhões de toneladas (1970) para mais de 15 milhões de toneladas (1979). Esse crescimento se deveu, não apenas ao aumento da área cultivada (1,3 para 8,8 milhões de hectares), mas, também, ao expressivo incremento da produtividade (1,14 para 1,73t/ha) graças às novas tecnologias disponibilizadas aos produtores pela pesquisa brasileira. Mais de 80,0 % do volume produzido na época ainda se concentrava nos três estados da Região Sul do Brasil (EMBRAPA, 2003).

Nas décadas de 1980 e 1990 repetiu-se, na região tropical do Brasil, o explosivo crescimento da produção ocorrido nas duas décadas anteriores na Região Sul. Em 1970, menos de 2,0% da produção nacional de soja era colhida no centro-oeste. Em 1980, esse percentual passou para 20,0%, em 1990 já era superior a 40,0 % e em 2003 está próximo dos 60%, com tendências a ocupar maior espaço a cada nova safra. Essa transformação promoveu o Estado do Mato

Grosso, de produtor marginal a líder nacional de produção e de produtividade de soja, com boas perspectivas de consolidar-se nessa posição (EMBRAPA, 2003).

A soja foi à única cultura a ter um crescimento expressivo na sua área cultivada ao longo das últimas três décadas. Analisando as produções das principais culturas, comparativamente à safra 2004/05 (A) e 2005/06 (B), observam-se crescimento na produção de milho (1,23%), soja (15,04%) e uma redução de 25,65% no arroz e 1,34% no feijão, conforme demonstrado no Quadro 1 (CONAB/SUREG/PA/GEOSE/SEGEO, 2006).

Produtos	Safra 04/05 (A)	Safra 05/06 4º Lev. Set (B)	Var. % (A/B)
Arroz	641.274	423.200	(34,01)
Milho	565.934	572.900	1,23
Soja	207.000	238.128	15,04
Feijão	62.844	62.000	(1,34)
Total	1.477.052	1.296.228	(12,24)

Quadro 1- Comparativo da produção (t) de Grãos no Estado do Pará, no período 2004/05 e o 4º Levantamento da Safra 2005/2006. Fonte e elaboração: Conab/Sureg/PA/Geose/Segeo, Setembro 2006.

3.6.3 Impactos Sócio-econômicos

Em termos socioeconômicos, as mudanças de uso do solo afetam as estruturas de emprego, produtividade da terra, qualidade de vida, etc. Em áreas urbanas, causa preocupação, inclusive nos países desenvolvidos, a expansão dos subúrbios e áreas industriais nas periferias das grandes cidades, causando perda de áreas para agricultura e de vegetação natural; e, finalmente, nos países subdesenvolvidos, as precárias condições de vida e ambientais resultantes do rápido crescimento de centros urbanos (EMBRAPA, 2003).

A revolução sócio-econômica e tecnológica protagonizada pela soja no Brasil Moderno pode ser comparada ao fenômeno ocorrido com a cana de açúcar, no Brasil Colônia e com o café, no Brasil Império/República, que, em épocas diferentes, comandou o comércio exterior do País (MCGRATH & DIAZ, 2006).

A soja vem assumindo gradativa expressão no mercado. Introduzida no Pará em meados dos anos 90, esse grão ainda tem uma baixa produtividade quando comparada com a produção nacional, mesmo assim a quantidade produzida e o rendimento médio obtido vêm apresentando resultados bastante satisfatórios.

O Pará possui uma área estimada em 6,2 milhões de hectares disponíveis para a cultura de soja, mas esse cultivo só se deu em meados de 1995 no território paraense mais precisamente no município de Paragominas e em seguida, Redenção no sul do Pará. Os resultados da pesquisa, nesses dois pólos, mostraram a viabilidade do cultivo da soja no Estado, ao apresentar uma produtividade média de 45 a 50 sacas (60 kg) por hectare, acima da média nacional que é de 35 sacas/ha. De 1997 para 2004, a área colhida da soja elevou-se de 575 para 35.219 hectares, o que significa um aumento de 6.125%. A quantidade produzida subiu de 1.353 para 99.437 toneladas e o rendimento de 2.353 para 2.823 kg/ha. Em 2004, os maiores municípios produtores de soja foram: Santarém (29.700 toneladas); Santana do Araguaia (18 mil toneladas); Ulianópolis (11.570 toneladas) e Paragominas (9.777 toneladas) (EMBRAPA, 2003).

De acordo com a (CONAB/SUREG/PA/GEOSE/SEGEO, 2006), o cultivo da soja, continua em expansão no Estado do Pará, com aumento de 15,57% na área plantada com 79.745 ha contra os 69.000 ha da safra anterior (04/05) (Quadro 2).

Produto	Safra 04/05 (A)	Safra 05/06 4º Lev. Set (B)	Var. % (A/B)
Arroz	297.974	211.601	40,82
Milho	281.594	275.700	2,14
Soja	69000	79.700	(13,43)
Feijão	73800	74.001	(0,27)
Total	722.368	641.002	12,69

Quadro 2– Comparativo da Estimativa da Área Plantada de Grãos no Estado do Pará, no período 2004/05 e o 4º Levantamento da Safra 2005/2006. Fonte e Elaboração: Conab/Sureg/PA/Geose/Segeo, Setembro 2006.

Abrindo fronteiras e semeando cidades, a soja liderou a implantação de uma nova civilização no Brasil Central, levando o progresso e o desenvolvimento para uma região despovoada e desvalorizada, fazendo brotar cidades no vazio dos Cerrados e transformando os pequenos conglomerados urbanos existentes, em metrópoles (EMBRAPA, 2003).

O explosivo crescimento da produção de soja no Brasil, de quase 260 vezes no transcorrer de apenas quatro décadas, determinou uma cadeia de mudanças sem precedentes na história do País. Foi a soja, inicialmente auxiliada pelo trigo, a grande responsável pelo surgimento da agricultura comercial no Brasil. Também, ela apoiou ou foi a grande responsável pela aceleração da mecanização das lavouras brasileiras, pela modernização do sistema de transportes, pela expansão da fronteira agrícola, pela profissionalização e pelo incremento do comércio internacional, pela modificação e pelo enriquecimento da dieta alimentar dos brasileiros, pela aceleração da urbanização do País, pela interiorização da população brasileira (excessivamente concentrada no sul, sudeste e litoral do Norte e Nordeste), pela tecnificação de outras culturas (destacadamente a do milho), bem como impulsionou e interiorizou a agro-indústria nacional, patrocinando a expansão da avicultura e da suinocultura brasileiras (Figura 5) (EMBRAPA, 2003).

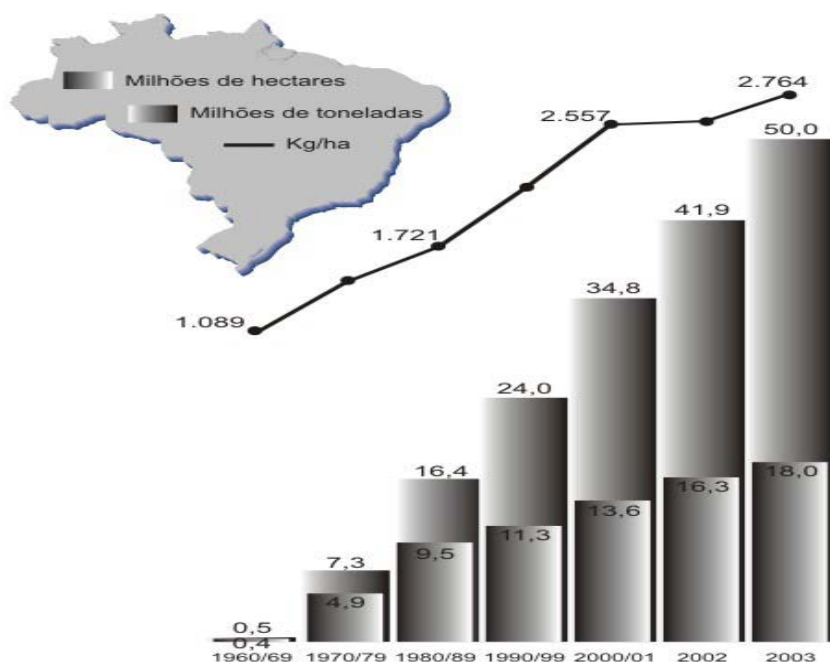


Figura 4 - Figura da produtividade do cultivo de grãos de soja entre os períodos de 1960 a 2003. Fonte: EMBRAPA, 2003.

Atualmente, os principais pólos sojicultores no estado do Pará são: Santarém (O clima quente e úmido permite duas safras ao ano. Deverá ter 18 mil hectares de soja em 2004), Paragominas (já foi o maior pólo madeireiro da Amazônia. No ano passado produziu 14 mil toneladas de soja) e Redenção (os sojicultores corrigem o solo destruído pelas queimadas e pela pecuária. Devem plantar 7.400 hectares neste ano) (REVISTA ÉPOCA, 2007).

3.6.4 Clima

Embora a origem da soja seja de clima temperado, esta se adapta em uma ampla faixa de outros climas. Com isso seus cultivares aclimatados progridem nos climas tropical e subtropical (EMBRAPA, 2003).

As temperaturas médias, ótimas para melhor desenvolvimento da soja, estão entre 20,0 a 35,0°C. Acima ou abaixo dessas temperaturas, há o aparecimento de distúrbios fisiológicos, especialmente no que se refere à floração e ação dos nódulos nas raízes (PILLAR, 1995).

Precipitações pluviométricas anuais de 700 a 1.200 milímetros, bem distribuídas, preenchem perfeitamente suas necessidades em água (EMBRAPA, 2003).

Vários estudos comprovam que o período reprodutivo da soja é o mais sensível ao déficit hídrico; no entanto, não há consenso entre os autores quanto ao(s) estágio(s) mais crítico(s) à baixa umidade do solo. A necessidade de água na soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo no florescimento-enchimento de grãos e decresce depois desse estágio fenológico. Déficits hídricos expressivos durante esses estágios provocam alterações fisiológicas na planta, causando a queda prematura de folhas e flores e abortamento de vagens e também reduz a produtividade de grãos (EMBRAPA, 1999).

3.6.5 Solo

A soja não apresenta grandes exigências, podendo ser cultivada em todos os tipos de solo, desde que apresentem fertilidade média e não sejam muito ácidos ou mal drenados (EMBRAPA, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Aspectos físico-territoriais de Paragominas-PA

4.1.1 Localização

A área de estudo se localiza no Município de Paragominas pertence à Mesorregião Sudeste Paraense e à Microrregião de Paragominas. A sede municipal apresenta as seguintes coordenadas geográficas: $03^{\circ} 00' 00''$ S e $47^{\circ} 21' 30''$ W. Este município tem como limite ao Norte - Municípios de Ipixuna do Pará e Nova Esperança do Piriá, a Leste - Estado do Maranhão, ao Sul - Municípios de Dom Eliseu, Ulianópolis e Goianésia do Pará e a Oeste - Município de Ipixuna do Pará (HISTÓRICO DE PARAGOMINAS, 2006). A localização geográfica do município de Paragominas pode ser visualizada na Figura 5, destacando à esquerda a localização da torre e estação meteorológica automática do Projeto CT-HIDRO.

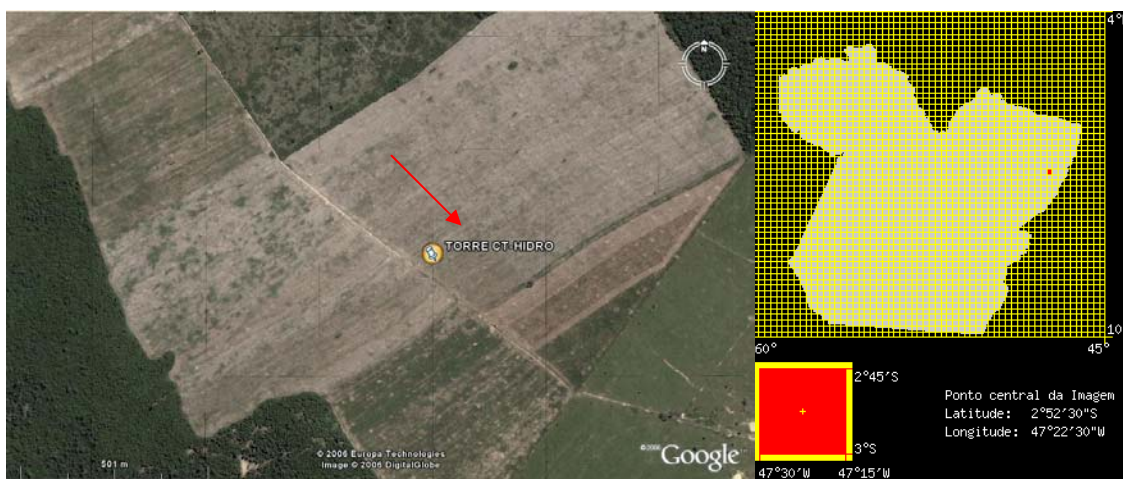


Figura 5 - Imagem do Satélite Lland-Sant do Município de Paragominas- PA.
Fonte: Google earth, 2006.

4.1.2 Solos

O Município de Paragominas apresenta variadas associações de solo como: Latossolo Amarelo- textura argilosa e muito argilosa, Latossolo Amarelo-textura argilosa e Concrecionários Lateríticos, textura média e Areias Quartzosas. Além da presença de Solos Aluviais e Solos Indiscriminados nas áreas de várzea (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006).

Segundo (CAIRES *et al.*, 2006), o sistema de plantio direto tem se destacado como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar perdas de solo e de nutrientes por erosão.

4.1.3 Vegetação

A Mata Primária do Município de Paragominas era representada por uma Floresta Densa da sub-região dos Altos Platôs do Pará-Maranhão, por uma Floresta Densa de Planície Aluvial e dos Ferraços. Entretanto, com os intensos desmatamentos provocados pelo avanço da agropecuária na região, reduziram, notavelmente, as grandes áreas cobertas pela floresta original, sendo dominada atualmente por extensas áreas de Mata Secundária (Capoeira nos seus diversos estágios de desenvolvimento) (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006).

4.1.4 Topografia

A topografia deste município apresenta níveis altimétricos (Processo de medição de elevação de pontos da superfície) com pouca variação. Contudo, tais níveis se encontram em cotas mais elevadas que a média dos municípios da microrregião de Paragominas. A referência que se tem é da sede municipal, onde a altitude alcança cotas aproximadas de 40m. Entretanto, mais ao sul do município, essas cotas crescem um pouco mais (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006).

4.1.5 Aspectos geológicos e Relevô

De acordo com o (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006), a característica geológica do Município é representada pela formação de Itapicuru, do Cretáceo, que apresenta arenitos, predominantemente vermelhos, finos, caulínicos, argilitos vermelhos laminados e calcário margoso fossilífero.

Existe, ainda, a presença de sedimentos do Terciário, Barreiras e Quaternários subrecente e recente. O relevo apresenta tabuleiros relativamente elevados e aplainados, formas colinosas dissecadas, baixos tabuleiros, terraços e várzea.

Morfoestruturalmente fazem parte da unidade que se convencionou chamar de Planalto Sul do Pará/Maranhão.

4.1.6 Hidrografia

Existem vários rios importantes no Município. Na porção Sudeste-Nordeste está o rio Gurupi, que separa o Pará do Maranhão. Na sua margem esquerda, aparecem vários afluentes, que se localizam no Município, tais como o Gurupzinho, o Uraim, o Coaraci-Paraná, o Croantá e o Piriá. Em direção oposta, no sentido Oeste, está o rio Surubiju, que limita o município com Rondon do Pará e recebe uma série de igarapés na sua margem direita, que pertencem a Paragominas. O rio Surubiju é, no Município, o afluente mais importante do rio Capim (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006).

O rio Capim é outro curso d'água de maior importância do Município e serve de limite entre Paragominas e São Domingos do Capim. Primeiro possui a direção Oeste-Leste, depois, a direção Norte, até chegar ao paralelo de 3°, onde recebe o rio Candiru-Açu, seu último afluente da margem direita dentro do Município, serra do Tambaú de limite natural com São Domingos do Capim. O rio Uraim banha a sede do Município a Noroeste(ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006).

4.1.7 Clima

Segundo o (ARQUIVO ESTATÍSTICO MUNICIPAL, 2006), o clima do município de Paragominas é do tipo mesotérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25,0 °C.

O período mais quente, com médias mensais em torno de 25,5°C, coincidem com os meses de primavera no hemisfério Sul, e as temperaturas mínimas diárias de 20,0°C, ocorrem nos meses de inverno no referido hemisfério (junho a agosto).

A distribuição da precipitação no município de Paragominas (Figura 6), mostra que há uma gradação da intensidade pluviométrica, com os menores valores concentrados na porção leste crescendo para oeste, mostrando coerência com a distribuição da vegetação (transição Maranhão – Pará) e com o grau de dissecação do relevo, que também cresce para oeste (PALMEIRA, 2004).

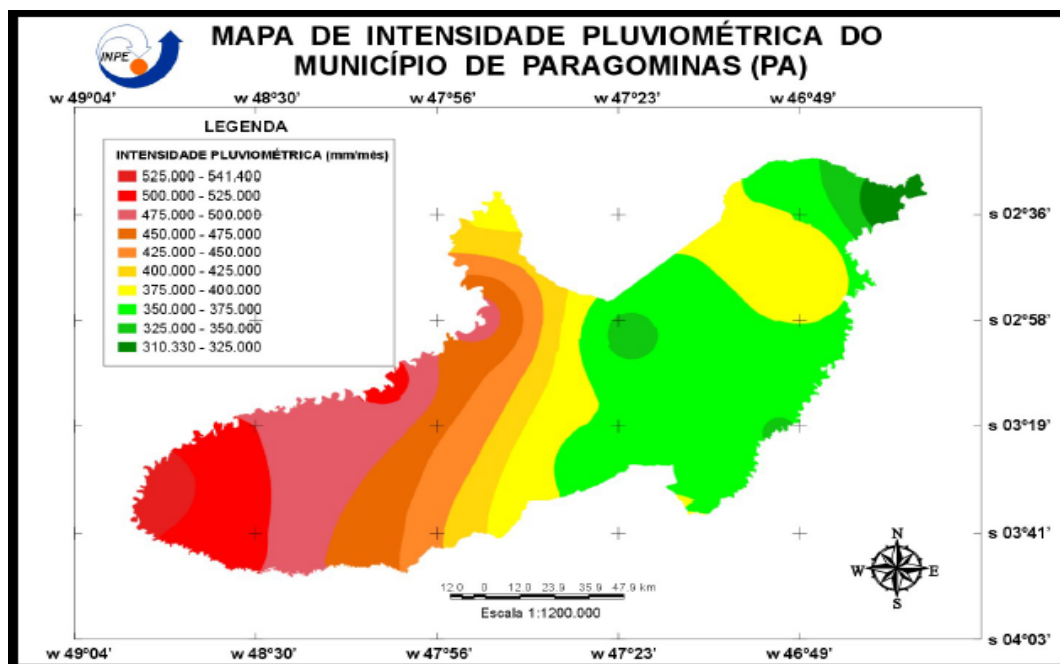


Figura 6 – Mapa de Intensidade Pluviométrica do Município de Paragominas (PA).
FONTE: PALMEIRA, 2004.

4.2 Instalação do experimento

A área escolhida faz parte da fazenda Boi Branco, medindo aproximadamente 200 ha. Nesta área foi construída uma torre meteorológica

automática de 4 metros de altura, localizada a 03°02'15''S e 47°17'56''W e instalada uma estação com medidas a cada (5) cinco minutos das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade específica do ar, temperatura do solo, umidade do solo, velocidade do vento, direção do vento, radiação solar incidente, radiação solar refletida, saldo de radiação e fluxo de calor no solo (Figura 6).



Figura 7- Torre micrometeorológica automática de 4 metros construída no interior de um plantio de soja , local Fazenda Boi Branco, Paragominas-PA.

4.3 Coleta e Análise de dados

Foram coletadas no período de fevereiro a junho de 2006 (em dias julianos), cinco variedades de soja: *Tracajá*, *Sambaiba*, *98c81*, *98c82* e *Candeias*, onde se usou como referência a variedade *Candeias* que ocupava 25 ha da área total (Figura 8).



Figura 8 - Plantio de soja *Glycine Max* (L.) Merrill variedade *Candeias* em Paragominas-PA.

O ciclo vegetativo corresponde ao mês de fevereiro (dias julianos 49 e 56) referente ao período de semeadura e emergência, ao mês de março (dias julianos 63 ao 74) referente ao período de crescimento vegetativo e início da floração, aos meses de abril (dias julianos 91 ao 106) e maio (dias julianos 126 ao 139) que concentraram os períodos de floração e maturação e ao mês de junho (dia juliano 141 ao 161) que foi o período de colheita das vagens.

Antes de dar início ao plantio a semente foi preparada com inoculante, fungicida e inseticida, e após a preparação do solo com dessecantes (24D, Glifosato e RONDAP NG), em um espaçamento entre linhas de 0,45 cm e entre as plantas de 0,10 cm, e a inserção de 400 kg/ha de produto químico como fósforo, potássio e nitrogênio nas respectivas concentrações 20/18/2 foi que se iniciou-se a semeadura da variedade *Candeias*, após quatro dias de realização da manipulação do solo. A semeadura da variedade *Candeias* foi realizada em 3 dias, sendo: 3, 4 e 5 de fevereiro de 2006. Na área em que se encontravam os sensores, ou seja, próximo à torre micrometeorológica automática, o plantio foi feito manualmente no dia 04 de fevereiro de 2006.

4.3.1 Metodologia aplicada para cada variável agrometeorológica

A análise das variáveis agrometeorológicas foi realizada a partir do perfil das variações horária e diária das variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do solo, umidade do solo, velocidade do vento, direção do vento, radiação solar incidente, radiação solar refletida, saldo de radiação e fluxo de calor no solo (Quadro 4, Figura 9, 10 e 11).

Parâmetro	Instrumento	Modelo	Fabricante	Nível
Precipitação	Pluviômetro			
Temperatura do ar	Termômetros comuns de Hg	HMP45AC	Vaisala	2 m
Umidade relativa do ar	Psicrômetro	HMP45AC	Vaisala	2 m
Temperatura do solo	Termopares	Temp108	Campbell	5, 10 e 20 cm
Umidade do solo	Sensores	CS615	Campbell	10, 20, e 30cm
Velocidade do vento	Anemômetro	RM Young Wind anemometer	Campbell	4 m
Direção do vento	Sensores	RM Young Wind Vane	Campbell	4 m
Radiação solar incidente	Piranômetro	CM3 Kipp & Zonen	Campbell	2,45m
Radiação solar refletida	Piranômetro	CM3 Kipp & Zonen	Campbell	2,45m
Saldo de radiação	Saldo-radiômetro	NR-Lite Kipp & Zonen	Campbell	2,45m

Fluxo de calor no solo	Placas medidoras	HFP01SC-L	Hukseflux	10 e 20cm
------------------------	------------------	-----------	-----------	-----------

Quadro 3- Variáveis agrometeorológicas coletadas pela estação meteorológica automática.

4.3.1.1 Instrumentos Agrometeorológicos

- Armazenagem de dados

Para armazenagem dos dados meteorológicos e de solo, foi utilizado um Datalogger da Campbell CR 10x.



Figura 9- Datalogger da Campbell CR 10x

- Equipamentos meteorológicos

Para a coleta de dados meteorológicos foram utilizados: pluviômetro, termômetros comuns de Hg da Vaisala HMP45AC para medir a temperatura do ar, psicrômetro da Vaisala HMP45AC para medir a temperatura do ar e umidade relativa, anemômetro para medir a velocidade do vento da Campbell RM Young, sensores para medir a direção do vento da Campbell RM Young, piranômetro para medir a radiação solar incidente e refletida da Campbell CM3 Kipp & Zonen e saldo – radiômetro para medir o saldo de radiação da Campbell NR-Lite Kipp & Zonen.

Anemômetro (a)



Pluviômetro(b)



Albedometro (c)

Radiômetro (d)



Psicrometro (Temp ar e UR) (e)



Figura 10- Equipamentos da estação meteorológica automática CRTX 10 Campbell utilizados para coleta dos dados da cultura de soja em Paragominas – PA.

- Equipamentos de coleta no solo

Para coleta de dados no solo foram utilizados: termopares da Campbell Temp108 para medir a temperatura do solo a 5, 10 e 20 cm, sensores da Campbell CS615 para medir a umidade do solo a 10, 20, e 30cm e placas medidoras da Hukseflux HFP01SC-L para medir o fluxo de calor no solo a 10 e 20cm.

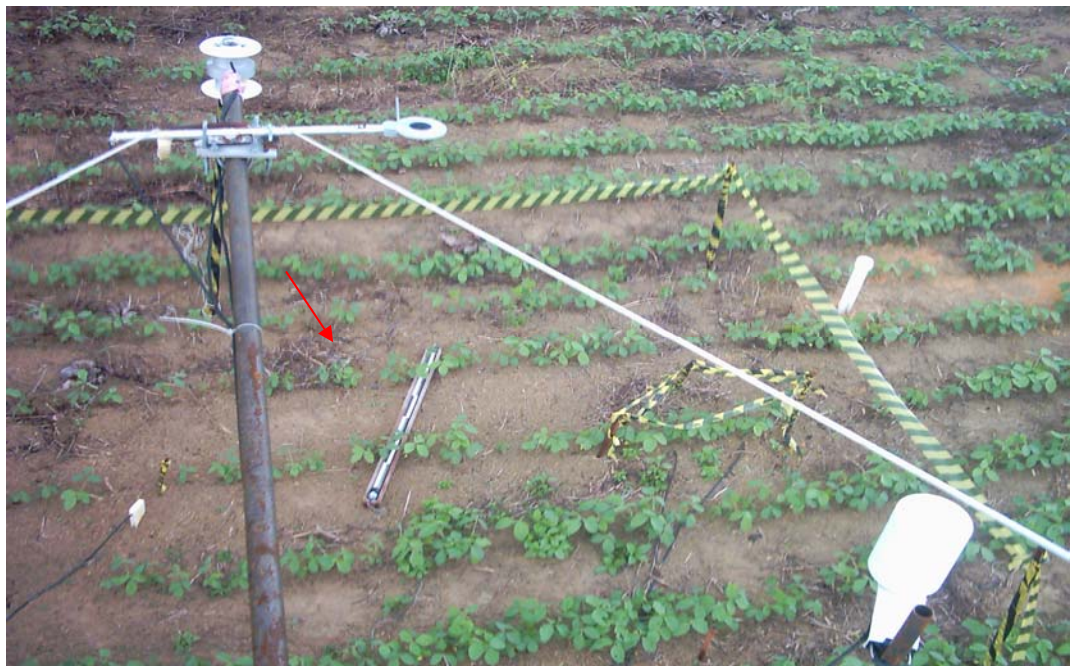


Figura 11- Sensor de Umidade do solo CS615

4.3.2 Fundamentos teóricos

4.3.2.1 Balanço de radiação

O balanço de radiação da superfície de um dossel pode ser dado pela soma algébrica do balanço de radiação de ondas curtas, $S_n = R_g - R_r$, e o balanço de radiação de ondas longas, $L_n = R_a - R_s$, ou seja:

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_a - R_s)$$

(1)

onde:

R_n = saldo de radiação ($W m^{-2}$);

R_g = radiação solar global incidente na superfície ($W m^{-2}$);

R_r = radiação solar refletida pela superfície ($W m^{-2}$);

R_a = radiação dirigida da atmosfera para a superfície ou contra-radiação ($W m^{-2}$);

R_s = radiação emitida ou emissão da superfície ($W m^{-2}$);

Uma vez determinado o valor da radiação solar global, o balanço de radiação de ondas curtas foi estimado, conhecendo-se o albedo ou coeficiente de reflexão para a radiação de ondas curtas (α) da superfície em questão, isto é:

$$S_n = R_g (1 - \alpha)$$

(2)

4.3.2.2 Determinação do albedo (α)

O albedo foi obtido pela razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente, ambas medidas a cada dez minutos. O albedo médio diário foi determinado pela razão entre os valores médios de radiação refletida e radiação incidente, obtidos a cada dez minutos e integrados para o período diurno (7:00 às 18:00 h), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Utilizou-se a equação abaixo para determinação do albedo.

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g}$$

(3)

4.3.2.3 Determinação da emissividade da superfície

A emissividade da superfície é dada pela seguinte equação:

$$R_s = \varepsilon_f \sigma T_f^4 + (1 - \varepsilon_f) R_a \quad (4)$$

Onde:

ε_f é a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann, representada por $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-4}$.

A emissividade apresenta uma variação entre 0 e 1, variando para as florestas naturais e culturas de médio porte entre 0,95 e 0,98, segundo (VISWANADHAM *et al.*, 1990). Para finalidades práticas, considera-se $\varepsilon_f = 1$, assim, a eq.(4) torna-se

$$R_s = \sigma T_f^4 \quad (5)$$

Substituindo-se as eqs. (2) e (5) na eq.(1), nós obtemos a função da superfície nas trocas radiativas, reescrevendo-se a eq.(3) da seguinte forma:

$$R_n = R_g(1 - \alpha) + R_a - \sigma T_f^4 \quad (6)$$

Na eq. (6) a contribuição da radiação emitida pela atmosfera (em ondas longas) pode ser estimada através de um método simples dado por

$$(7) R_a = \varepsilon_a \sigma T_a^4$$

em que, T_a é a temperatura do ar próximo à superfície (cerca de 1,5 m acima da superfície) e ε_a é a emissividade atmosférica sob céu claro.

Para simplificar e adequar às condições apresentadas na eq. (6), (BRUTSAERT, 1975) deduziu uma expressão empírica com base física, a partir da equação de transferência radiativa em uma atmosfera plana estratificada, introduzindo o efeito da umidade, através da pressão do vapor d'água, considerando condições de céu claro, obtendo:

$$(8) \quad \varepsilon_a = 1,24 \left(\frac{e}{T_a} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Onde:

T_a dada em Kelvin (K). A pressão que o vapor d'água exerce na atmosfera, e , em hPa, foi determinada por meio da seguinte equação:

$$e = \frac{UR e_s}{100}$$

(9)

em que UR é a umidade relativa do ar em (%), obtida a partir dos dados de temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido; e_s é a pressão de saturação do vapor d'água em hPa, calculada a partir da temperatura do ar em °C, usando a equação de Tetens (NORMAN, 1979), ou seja,

Para temperatura do ar (t) $\geq 0^\circ\text{C}$

$$(10) \quad e_s = 6,1078 \cdot 10^{\frac{(7,5T_a)}{(T_a + 237,3)}}$$

Para temperatura do ar $t < 0^\circ\text{C}$

$$e_s = 6,1078 \cdot 10^{\frac{(9,5T_a)}{(T_a+265,5)}}$$

(11)

Deste modo o saldo de radiação fica dependendo das duas componentes em direção à superfície, do albedo e da temperatura da superfície do dossel. Assumindo-se que as componentes em direção à superfície são espacialmente constantes, então qualquer variação espacial do saldo de radiação é devido à variação espacial do albedo ou da temperatura da superfície, ou de ambos. A componente R_a é função básica da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da nebulosidade. Já o termo σT_{f4} depende da temperatura da superfície e da sua emissividade.

Durante o dia o balanço de radiação de onda curta $R_g (1 - \alpha)$ é o termo dominante para R_n e o albedo governa o recebimento de radiação solar. À noite, o saldo de radiação é determinado pelos termos referentes ao balanço de radiação de onda longa (R_n negativo), que passa a governar os processos de perdas, as quais são controladas pela temperatura e emissividade da superfície considerada. Devido a estas perdas de radiação durante a noite, o saldo de radiação diurno é maior do que o saldo de radiação das vinte e quatro horas.

43.2.4 Umidade específica (q)

A umidade específica é a relação existente entre a massa do vapor d'água [g], por unidade de massa de ar úmido [kg]. Pode ser obtida através da seguinte equação:

$$q = \frac{0,622 e}{p - 0,378 e}$$

(12)

Onde:

p = pressão atmosférica (hPa);

4.3.2.5 Fluxo de calor no solo (G)

O fluxo de calor do solo é a fração do saldo de radiação que é transportada para os níveis inferiores do solo e, geralmente, resulta em acréscimo de energia para o meio à noite, ou em diminuição, no período diurno. Segundo (GALVANI *et al.*, 2001), em estudos de balanço de energia a quantificação do G torna-se importante, pois representará a entrada/saída de energia de determinado meio, contribuindo, assim, para o aumento e/ou redução nos fluxos de calor latente e sensível e, conseqüentemente, aumentar e/ou reduzir as taxas de evaporação e transpiração.

O fluxo de calor no solo se dá por condução. Por ser um fluxo lento, com o aumento da profundidade do solo há um retardamento progressivo dos momentos de ocorrência de temperaturas extremas. Fatores como textura, conteúdo de água e de matéria orgânica afetam as propriedades térmicas do solo. Quanto mais úmido o solo, mais lento é o fluxo de calor, porque o calor específico da água é maior do que o dos minerais do solo. Solos arenosos, por terem menor capacidade calorífica, menor condutividade térmica e menor resfriamento por evaporação, se aquecem mais numa tarde de verão do que os solos argilosos (PILLAR, 1995).

O transporte de calor no solo ocorre inicialmente por condução molecular, com influências secundárias dos transportes por radiação e convecção; o fluxo de calor no solo é função da temperatura em diferentes níveis e da condutividade térmica do solo, sendo influenciado diretamente pela variação da primeira. Este fluxo pode ser estimado tomando por base a Lei de Fourier na equação:

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \cong \lambda \frac{T_s - T_l}{l}$$

(13)

Onde:

λ = condutibilidade térmica ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$);

T_s e T_l = temperaturas do solo à superfície s , e na profundidade l , respectivamente.

A equação acima é aplicada apenas para escoamento de calor vertical, considerando-se os valores de temperatura do solo a 10 cm de profundidade.

4.3.2.6 Método de Penman – Monteith

Suponha que a vegetação (dossel) seja representada por uma enorme folha (Teoria da “big leaf”, (MONTEITH, 1965)), e isso implica em assumir que todas as folhas estão expostas às mesmas condições ambientais, embora essa não seja a condição real. Essa é a premissa necessária pra se obter a “resistência do dossel” (r_c) à difusão do vapor d’água; dossel, e que, por sua vez, determina uma “transpiração média”.

Nessas condições, o dossel está a uma temperatura T_o , com pressão de saturação vapor $e_s\{T_o\}$. Adjacente à “folhona” existe uma camada superficial de ar que está também com temperatura T_o , mas com pressão de vapor e_o , e isto induz uma transpiração que é dada pela densidade de fluxo de calor latente (λE)

$$\lambda E_1 = \frac{c_p \rho [e_s\{T_o\} - e_o]}{\gamma r_c}$$

(14)

Em que:

λ = calor latente de evaporação [2,45 MJ Kg⁻¹];

ρ = densidade do ar seco [1,26 Kg m⁻³];

C_p = calor específico do ar seco à pressão constante [1005 J Kg⁻¹K⁻¹];

γ = coeficiente psicrométrico

Imediatamente acima desta camada, o ar está com temperatura T e pressão de vapor e . Portanto, existe uma resistência do ar ao transporte de vapor (r_{av}) que determina uma densidade de fluxo transpirativo igual a:

$$\lambda E_2 = \frac{c_p \rho [e_o - e]}{\gamma r_{av}}$$

(15)

Pela diferença de temperatura entre o dossel e o ar há transporte de calor sensível (H) que também é governado pela resistência do ar (r_{ah}), isto é:

$$H = \frac{c_p \rho [T_o - T]}{r_{ah}}$$

(16)

A Figura 12 é uma representação esquemática dessa situação.

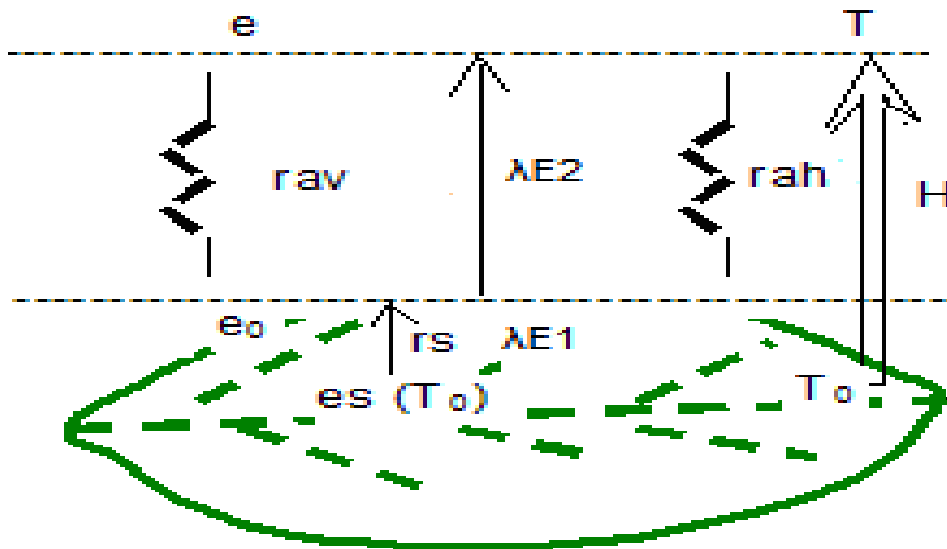


Figura 12- Representação gráfica da teoria da “Big Leaf”.

Efetuando-se simplificações matemáticas e introduzindo o conceito de balanço de energia, tem-se:

$$\lambda E = \frac{s(Rn - G) + M \rho c_p \frac{\Delta e}{r_a}}{s + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)}$$

(17)

onde r_a é a resistência aerodinâmica, sendo o valor numérico de s dado pela expressão

$$s = \frac{4098e_s}{(T + 237,3)^2}, \quad [\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}]$$

(18)

O coeficiente M ajusta a escala do tempo visto que r_a é dada em sm^{-1} , isto é, quando $M = 1$ o resultado será por segundo; $M = 60$ será por minuto; $M = 3,6 \cdot 10^3$ será por hora; e, $M = 86400$ será por dia. Obviamente, que $(Rn - G)$ será dada também na mesma escala de tempo.

Uma maneira de determinar a resistência aerodinâmica é através da equação:

$$r_a = \frac{\left(\ln \frac{Z_2 - d}{Z_1 - d} \right)^2}{k^2 (U_2 - U_1)}$$

(19)

Ou seja, r_a é inversamente proporcional à velocidade do vento (u); logo, quando $(u_2 - u_1)$ tende para zero, r_a tende para o infinito, anulando o efeito do termo aerodinâmico (adiabático); e k é a constante de Von Karman ($\cong 0,4$).

A resistência da vegetação (r_c) é condicionada pela demanda atmosférica e pela capacidade da planta em extrair água do solo em quantidade suficiente para atender à demanda. Se a demanda não for plenamente atendida, r_c aumenta com conseqüente redução na contribuição do termo convectivo ao total de evapotranspiração. Quando não há restrição ao atendimento da demanda, geralmente r_c é menor que r_a , e nessa situação a evapotranspiração se diferencia da evaporação apenas pelo efeito do albedo no balanço de energia, e pela rugosidade da superfície que afeta r_a .

Este método é importante para se compreender os processos físicos e biológicos que controlam a evapotranspiração. No entanto, sua operacionalidade ainda é deficiente sendo utilizado principalmente em projetos de pesquisas, visto que r_c e r_a variam ao longo do dia e são de difícil mensuração. Mais comum é o uso reverso da equação em que medidas lisimétricas e do balanço de energia são utilizadas para se estimar r_c da vegetação como um todo, comparando-a com medidas pontuais feitas com porômetros.

- Parametrização proposta pela FAO

Em 1990, a FAO reuniu um grupo de 14 especialistas em evapotranspiração para rever seu *Irrigation and Drainage Paper 24* preparado por (DOORENBOS & PRUITT, 1997). Dessa reunião saiu a resolução de adotar o

Método de Penman – Monteith como o mais adequado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária, por evitar o uso de K_c na conversão de E_{To} em E_{Tc} (SMITH, 1991). Essa resolução foi baseada nos resultados de Allen *et al.* (1989) e necessita de algumas parametrizações que serão descritas a seguir. Essa parametrização foi proposta como representativa de uma “cultura hipotética”. Portanto, trata-se de uma estimativa de E_{To} (mm d-1).

Na escala diária, (ALLEN *et al.*, 1989) sugerem que r_c seja calculada pela equação:

$$r_c = \frac{RI}{0,5IAF}$$

(20)

em que RI é a média diária da resistência estomática de uma folha (s m-1), e IAF é o índice de área foliar da cultura na época da estimativa. Para grama e alfafa RI foi admitido como igual a 100 s m-1. Para gramado com altura (hc) entre 0,10 e 0,15 m assumiu-se que

$$IAF = 24 hc,$$

(21)

enquanto que para alfafa e outras culturas com $0,10 \text{ m} < hc < 0,50 \text{ m}$

$$IAF = 5,5 + 1,5 \ln(hc)$$

(22)

Estimando E_{To} , padrão grama, nas escalas decadiária e mensal para três localidades do Estado de São Paulo (Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba), com a parametrização aqui descrita, (PERES, 1994)

encontrou que r_c variável em função de Rn (eq. 1) realmente deu melhores resultados que r_c dependente apenas do IAF (eq. 20).

Portanto, na escala diária (ET_o , mm d-1), a equação se define como:

$$ET_o = \left(\frac{s}{s + \gamma^*} \right) \left(\frac{Rn - G}{\lambda} \right) + \frac{86400 \rho c_p \frac{\Delta e}{r_a}}{\lambda (s + \gamma^*)}$$

(23)

em que $\gamma^* = \gamma (r_c / r_a)$. Substituindo-se, na equação acima, os valores das constantes resultam na equação apresentada por (SMITH, 1991), ou seja,

$$ET_o = \frac{s}{s + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)(T + 275)} U_2 (e_a - e_d)$$

(24)

- Tabela para determinação de ETo

Para calcular **ETo** para a cultura da soja em Paragominas-PA, em um determinado dia, necessita-se da seguinte tabela com as condições meteorológicas:

Tabela 1- Parâmetros de determinação da Evapotranspiração

VARIÁVEL	9h	15h	21h	Tmáx	Tmín	Média	Total
Term. Seco (°C)	X	X	X	X	X	X	---
Term. Molhado (°C)	X	X	X	---	---	X	---
Vento a 10m	X	X	X	---	---	X	---
Umidade Rel. (%)	X	X	X	---	---	X	---
Pressão atm (kPa)	X	X	X	---	---	X	---
Chuva (mm)	---	---	---	---	---	---	X
Insolação (h)	---	---	---	---	---	---	X

Na solução desse exemplo será apresentada a metodologia recomendada pelo FAO para estimativa do saldo de radiação e do déficit de saturação médio diário, quando tais variáveis não são medidas diretamente. Cada passo é identificado por um item numerado. Se o saldo de radiação for medido, então os passos 6 a 9 são desnecessários. O mesmo acontece com G. Se a velocidade do vento for medida a 2,0m o sub-passo 4.1 também não é necessário.

1 – Calor latente de evaporação (λ)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3})T$$

(25)

Observação: Como λ é uma função muito fraca da temperatura, esta etapa é desnecessária e $\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ é suficiente para as condições normais de temperatura e pressão.

2 – Declividade da Curva de Pressão de vapor (s)

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

(26)

- Pressão de vapor de saturação (e_s)

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

(27)

3 – Coeficiente Psicrométrico (γ)

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda}$$

(28)

4 – Constante Psicrométrica modificada (γ^*)

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33 * U_2)$$

(29)

- Velocidade do vento a 2m (U_2) – (redução da velocidade obtida a 10m para o nível de 2m)

Obs: Considere $Z_o = 0,11476m$ e $d = 0,08m$

$$U_2 = U_1 \frac{\ln\left(\frac{Z_2 - d}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z - d}{Z_0}\right)}$$

(30)

Portanto,

$$\gamma^* = 6,21 \cdot 10^{-2} (1 + 0,33 * 1,42)$$

(31)

5 – Pressão Parcial de Vapor (Medições psicrométricas)

$$e_a = e_{a(T_u)} - \gamma_{asp} (T_s - T_u) P$$

(32)

- Temperatura do bulbo molhado (T_u)

$$T_u = \frac{T_{u9} + T_{u15} + 2.T_{u21}}{4}$$

(33)

- Temperatura do bulbo seco (T_s)

$$T = \frac{T_{9+} + T_{\max} + T_{\min} + 2.T_{21}}{5}$$

(34)

- Pressão de vapor de saturação à temperatura do bulbo molhado [$e_a(T_u)$]

$$e_{a(Tu)} = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27Tu}{Tu + 237,3}\right)$$

$$e_d = e_{a(Tu)} - 0,0622(Ts - Tu)$$

(35 e 36)

6 – Radiação no Topo da Atmosfera (R_a)

$$R_a = 37,586d_r (\omega_s \text{sen} \varphi \text{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \text{sen} \omega_s)$$

(37)

- Declinação solar (δ)

$$\delta = 0,4093 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,405\right)$$

(38)

em que J é dia juliano, isto é janeiro 1 = 1; Janeiro 31 = 31; Fevereiro 1 = 32; etc.

No exemplo, Julho 7 = 188.

– Ângulo horário do pôr do Sol (ω_s)

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$

(39)

– Distância relativa Terra-Sol (d_r)

$$d_r = 1 + 0,33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$$

$$R_a = 37,586 * d_r (1,412 \text{sen}(-0,3622) \text{sen} 0,395 + \cos(-0,3622) \cos 0,395 \text{sen} 1,4120)$$

(40 e 41)

7 – Saldo de Radiação de Ondas Curtas (R_{ns})

$$R_{ns} = (1 - r) R_s \quad r = 0,23 \quad (\text{cultura} \quad \text{hipotética})$$

(42)

- Horas de brilho solar (R_s)

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a$$

$$R_{ns} = (1 - 0,23) * R_s$$

(43 e 44)

8 – Saldo de Radiação de Ondas Longas (R_b)

$$R_b = -\left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) \left(0,34 - 0,14\sqrt{e_d}\right) \sigma (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) \frac{1}{2}$$

(45)

$\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ K}^{-4}$ (constante de Stefan – Boltzmann)

- Temperatura máxima diária (T_{kx})

$$T_{kx} = T_{\max} + 273$$

(46)

- Temperatura mínima diária (T_{kn})

$$T_{kn} = T_{\min} + 273$$

(47)

9 – Saldo de Radiação (R_n)

$$R_n = R_{ns} + R_b$$

(48)

10 – Fluxo de calor no solo (G)

Para o balanço diário, G foi considerado igual a zero. $G = 0$. Se a temperatura média dos 3 dias anteriores (T_{-3d}) for disponível, então é possível calcular G através das relações empíricas.

$$G = 0,38(T_d - T_{-3d}) \quad \text{na} \quad \text{escala} \quad \text{diária}$$

(49)

$$G = 0,07(T_m - T_{-3m}) \quad \text{na} \quad \text{escala} \quad \text{mensal}$$

(50)

11 – Estimativa de ETo

Inserindo-se os valores encontrados acima na equação (24) resultará em

$$ETo = \frac{s}{s + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)} \frac{900}{(T + 275)} U_2 (e_a - e_d)$$

(51)

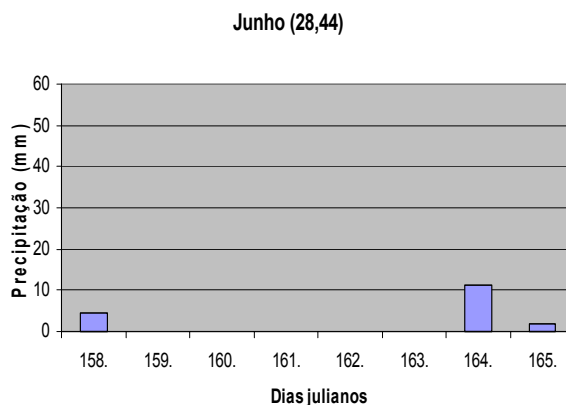
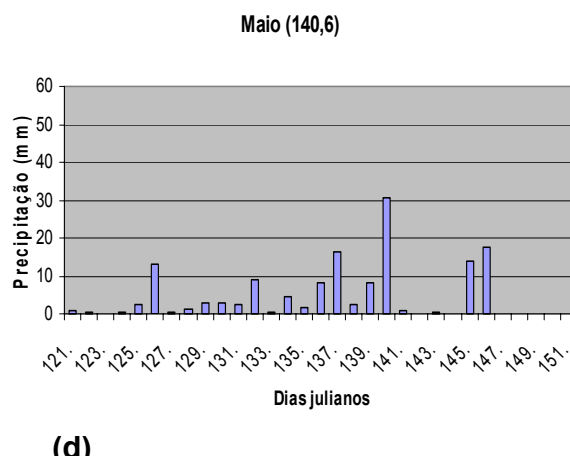
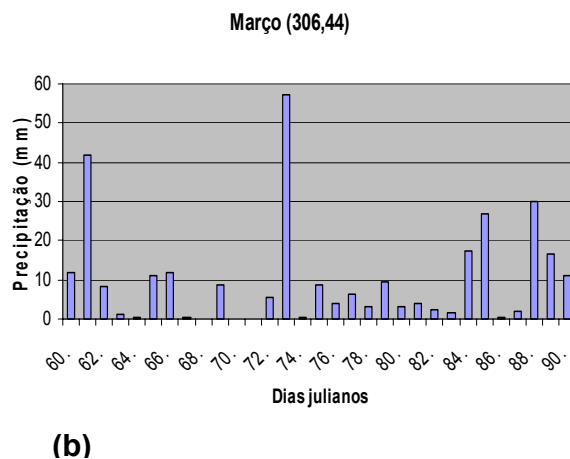
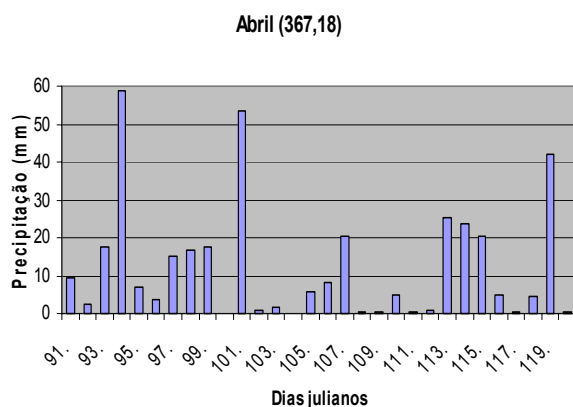
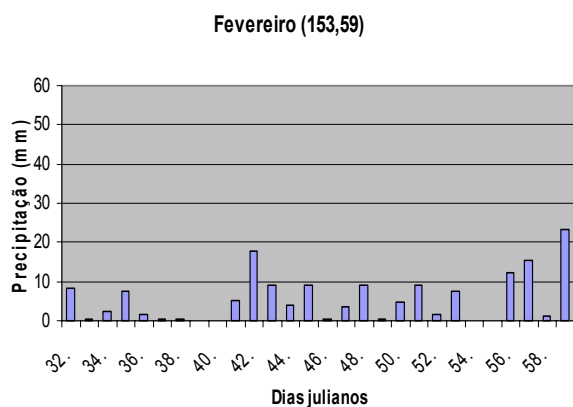
Portanto esta é a equação que será usada para determinar a evapotranspiração pelo Método PENMAN-MONTEITH modificada pela FAO.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Precipitação Mensal

O regime de precipitação em Paragominas possui épocas distintas considerado período chuvoso (dezembro a maio) e período seco (junho a novembro).

Analisando a Figura 13 podemos observar que o mês de Março e Abril foram os meses que mais houve precipitação (306,44 e 367,18 mm) respectivamente, sendo que os demais meses choveram, entretanto com menor intensidade. O mês de junho houve pouca precipitação (28,44 mm), fato que se deve a falta de dados.



5.1.1 Precipitação no decorrer do desenvolvimento do plantio

De acordo com os dados coletados no período de fevereiro a junho de 2006, verificou-se que os dias julianos 84, 98 e 126 foram os dias de maior precipitação e os dias 70 e 154 e 161 não houve chuva (Figura 13). Porém, conjugando-se com a análise da Figura 14, observa-se que não houve restrições de água no solo, fato este que proporcionou o plantio e o cultivo sem necessidade de irrigação.

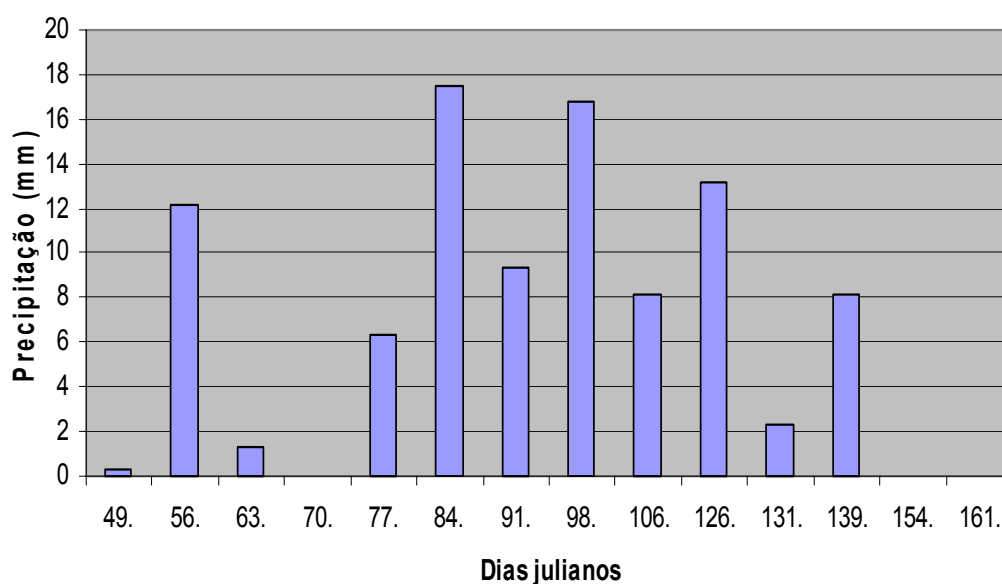


Figura 14 - Valores de precipitação em dias julianos coletados em Paragominas durante o período de fevereiro a junho de 2006.

5.2 Umidade específica

Como era de se esperar a umidade específica do ar apresentou picos nos meses mais chuvosos e menores valores quando houve redução de precipitação. No período chuvoso a quantidade de umidade presente no ar foi muito próxima dos valores determinados o ápice do crescimento (Figura 14 e 15).

Analisando a Figura 15, de acordo com o desenvolvimento do plantio observamos que a umidade específica máxima do ar se manteve elevada acima de 21,0 g/Kg, isto está relacionado tanto com os transportes de vapor d'água da soja para o ar, quanto ao efeito advectivo de umidade pela circulação local. O importante é que a alta disponibilidade de vapor d'água no ar está relacionada com a produtividade e eficiência hídrica da cultura (DOORENBOS & PRUIT, 1997).

À medida que, o plantio atinge o ápice do desenvolvimento a umidade média e mínima do ar decrescem, em torno de $q_{med} = 15,5 \text{ g/Kg} - 11,3 \text{ g/Kg}$ e $q_{min} = 16,42 \text{ g/Kg} - 6,02 \text{ g/Kg}$, respectivamente. No dia 98 há uma queda na umidade específica do ar, isso pode ser consequência do baixo vapor d'água por massa de ar úmido existente na atmosfera devido a pouca chuva. Posteriormente esta umidade específica do ar aumenta e se mantém estável até o final do plantio (Figura 15).

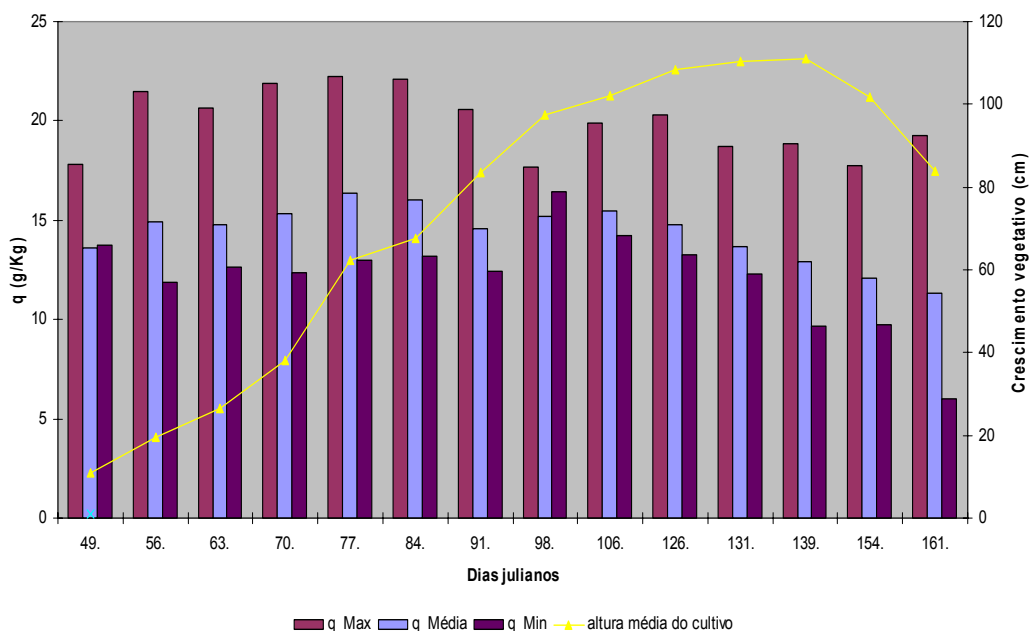


Figura 15 - Umidade específica do ar máxima, média e mínima (2m) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.3 Temperatura do ar no decorrer do desenvolvimento do plantio

A jornada da temperatura do ar durante o ciclo vegetativo da soja é apresentada na Figura 16. A temperatura do ar máxima se manteve entre 23,5 °C e 32,5 °C acompanhando o desenvolvimento da cultura. Conforme a cultura foi crescendo a temperatura do ar coincidiu com os dias julianos 56 e 84 onde houve maior precipitação (Figura 14) permanecendo elevada no final do desenvolvimento do cultivo.

Em experimentos realizados em ambiente controlado, em câmaras de crescimento, (BROWN, 1960) constatou ser 10,0 °C a temperatura inicial para o crescimento da soja, ou o chamado zero vital, que a temperatura ótima estaria entre 25,0 °C a 30,0 °C, e que acima de 31,0 °C o crescimento declinava. Para (ASCALE, 1969) o crescimento vegetativo da soja inicia quando a temperatura média do ar supera 15 °C.

Os resultados do trabalho de (NOBRE & ASSAD, 2005) mostram que o mês de novembro é considerado o de menor risco para o plantio das culturas de sequeiro, há uma redução média de 60% na área favorável para cultivo da soja. Mantido o calendário agrícola atual, a região sul do Brasil sofreria o maior impacto, com forte redução de produção. Por outro lado havendo aumento da temperatura, o calendário de plantio nas altas latitudes tenderá a se deslocar, sendo possível o plantio de soja e milho até o final do mês de janeiro com colheita em junho. No caso das regiões com baixas latitudes, haverá redução de área, sem opções de deslocamento de calendário.

O mês de junho, final do desenvolvimento do cultivo (maturação e enchimento dos grãos), a temperatura do ar mínima decresceu (Figura 16), isso pode interferir na colheita, pois de acordo com estudos realizados pela (EMBRAPA, 1999) temperaturas baixas no período de maturação da soja, associada à alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem como ocorrência de retenção foliar. Nota-se que o iminente aumento na densidade foliar da cultura, graças ao crescimento vegetativo, não apresentou, aparentemente,

grande relevância quanto ao transporte de calor sensível entre a soja e o ar, uma vez que houve redução das máximas e mínimas temperaturas.

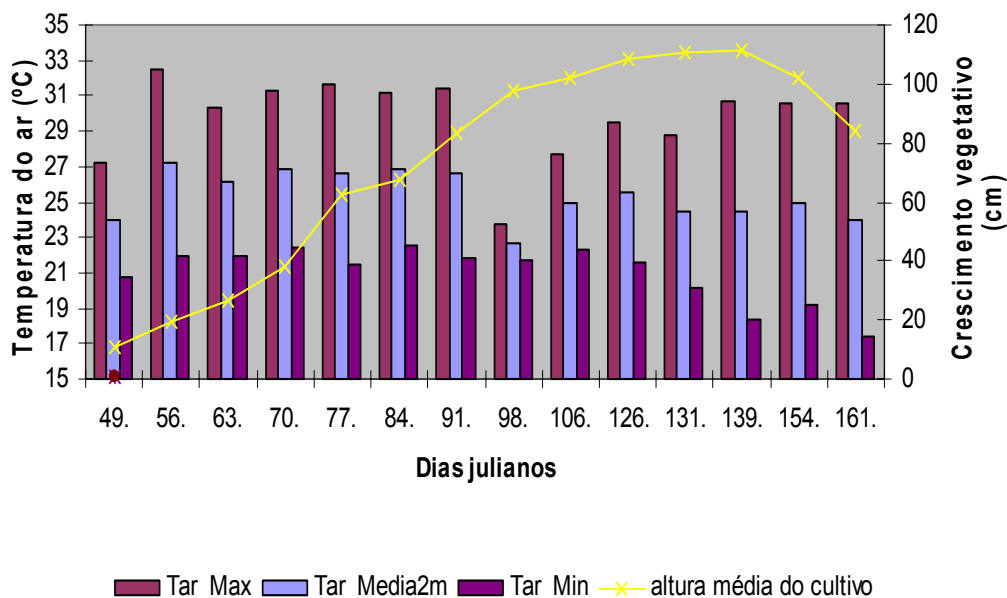


Figura 16 - Temperatura do ar máxima e mínima (2m) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4 Temperatura do solo a 5, 10 e 20 cm

A Figura 17 mostra a temperatura média do solo em três medidas (5, 10 e 20 cm). Observamos que as temperaturas estão entre 25,0 °C a 35,0 °C e a temperatura do solo a 20 cm é mais elevada quando comparamos com a temperatura de 5 e 10 cm, pois a absorção de calor pela superfície é armazenada ao longo das camadas do solo.

Como a interceptação é uma base diária, percebe-se que no balanço diário, há um maior aporte de energia térmica concentrada a 20 cm de profundidade. Essa energia induzida fica na zona das raízes e pode favorecer o crescimento.

Os valores de temperatura do solo são consideravelmente elevados, com amplitude térmica de até 7,0 °C entre 20 e 5 cm. Nota-se uma gradual redução das temperaturas com o crescimento da cultura o que provocado pelo sombreamento.

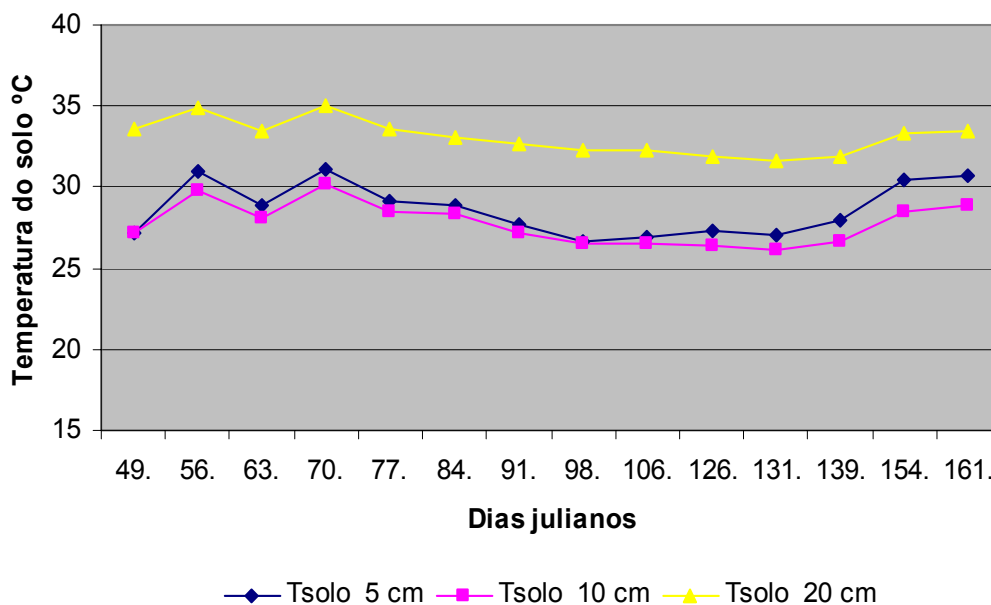


Figura 17 – Perfil horizontal da temperatura do solo a 5, 10 e 20 cm em uma cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.1 Temperatura do solo a 5 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio

A temperatura do solo mínima a 5 cm de profundidade, no decorrer do período da coleta se manteve estável e a máxima temperatura do solo conforme o plantio foi se desenvolvendo foi crescente e, à medida que o plantio se desenvolve expressivamente podemos observar que nos dias 98, 106, 126 e 131 a temperatura do solo se manteve estável, aumentando para o final do cultivo quando se inicia a colheita (Figura 18).

De acordo com a literatura a profundidade da semente interfere na produção dos grãos. A Figura 18 mostra que quando os sensores se encontram há uma profundidade de 5 cm a máxima temperatura do solo se encontra aproximadamente entre 28,0 °C e 35,0 °C e quanto menor for esta profundidade, as sementes tem a oportunidade de emergirem por haver pouca competição por luz, ocasionando assim o desenvolvimento da cultura.

Como a temperatura do solo ideal para emergência da semente de soja está entre 20,0 °C e 30,0 °C, na Figura 18 é possível observar que por volta de

25,0 °C, a temperatura do solo é a ideal, pois há o crescimento exponencial da cultura.

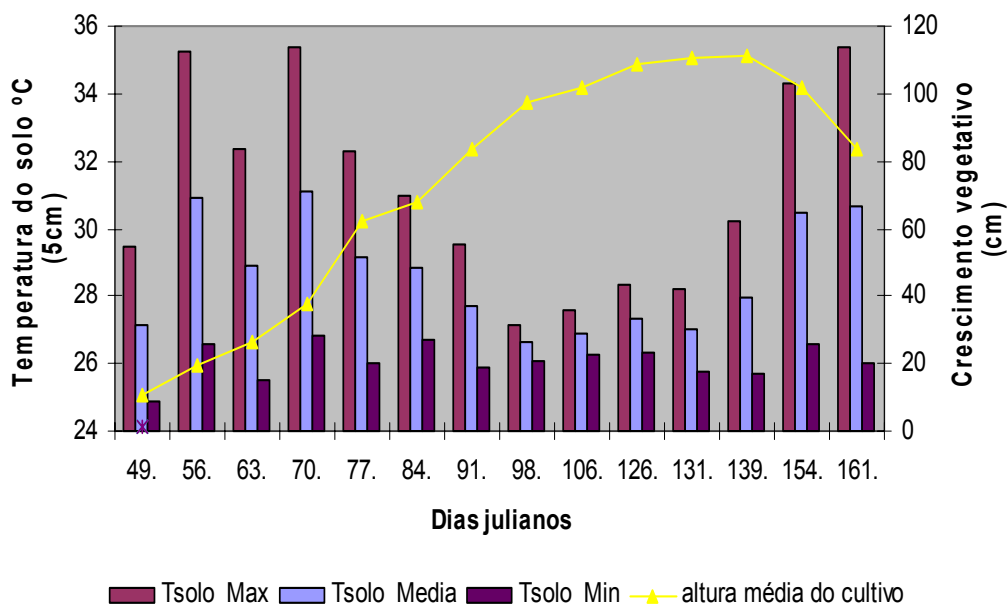


Figura 18 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (5,0 cm) x desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.2 Temperatura do solo a 10 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio

A Figura 19 mostra a variação da temperatura do solo coletada a 10 cm de profundidade. Observamos que, para o desenvolvimento do plantio, houve uma maior necessidade de energia para a eclosão das sementes, pois nos quatro primeiros dias a temperatura do solo é maior, decrescendo quando o plantio já se encontra mais desenvolvido.

Em profundidades de 10 cm, provavelmente, há necessidade de maior consumo de reservas pela plântula para romper a camada de solo na germinação que segundo (COSTA *et al.*, 1973) ocasiona redução do estande (redução de 18% em relação às profundidades de 3 a 6cm), diminui a competição por luz, ocasionando menor crescimento vertical das plantas, como observado por (COSTA *et al.*, 1973) *apud* SANTOS *et al.*, 2007).

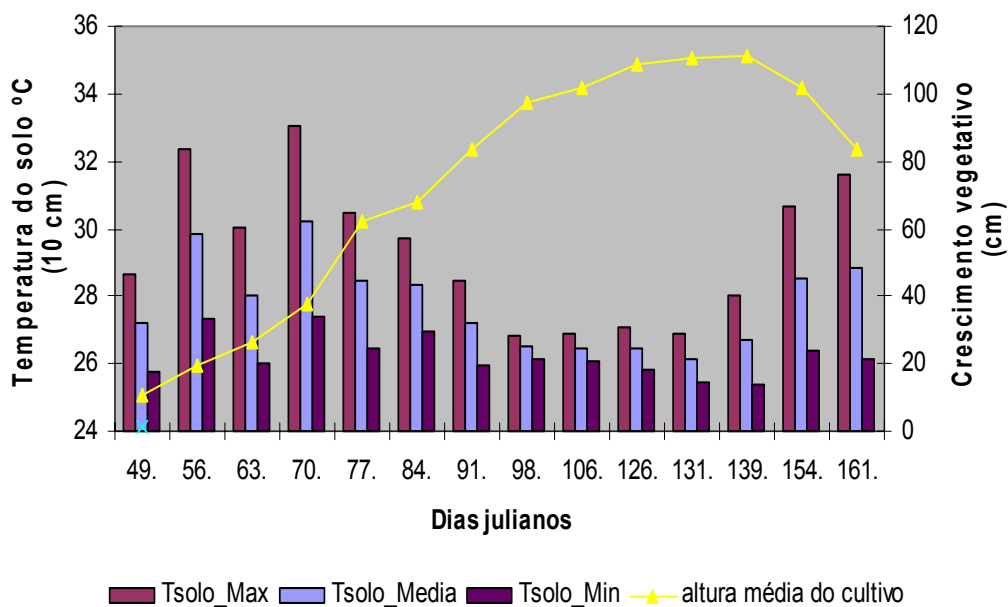


Figura 19 - Temperatura do solo máxima e mínima (10 cm) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.3 Temperatura do solo a 20 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio

Conforme a temperatura do solo vai atingindo certa profundidade, quando as sementes se encontram a uma profundidade de aproximadamente 20 cm, as sementes necessitam muito mais de energia para emergirem e conforme se desenvolvem a temperatura do solo diminui fato que está relacionado ao aumento da densidade foliar, que impede a incidência direta da radiação solar (Figura 20).

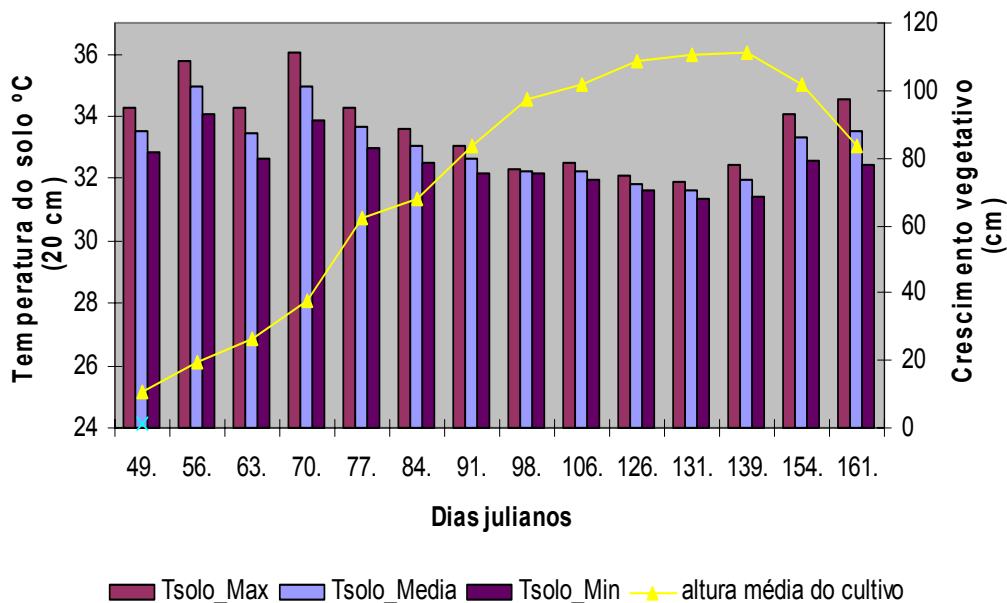


Figura 20 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (20 cm) X Desenvolvimento da cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.4 Temperatura do solo a 5 cm de acordo com profundidade do plantio

A temperatura do solo máxima foi de 35 °C e a mínima foi em torno de 26 °C. Podemos observar na figura 16 que no início do plantio as raízes se desenvolveram no decorrer dos dias julianos de 49 a 91 em temperaturas acima de 30 °C e assim que as raízes se tornavam mais profundas, observamos que a temperatura diminuiu (139), aumentando no final do cultivo quando novas plantas começam a surgir (Figura 21).

De acordo com o trabalho de (GASPARIM, 2005), a Organização Mundial de Meteorologia – (OMM, 1956) informa que as profundidades padrões para se medir a temperatura do solo são de 10 cm, 20 cm, 50 cm até 100 cm, pois abaixo dessas medidas tornam-se imprecisas como aquelas acima da superfície, devido às variações serem rápidas não contrabalançam a grande capacidade de retenção de calor do solo, sendo o tempo de variação da temperatura em função da variação da radiação solar, aproximadamente de 1 hora. Por este motivo, para a

agricultura é suficiente coletar temperaturas máximas e mínimas diárias, especialmente a grandes profundidades.

Os resultados de (GASPARIM, 2005) mostram que em solo com cobertura a partir das 8 horas, a temperatura do solo começa a aumentar, chegando ao seu máximo por volta das 16 horas. A temperatura máxima registrada não ultrapassa 36°C e a mínima fica em torno de 23°C. A temperatura média na profundidade de 5 cm foi de 26°C, o que confirma nossos resultados obtidos.

De acordo com (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1993), a amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, no mesmo instante em que ocorre um retardamento no período de ocorrência das máximas e mínimas, em função da magnitude e da lentidão do fluxo de calor no seu interior.

A variação na amplitude térmica observada nas áreas sob cultivo de milho foi bem menor que nas áreas sob soja, principalmente a 5 cm de profundidade, isto pode ser explicado pela morfologia da planta de milho e do espaçamento utilizado (90 cm) no plantio da cultura, pois a distribuição da cultura de soja na área foi menor com 45 cm de espaçamento e esta possui uma copa que proporciona uma maior proteção ao solo contra a evaporação. Com isso nas áreas sob milho há maior incidência dos raios solares promovendo maiores valores de temperatura no solo e assim uma maior amplitude térmica (TORRES, 2006).

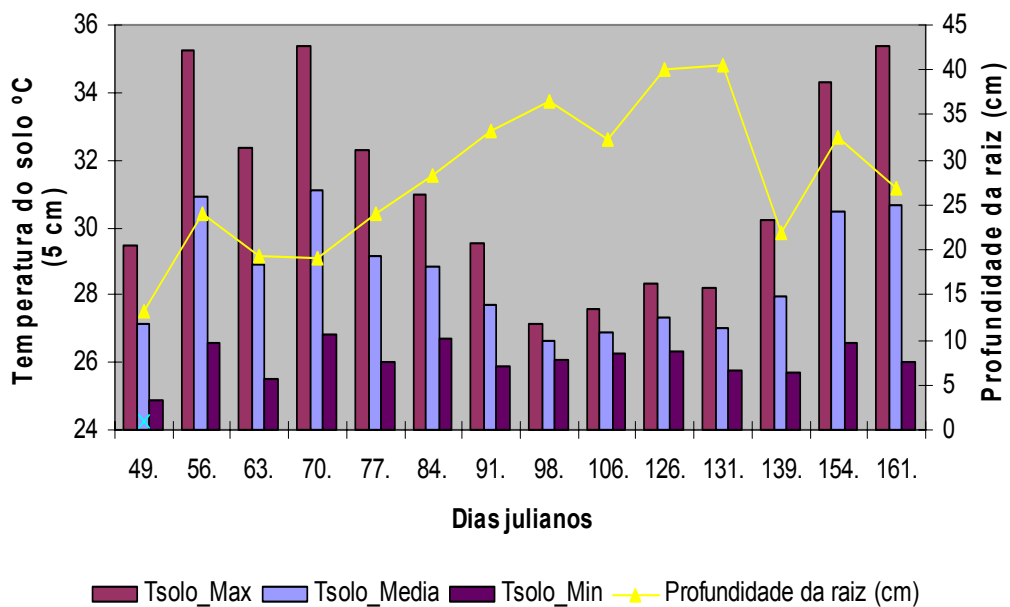


Figura 21 - Temperatura do solo máxima, média e mínima (5 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.5 Temperatura do solo a 10 cm de acordo com profundidade do plantio

Na figura 22 a temperatura máxima do solo foi de 33,5 °C e a mínima de 25 °C. Conforme a profundidade aumenta de 5 cm para 10 cm notamos que a temperatura diminui e aumenta entre os dias julianos 91 a 139 a amplitude que ao compararmos com a Figura 14, que corresponde a precipitação, são os dias em que há pouca incidência de chuva.

(GASPARIM, 2005) mostra em seus resultados que na profundidade de 10 cm, o solo começa a aquecer com aproximadamente 1 hora de defasagem em relação às profundidades de 2 e 5 cm. É a partir das 9 horas que as geotemperaturas começam a subir, atingindo a temperatura máxima em torno das 17 horas. As condições de cobertura do solo proporcionam pouca variação da temperatura no decorrer do dia, evidenciando que, a essa profundidade, a quantidade de cobertura no solo começa a perder a representatividade na geotemperatura. A temperatura média na profundidade de 10 cm foi 25,9°C.

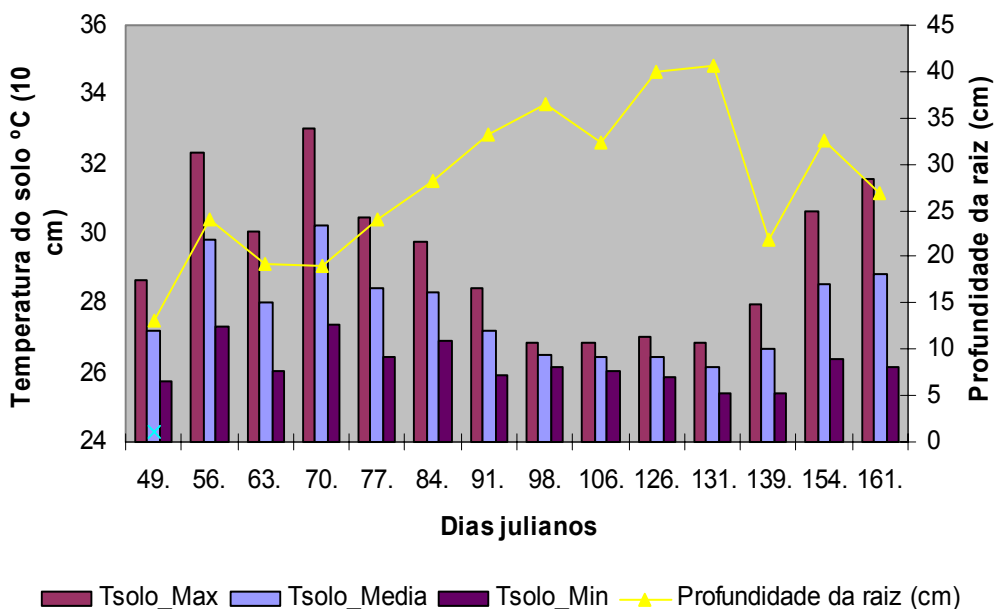


Figura 22 - Temperatura do solo máxima e mínima (10 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.4.6 Temperatura do solo a 20 cm de acordo com profundidade do plantio

A temperatura máxima do solo foi em torno de 36,1 °C e a temperatura mínima do solo foi de 31,3 °C (Figura 23). As raízes em 20 cm de profundidade absorvem menos calor devido os vários extratos do solo.

A partir de 20 cm de profundidade, as amplitudes de temperatura entre as condições de cobertura apresentam pequena variação. Para solos com cobertura praticamente não existe variação da temperatura do solo e a temperatura média foi de 25,8°C. Pode-se definir a profundidade de 20 cm como a profundidade de transição entre as grandes e as pequenas variações da temperatura do solo (GASPARIM, 2005).

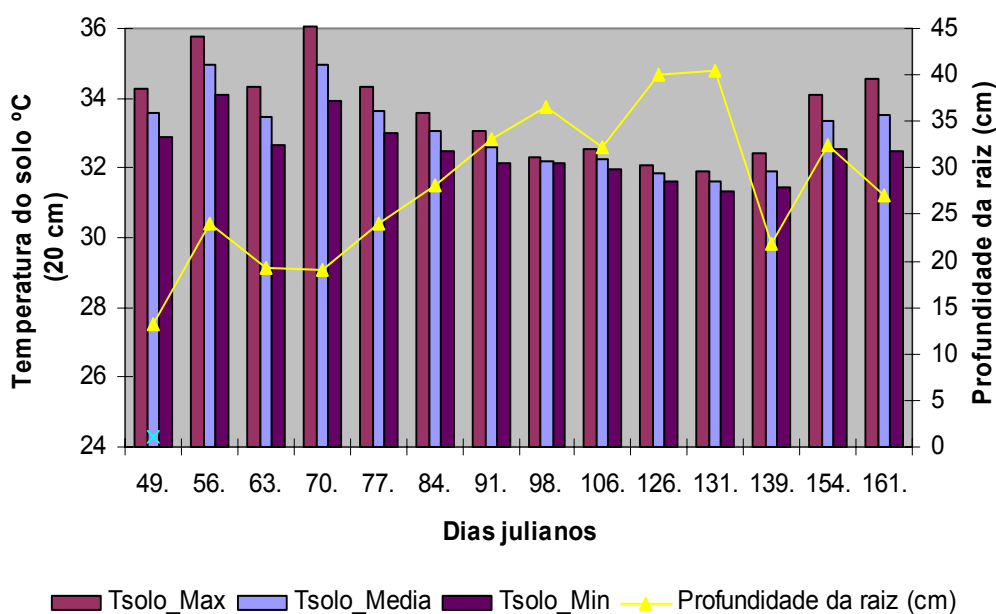


Figura 23- Temperatura do solo máxima e mínima (20 cm) X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.5 Velocidade máxima do vento no decorrer do desenvolvimento do plantio

Conforme a cultura de soja vai se desenvolvendo a velocidade do vento vai diminuindo, pois ao longo do período podemos observar que, no início do

plântio a velocidade do vento estava por volta dos 3 m/s decrescendo, e no final do cultivo encontrava-se 2,5 m/s. No período de floração a velocidade se manteve estável o que contribui para a dispersão de pólen e sementes (Figura 24).

O efeito do atrito parece bem definido nesta Figura 24, pois a área representativa do plântio de soja apresenta grande bordadura, o que sugere que no início do plântio o campo estava abaixo, com o terreno sendo preparado e favorecendo o fluxo laminar do ar. Com o crescimento da soja, que atingiu $\approx 1,10$ m, o turbinamento no transporte de ar devido ao atrito já reduziu o vento, embora este esteja sendo medido a 4 metros de altura.

Pode-se dizer que o vento diário foi constante e em média regular.

De acordo com (PEZZOPANE *et al.*, 2003), a velocidade do vento no sistema de cultivo a pleno sol e consorciado, revelam que o sistema consorciado proporcionou reduções na velocidade do vento em valores que variaram de 60 a 99%. Um dos maiores benefícios do uso de consorciação ou arborização em culturas está relacionado com a redução da ocorrência de ventos, que causam danos físicos às folhas e promovem redução de crescimento das plantas.

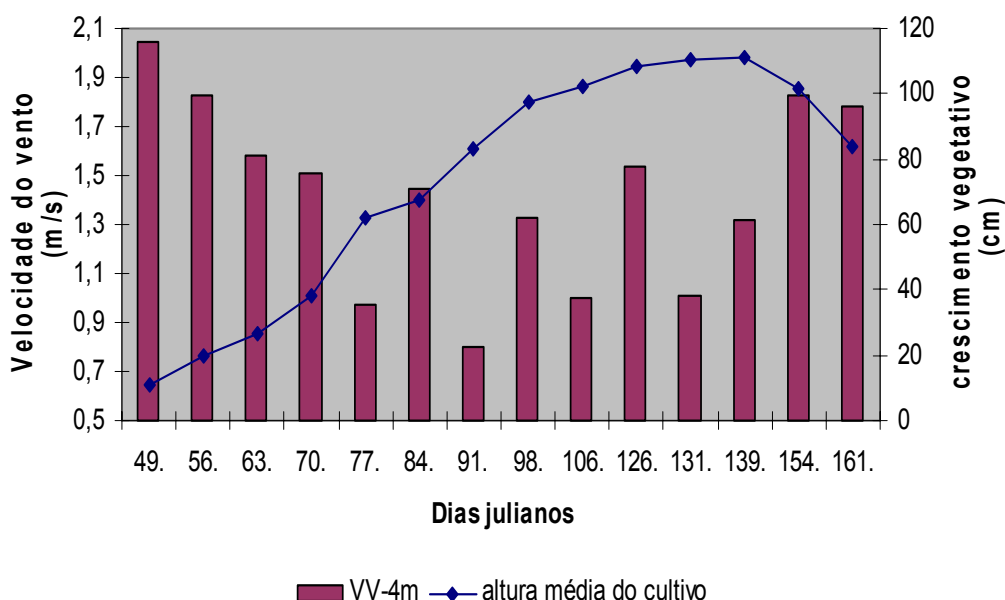


Figura 24 - Velocidade máxima do vento X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.6 Direção do vento no decorrer do desenvolvimento do plantio

Devido o cultivo de soja estar nas proximidades de uma floresta, há certa influência desta sobre as informações de direção do vento no plantio. Observamos que o vento vem de todas as direções, entretanto de acordo com a Figura 25 o vento é predominantemente de nordeste.

Isto mostra que durante o estudo não ficou evidenciado a penetração de sistemas de grande escala, que poderiam interferir nas condições normais de tempo. Este fato está associado às velocidades do vento que não apresentaram picos de anormalidade.

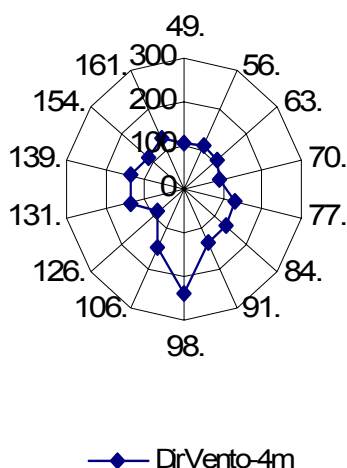


Figura 25 - Direção do vento X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.7 Albedo

Em culturas observamos que quando o solo ainda se encontra completamente nu, o albedo é baixo, pois a radiação que entra no sistema grande parte sai. Quando o plantio começa a se desenvolver o albedo tende a aumentar,

pois a quantidade de radiação solar que chega ao sistema parte é refletida e outra absorvida pelo dossel e pela superfície.

Podemos notar na Figura 26 que no início do desenvolvimento da cultura o albedo está crescente e a partir do dia Juliano 77 o albedo se encontra bastante elevado o que corresponde a outros estudos, diminuindo a partir do dia Juliano 126, pois a tendência é ao longo do desenvolvimento do plantio diminuir gradativamente, devido a queda de folhas e da própria vegetação.

O albedo para este plantio em Paragominas, variou de um máximo matinal de 0,23 a um mínimo de 0,14 ao pôr-do-sol, demonstrando a dependência deste parâmetro em relação ao ângulo de incidência solar (Figura 26).

O valor médio difere um pouco daquele encontrado na literatura (MONTEITH & SZEICZ, 1961), (STANHILL, 1965), (ANDRÉ & VISWANADHAM, 1983), cujo valor fica em torno de 0,24. É possível que o tipo de variedade e das condições climatológicas e geográficas favoreçam um maior aproveitamento da radiação solar, associado a boa disponibilidade hídrica durante o cultivo, ressaltando que não houve necessidade de irrigação.

Para ilustrar, o albedo para alguns tipos de vegetação, segundo (VIANELLO & ALVES, 1991) é 0,24 para feijão, 0,20 para o sorgo e de 0,16 a 0,23 para o milho.

Durante o período de brotamento a superfície úmida absorve com mais eficácia radiação solar à medida que, a cultura está se desenvolvendo até atingir altura máxima. A arquitetura da vegetação e a disposição das folhas proporcionam maior reflexão e seletividade à quantidade de radiação necessária aos processos fisiológicos.

Este fato pode ser atribuído à morfologia das folhas da soja que cobriam boa parte da superfície, devido à mudança de posição das folhas em função da velocidade do vento (Figura 20) e variação do ângulo zenital. Cabe salientar que embora fosse uma área de monocultura, havia uma floresta nas proximidades e como pode ser observado na figura 21 o vento vem de todas as direções de acordo com o que foi encontrado por (DIAS *et al.*, 1998), (GRODZKI *et al.*, 2004). Além disso, (SOARES *et al.*, 2001) afirma que solos claros refletem mais do que

solos escuros, sendo assim, os solos de Paragominas refletem mais por serem solos claros.

Correspondendo também com os trabalhos de (BLAD & BAKER, 1972) que dizem: “o albedo sobre determinada superfície está relacionado com o tipo de cobertura do solo e da sua umidade, a espécie vegetal cultivada, o arranjo foliar, o ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia) e o tipo (direta, difusa e global) e da quantidade de irradiância”.

De acordo com (DIAS *et al.*, 1998), os valores encontrados do albedo em uma cultura de soja, variaram de um máximo matinal de 0,30, passando por um mínimo de 0,22 por volta das 15 horas e aumentando para 0,65 ao pôr do sol. As medidas de albedo foram amplamente discutidas em vários trabalhos recentes no Brasil, como mostram (DIAS *et al.*, 1998), (OKAWA *et al.*, 1998) e (OKAWA *et al.*, 1999), porém em áreas com cultivo de plantas agrícolas ou em áreas cobertas com água, o que diferencia das áreas de floresta *apud* (GRODZKI *et al.*., 2004).

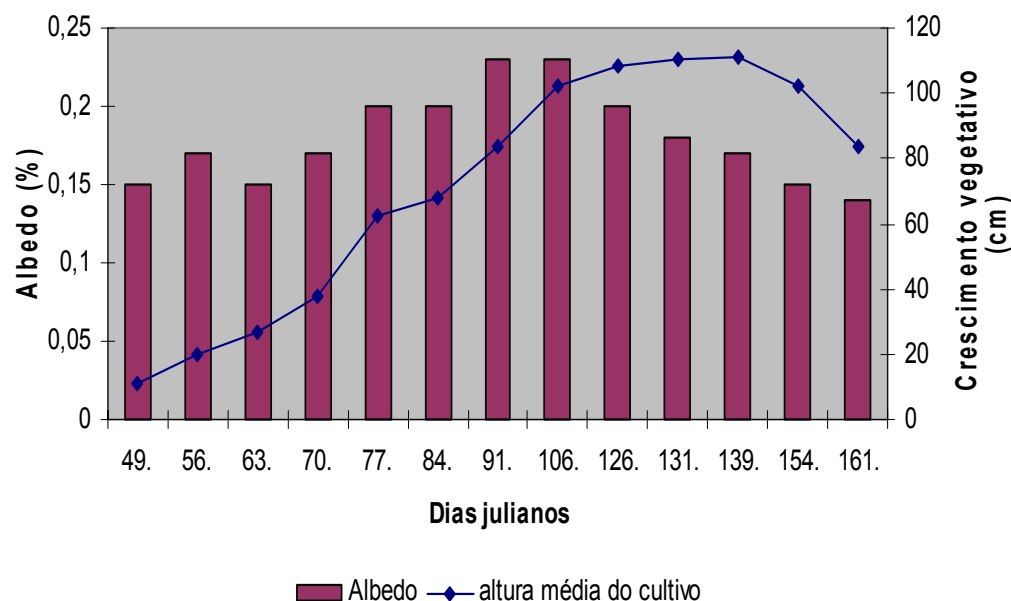


Figura 26 - Albedo X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.8 Umidade média do solo a 10 , 20 e 30 cm

A Figura 27 mostra a umidade média do solo em três medidas (10, 20 e 30 cm), onde observamos que a umidade está entre $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ a $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e a umidade do solo a 10 cm é mais elevada quando comparamos com a umidade do solo nas profundidades de 20 cm e 30 cm, pois a umidade do solo desempenha um papel fundamental nos processos de transferência entre a atmosfera e a superfície. A interação entre estes dois sistemas é realizada trocando umidade, energia interna (calor) e momento. Durante o dia, esta interação atua como fonte de calor e umidade para as camadas de ar próximas à superfície, que posteriormente, através da turbulência, são transportados verticalmente para a camada limite planetários (CLP).

De acordo com (URBEN FILHO & SOUZA, 1993) e (SPERA & FAGANELLO, 2000) *apud* (SANTOS, 2007), dentre os fatores que devem ser considerados na definição adequada da profundidade de semeadura, tendo em vista a garantia de uma boa germinação, destaca-se o tipo e a umidade do solo, onde solos pesados

extremamente argilosos, com excesso ou deficiência de água podem prejudicar a germinação das sementes e emergência das plântulas.

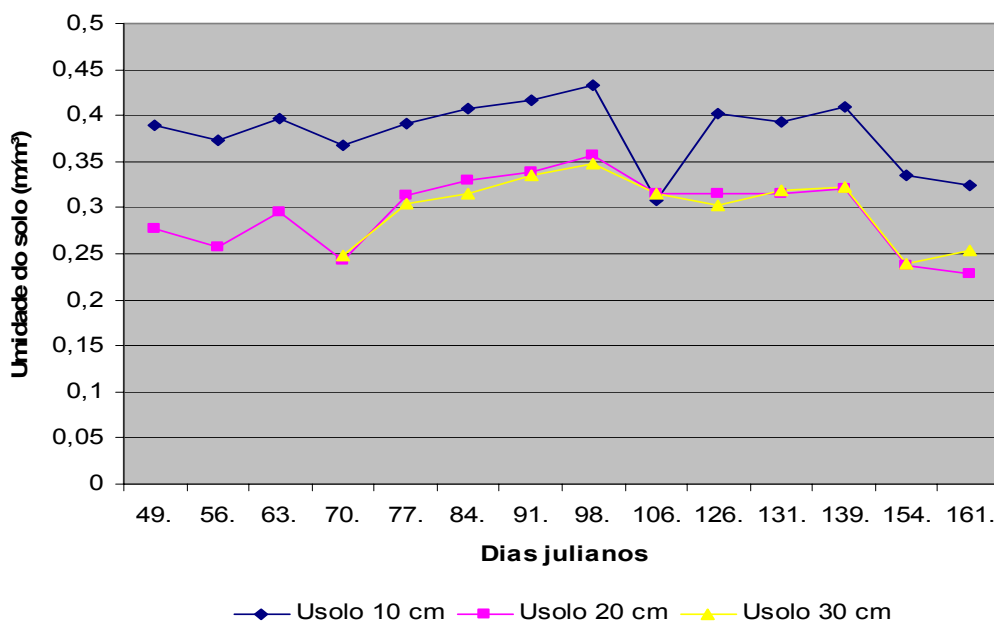


Figura 27 – Perfil horizontal da umidade do solo a 10, 20 e 30 cm em uma cultura de soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.8.1 Umidade do solo a 10 cm de acordo com a profundidade do plantio

A Figura 28 mostra que no início do desenvolvimento da cultura de soja, as raízes se desenvolveram e a umidade do solo a 10 cm foi um fator importante para o mesmo, pois a medida que, as raízes se desenvolviam exigiam mais água do solo e como houve uma diminuição desta umidade, as raízes começaram a “atrofiar” - por serem do tipo pivotantes, ou seja, crescem para baixo, quase não ramificam - por este motivo podemos observar que a partir do dia juliano 106 há uma queda na profundidade da raiz.

A definição da profundidade de semeadura deve considerar as condições de umidade e o tipo de solo, o tamanho e qualidade da semente. A soja deve ser semeada a uma profundidade de 3,0 cm (solos pesados / argilosos) a 5,0 cm (solos leves/arenosos). A umidade do solo tende a aumentar com o aumento da

profundidade de sementeira, porém a profundidade superior a 7,0 cm pode apresentar maior resistência física à emergência das plântulas e assim afetar o estabelecimento e uniformidade da população de plantas ou ainda reduzir a germinação (GRUPO CULTIVAR, 2007).

A data de sementeira de soja influi em muitos aspectos da cultura. Sementeiras no início ou no fim da época recomendada para cada região climática resultam em diferenças de ciclo e de rendimento (GRUPO CULTIVAR, 2007).

A diferença entre o plantio direto e outros sistemas de preparo reside no fato de que a superfície do solo neste sistema é protegida por camada de cobertura morta não revolvida, apresenta estrutura rígida, mais resistente à deformação que a camada superficial em sistema de preparo com revolvimento; além disso, o solo no plantio direto permanece, após uma chuva, com graus mais elevados de umidade por maior período de tempo.

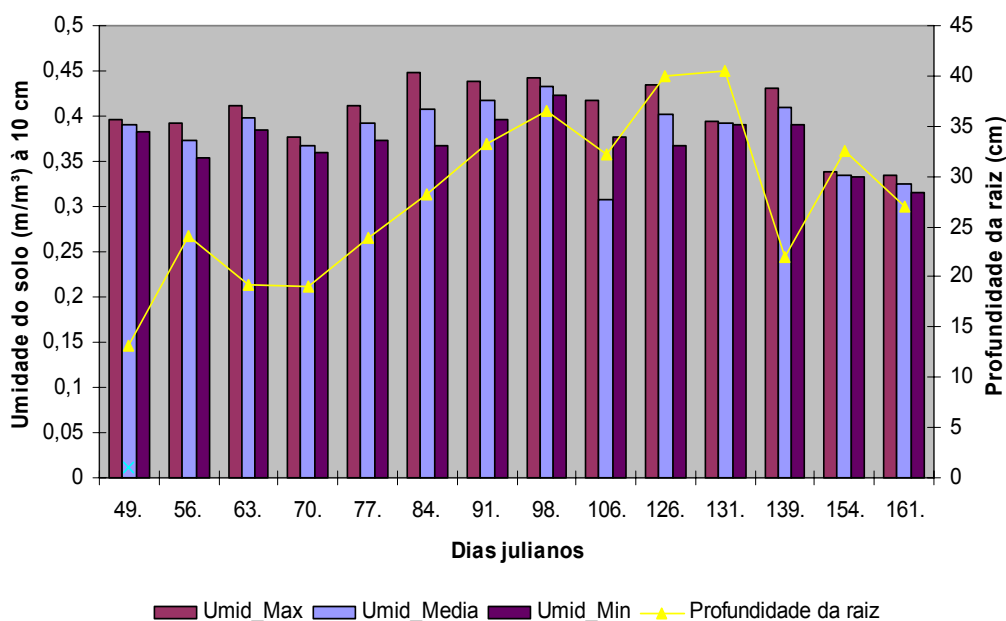


Figura 28 - Umidade do solo máxima, média e mínimo a 10 cm X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.8.2 Umidade do solo a 20 cm de acordo com a profundidade do plantio

A uma profundidade de 20 cm a semente já encontra dificuldades para sua emergência, pois a umidade do solo tende a diminuir, podemos observar nos dias julianos 56 a 70 (Figura 29). À medida que, a raiz se desenvolve há uma diminuição desta umidade do solo, as raízes começaram a “atrofiar” dias antes (dia Juliano 98) quando comparamos com profundidades a 10 cm (Figura 28 e 29).

A semente de soja precisa absorver água equivalente a pelo menos 50% do seu peso seco. Portanto, a soja deve ser semeada em solo úmido. A influência da umidade está relacionada com a profundidade de semeadura. Contudo, geralmente, a umidade do solo pode aumentar o período de emergência das plântulas quando ocorrer veranico (estiagem) após o plantio ou plantio em solo seco. Neste caso além de retardar a germinação, expõe as sementes a pragas e patógenos de solo podendo afetar a sobrevivência das bactérias fixadoras de nitrogênio (*Bradyrhizobium japonicum*) e a própria germinação das sementes.

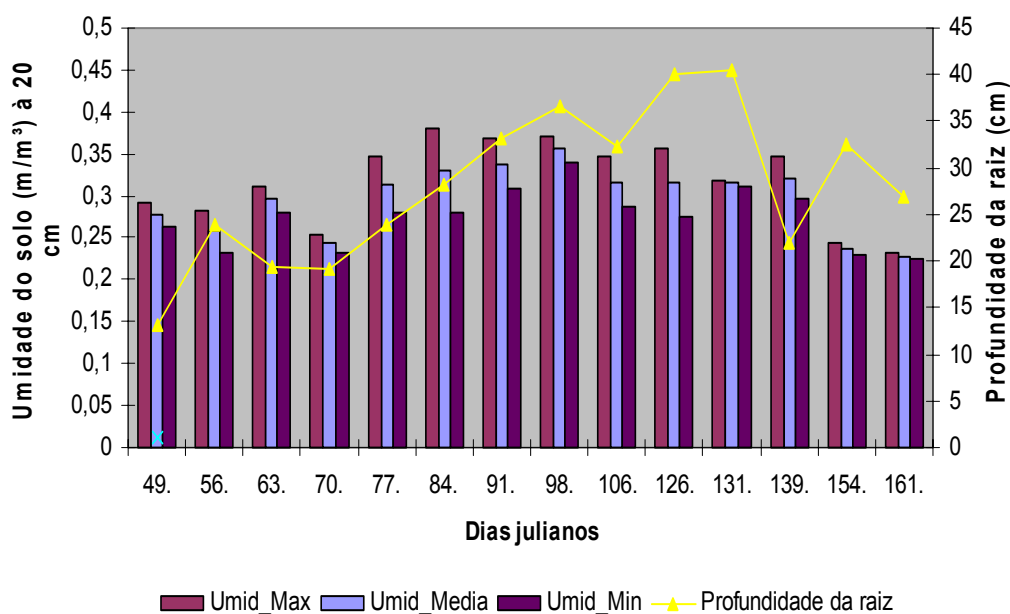


Figura 29 - Umidade do solo máxima, média e mínimo a 20 cm X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.8.3 Umidade do solo a 30 cm de acordo com a profundidade do plantio

A umidade do solo a 30 cm se assemelha muito a umidade do solo a 20 cm, isso pode ser visualizado na Figura 29 e 30.

De acordo com (RIBEIRO JÚNIOR, 1995) *apud* (ZANETTI *et al.*, 2007), citou que os valores para a variável umidade do solo estão relacionados com a profundidade, mas as variabilidades não acompanham esta tendência. (SIDIRAS *et al.*, 1984) *apud* (ZANETTI *et al.*, 2007), observaram umidade volumétrica semelhante entre os preparos de solo na profundidade de 30 cm, com leve acentuação para o plantio convencional, além de uma retenção maior de água, na camada superficial para o plantio direto.

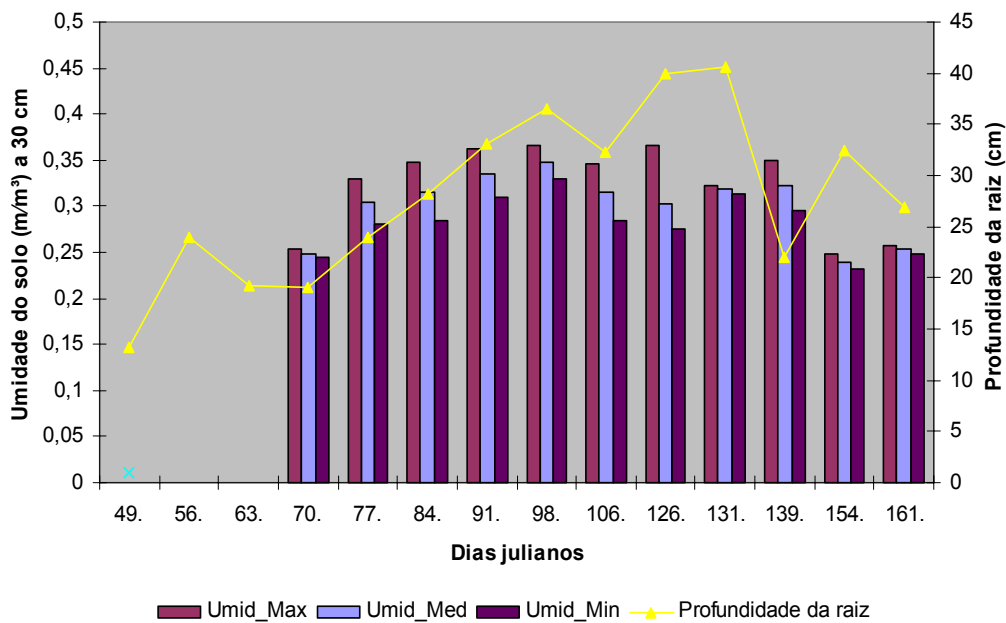


Figura 30 - Umidade do solo máxima, média e mínimo a 30 cm X Profundidade da raiz no período de fevereiro a junho de 2006.

5.9 Fluxo de calor no solo a 10 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio

O fluxo de calor no solo a 10 cm apresentou picos em torno de $-33,24 \text{ W/m}^2$ e $54,13 \text{ W/m}^2$ (7 às 18 h). Os sinais positivos representam transferência de calor da superfície para as camadas mais profundas do solo, enquanto os sinais

negativos significam que o fluxo foi das camadas mais profundas em direção à superfície. Em média, os ganhos de energia térmica para o solo superaram as perdas de energia, exceto no dia 63 ($G=-135 \text{ W/m}^2$), quando as perdas de energia térmica foram das camadas mais profundas até a superfície e desta para o ar imediatamente adjacente à superfície. Neste dia praticamente não choveu e a quantidade de radiação solar disponível foi muito elevada (Figura 31).

Na Figura 31, conforme o plantio de soja cresce, o fluxo de calor no solo tende a diminuir, pois a radiação que chega a superfície com o desenvolvimento do plantio, por volta do dia juliano 106, diminui devido o dossel do cultivo, havendo pouca penetração dessa radiação e com isso o fluxo diminui da superfície para as camadas mais internas.

Segundo os estudos de (FONTANA *et al.*, 1991) *apud* (ZANETTI *et al.*, 2007), ele obteve em cultura de soja 2% e 7% do saldo de radiação utilizado como fluxo de calor no solo, em parcela irrigada e não irrigada respectivamente. Esses mesmos autores encontraram relação inversa entre fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente de evaporação.

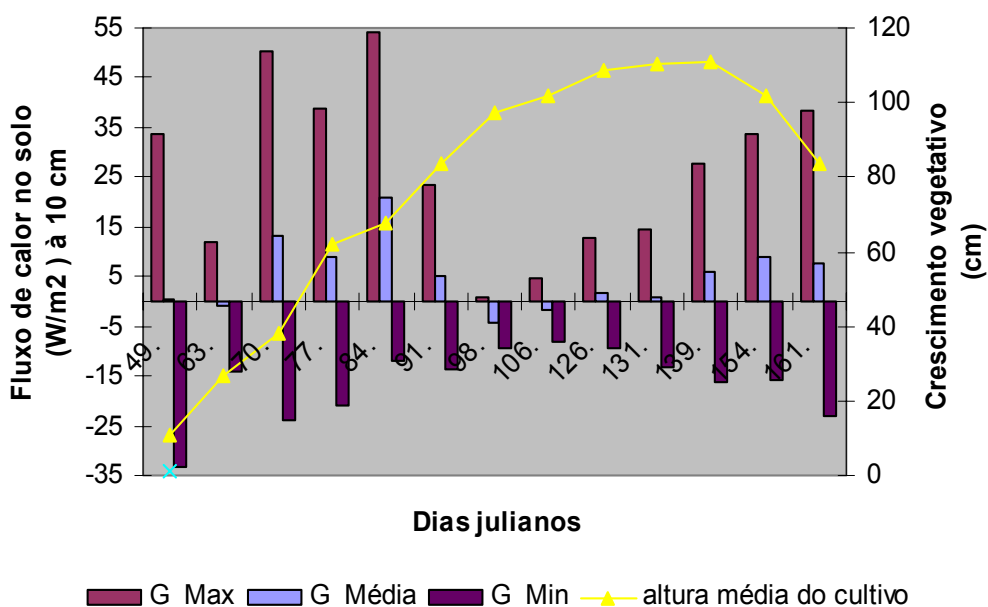


Figura 31- Fluxo de calor no solo máximo, médio e mínimo a 10 cm X Crescimento vegetativo da soja no período de fevereiro a junho de 2006.

5.10 Fluxo de calor no solo a 20 cm no decorrer do desenvolvimento do plantio

O fluxo de calor no solo a 20 cm apresentou picos em torno de -25 W/m^2 e 45 W/m^2 (7 às 18 h) (Figura 32). Observa-se que, conforme o plantio de soja cresce, o fluxo de calor no solo tende a diminuir, obedecendo ao mesmo padrão de variabilidade da profundidade de 10 cm, porém as intensidades dos fluxos são menores. Vale ressaltar que, quando a soja encontra-se próximo ao ápice do crescimento, os ganhos e perdas para o solo são extremamente reduzidos, implicando em melhor aproveitamento da energia solar para os processos fisiológicos. Nota-se que a radiação solar que chega a superfície com o desenvolvimento do plantio por volta do dia juliano 106 diminui, devido ao adensamento do dossel, havendo pouca penetração dessa radiação e com isso o fluxo diminui da superfície para as camadas mais internas (Figura 32).

Ao compararmos este fluxo de calor pelas camadas do solo, podemos observar que o fluxo de calor no solo a 10 cm é superior ao fluxo de calor no solo a 20 cm, ou seja, a profundidade é inversamente proporcional ao fluxo de calor no solo, quanto menor for à profundidade maior será o fluxo de calor no solo (Figura 31 e 32).

De acordo com (CARVALHO *et al.*, 2007), Apresentando um comportamento variável das temperaturas do solo nas 3 camadas ao longo do ano, as camadas mais profundas em Igarapé-Açu foram mais aquecidas em relação à superfície. A temperatura máxima foi de $32,2 \text{ }^\circ\text{C}$ na camada de 20 cm no mês de novembro e a temperatura mínima foi de $26,5 \text{ }^\circ\text{C}$ em 5 cm de profundidade no mês de março. Os desvios-padrão registrados foram de $1,71 \text{ }^\circ\text{C}$ (5 cm), $1,46 \text{ }^\circ\text{C}$ (20 cm) e $1,41 \text{ }^\circ\text{C}$ (50 cm).

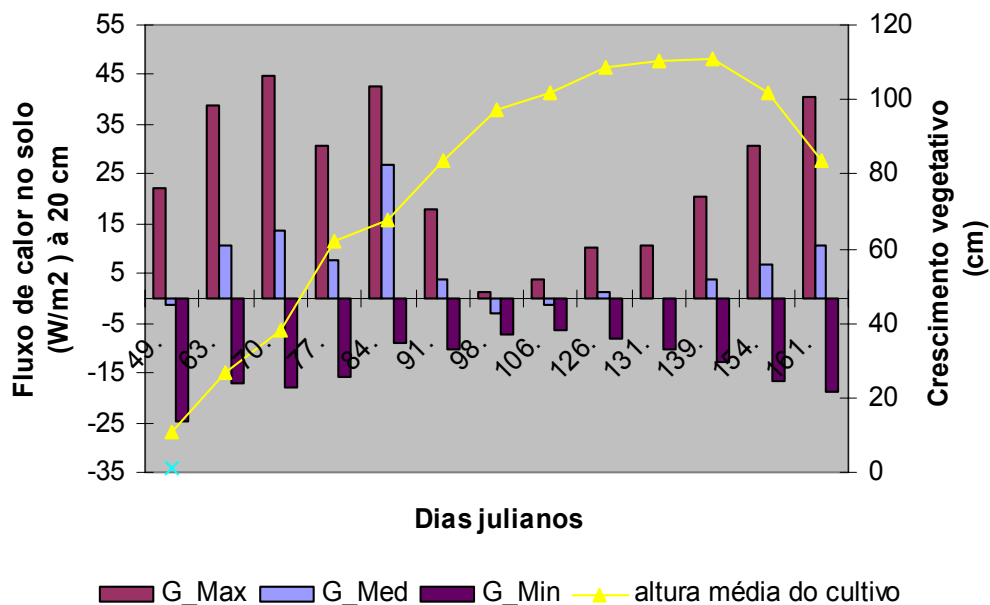


Figura 32 - Fluxo de calor no solo (20 cm) X Crescimento vegetativo no período de fevereiro a junho de 2006.

5.11 Evapotranspiração no decorrer do desenvolvimento do plantio

A Figura 33 apresenta a variação da evapotranspiração com saldo de radiação medido (ETR_{nmedido}) e estimado (ETR_{nestimado}). Nesta análise, a ênfase será dada à evapotranspiração com R_n medido, o que obviamente, reflete as condições reais. Desde o plantio até a colheita, uma cultura vai progressivamente crescendo e ocupando a área disponível, o que consequentemente ocasiona melhor aproveitamento da energia solar.

Na Figura 33 observamos que no início do plantio a evapotranspiração está mais baixa, pois inicialmente o solo se encontra nu e tem efeito apenas a evaporação do solo. Analisando o progresso do desenvolvimento da soja podemos inferir que com o crescimento do plantio há um aumento da evapotranspiração da soja. Apesar das distinções entre as medições e estimativas de R_n para a evapotranspiração, a maior diferença, ETR_{nmedido} – ETR_{nestimado}, ocorreu no dia 49 (18 de fevereiro) com -1,1 mm/dia quando houve superestimativa de R_n e 0,75 mm/dia no dia 126 (05 de maio) quando

houve subestimativa de Rn. No geral, em 35,7% dos dias houve superestimativa de Rn.

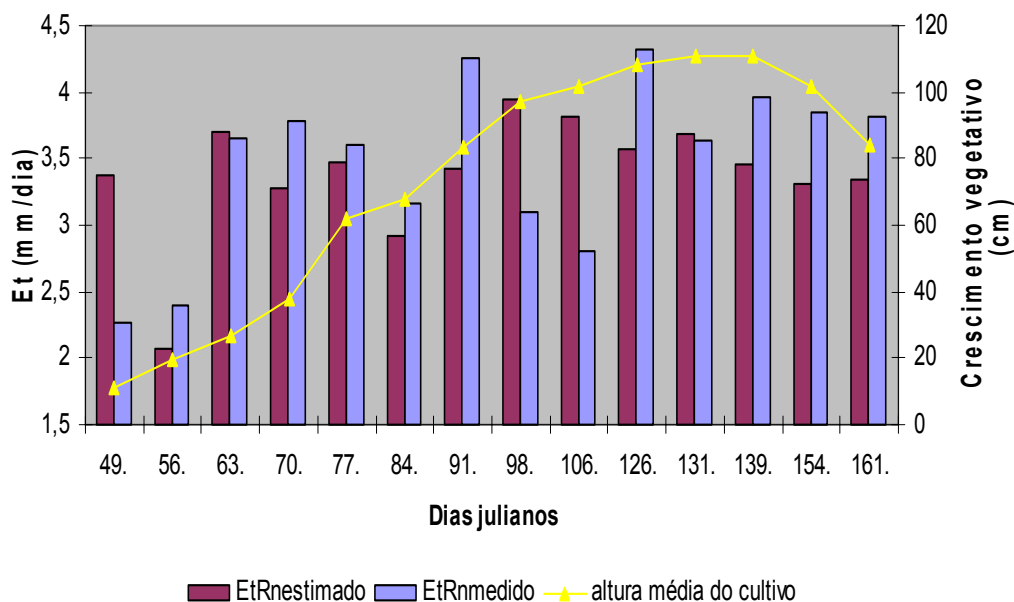


Figura 33- Evapotranspiração medida e estimada X Crescimento vegetativo no período de fevereiro a junho de 2006.

Neste estudo observou-se que a quantidade de energia solar que chega à soja, grande parte fica disponível para a cultura realizar seus processos físicos, fotoquímicos e fisiológicos, pois cerca de 75% da radiação solar incidente, em média ficou disponível para a soja. Obviamente que esta quantidade será disponibilizada em sua maior parte para os processos de transporte de calor sensível (que servirá para aquecer a planta e o ar) e para o processo de evapotranspiração, que dependerá especialmente das condições hídricas do solo. Também se notou que os fluxos negativos de energia não chegaram a atingir $-60,0 \text{ W.m}^{-2}$. Isto significa que os ganhos de energia para a soja são muito maiores que as respectivas perdas, isto significa maior disponibilidade de energia para a evapotranspiração. A arquitetura da vegetação associada às condições hídricas do solo é decisiva para esta condição. O balanço de radiação médio foi 290 W.m^{-2} . Desta forma, do ponto de vista energético, havia boa disponibilidade para a soja, o que favoreceu o seu crescimento. Vale ressaltar que mesmo no período de

brotamento, a quantidade de energia disponível foi alta, o que significa que a característica estrutural e manejo do solo favoreceram a absorção de energia solar pelo meio. (CUNHA & BERGAMASCHI, 1994) encontraram valor médio de R_n para alfafa variando entre 96,1 e 168,2 $W.m^{-2}$.

O balanço de radiação e a evapotranspiração estão diretamente ligados à quantidade de retenção de água no solo e isso influencia no albedo (LEITÃO & OLIVEIRA, 2000). Como em Paragominas os solos são argilosos, são mais suscetíveis à compactação pelo tráfego de máquinas do que os mais arenosos, devido à maior porosidade total e maior capacidade de armazenamento de água nos microporos daqueles (SILVA, 1999). Isso faz com que solo argiloso retenha mais umidade e por um período maior, necessitando maiores cuidados com a umidade do solo nas práticas de preparo do solo e tráfego de máquinas para reduzir os riscos de compactação, quando ocorre à compactação a água quase não é retida no solo, conseqüentemente há um aumento do poder de reflexão da superfície, resultando num albedo maior como o verificado na Figura 33, fato comprovado com a diminuição da radiação líquida (R_n), ou seja, à medida que menos radiação absorvida pela superfície, menos radiação estará disponível ao meio para evapotranspiração. Segundo (HAKANSSON & VOORHEES, 1997), esse estado diferenciado de compactação é o principal fator que limita a adoção do sistema de plantio direto.

Na equação 23, pode-se notar que o termo radiativo representa a maior parcela de contribuição às taxas de evapotranspiração, ou seja, quanto maior a quantidade de energia disponível e não havendo restrições de água no solo, a demanda evaporativa se dará em sua plenitude, ou seja, praticamente na taxa potencial, considerando ainda o efeito aerodinâmico do vento e as características higrométricas entre o solo, a planta e o ar. Juntando-se todos esses fatores, notamos que os valores de evapotranspiração elevados durante o ciclo de crescimento vegetativo, com mínimos de 2,27 e 2,4 mm/dia na época de semeadura (dias 49 e 56) e máximos de 4,25 e 4,32 mm/dia (dias 91 e 126) na fase de ápice do crescimento, praticamente o dobro.

Se considerarmos que a taxa de precipitação foi freqüente, especialmente entre fevereiro e maio, quando não houve necessidade de irrigação, pode-se avaliar que não houve condições de stress hídrico para as plantas. Para comparação, (CUNHA & BERGAMASCHI, 1994) encontraram taxas variando de 2,7 a 5,8 mm/dia de evapotranspiração para a alfafa no Rio Grande do Sul, entre fevereiro e agosto. Para o tomateiro, (LIMA *et al.*, 1994) encontraram variações entre 3,6 e 3,9 mm/dia, em 1991. De acordo com (ANDRÉ & VISWANADHAM, 1986) as estimativas de evapotranspiração para cultura da soja foram na ordem de 3,5 mm/dia.

As características energéticas, higrométricas e aerodinâmicas não se alteraram significativamente durante o ciclo vegetativo, o que fez com que as estimativas de evapotranspiração não sofra grandes variações diárias. O efeito do crescimento da cultura foi embutido na determinação do vento a 2,0 m.

Podemos observar que no dia Juliano 70, 91 e no final do cultivo houve uma maior evapotranspiração, isso pode ter ocorrido no início dia 70 devido a uma maior incidência de raios solares no solo, favorecendo a evapotranspiração e nos demais dias julianos citados acima devido a arquitetura da soja. É interessante notarmos que nos dias julianos 98 e 106 houve uma diminuição da evapotranspiração, pois se compararmos com o período de chuva foram os dias com menor intensidade de chuva, isso pode ter influenciado na umidade do solo e balanço de radiação e assim na evapotranspiração (Figura 33).

Quando analisamos a evapotranspiração estimada notamos que foi inferior a evapotranspiração medida, sendo o pico da evapotranspiração estimada 4,0 mm/dia e a evapotranspiração medida 8,8 mm/dia (Figura 33).

A umidade do solo também é um fator que influencia na evapotranspiração, assim como a radiação solar, pois com a entrada dos raios solares há uma maior refletividade do solo e a morfologia das folhas contribui para a uma elevada ou baixa evapotranspiração.

A evaporação de um solo nu é similar à evaporação de um corpo d'água, se o solo estiver saturado. Caso contrário, o processo é mais complexo, em razão de que água que se evapora em profundidade no solo precisa difundir-se até a

atmosfera. A taxa de evaporação pode ser dividida em dois estágios. Durante o primeiro estágio, a superfície do solo está na, ou próximo, a saturação. A taxa de evaporação é controlada pela entrada de energia calórica e é, aproximadamente, 90% da evaporação máxima possível, dependendo das condições do tempo. A duração do primeiro estágio depende da taxa de evaporação, da profundidade do solo, e das propriedades hidráulicas do solo. De um modo geral, encerra-se de um a três dias em pleno verão.

O segundo estágio inicia-se quando começa a secar a superfície do solo. Neste estágio a evaporação ocorre logo abaixo da superfície. O vapor d'água que se forma no solo alcança a superfície por difusão ou fluxo de massa causado pela flutuação das pressões de ar. A taxa de evaporação neste estágio não é influenciada pelas condições climáticas, mas sim pelas condições do solo tal como a condutividade hidráulica.

A água de uma superfície em contato com a atmosfera evaporar-se-á caso exista uma fonte de energia e uma diferença de concentração de vapor no ar. Essa energia vem, principalmente, da energia solar. A evaporação aumentará a pressão de vapor no espaço inter-celular, resultando num gradiente de pressão de vapor entre a folha e o ar sob a maioria das condições atmosféricas. Este gradiente causará ao vapor difundir-se dos estômatos para a atmosfera. Quanto maior o gradiente de pressão de vapor maior a taxa de difusão e mais rápida será a evaporação (primeira lei de Fick de difusão).

De acordo com (RADIN *et al.*, 2000), a evapotranspiração estimada pelo modelo de PENMAN-MONTEITH modificado apresenta concordância com dados de lisímetro somente quando a cultura está com IAF elevado, ou seja, cobrindo completamente o solo, em praticamente todas as condições meteorológicas. No início do ciclo, quando o IAF é pequeno, a estimativa realizada pelo modelo subestima a evapotranspiração.

5.12 Regressão linear da Evapotranspiração no decorrer do desenvolvimento do plantio

Quando analisamos a regressão linear, em geral a evapotranspiração estimada foi inferior a evapotranspiração medida (Figura 34). Portanto, praticamente não houve correlação entre a ETmedido com ETestimado, com $r^2=0,1243$.

O aumento gradativo da relação $ET_{referência}/ET_{instantânea}$, observada para as culturas de milho (*Zea mays*) cultivar AG 1051 e soja (*Glycine max (L.) Merrill*) cultivar Tracajá, nos dias analisados, está associado ao incremento do crescimento das culturas, de forma que a maior taxa evaporativa ocorreu no dia 244 do ano de 2003, coincidindo com a fase de enchimento dos grãos da soja e com o estágio de embonecamento do milho (FOLHES *et al.*, 2007).

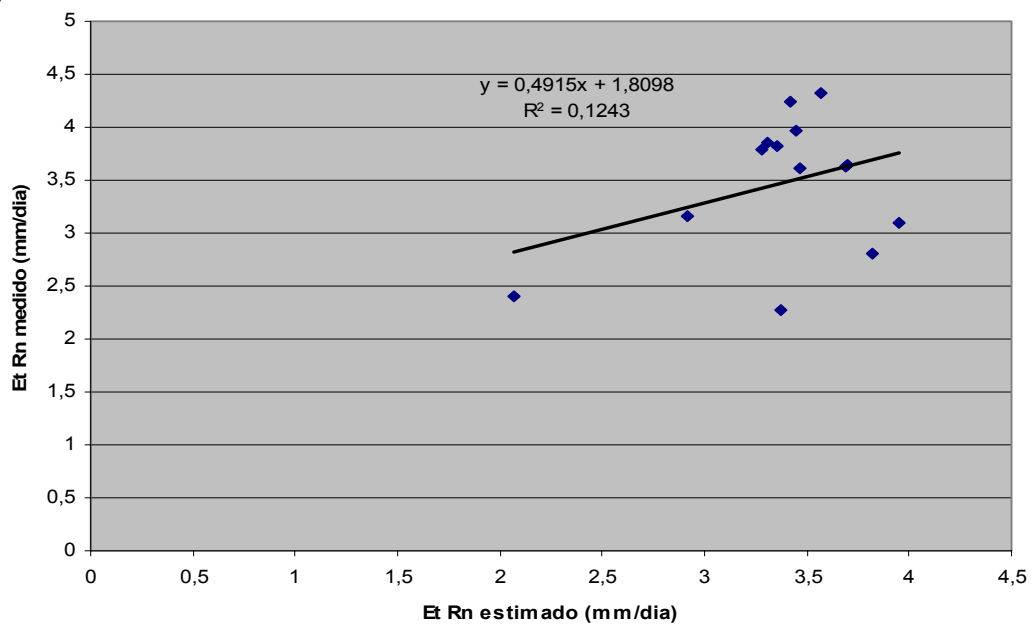


Figura 34– Regressão linear da Evapotranspiração medido e estimado no período de fevereiro a junho de 2006.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas algumas variáveis agrometeorológicas (umidade relativa, temperatura do ar e do solo e velocidade e direção do vento) e evapotranspiração em diferentes períodos de observação e altura média da cultura de soja. Observou-se que durante todo o período de coleta houve chuva em Paragominas, não sendo necessário irrigação. Junho foi o mês em que choveu menos e Março o que mais choveu.

Observamos que nos meses de fevereiro a início de abril a umidade específica máxima do ar se manteve elevada acima de 21 g/kg de acordo com o desenvolvimento do plantio.

O albedo foi mais baixo, quando o solo ainda se encontra completamente nu e na emergência da soja, pois a radiação que entra no sistema é próxima da que sai. Quando o plantio começou a se desenvolver o albedo aumentou, pois a quantidade de radiação solar que chega ao sistema, parte é refletida e grande parte é absorvida pela planta.

A temperatura do ar se manteve entre 23,5 °C a 32,5 °C acompanhando o desenvolvimento da cultura.

Quando observamos as temperaturas médias do solo em três medidas (5, 10 e 20 cm), notamos que a temperatura de 20 cm foi mais elevada quando comparada com as temperaturas de 5 e 10 cm.

A umidade de 10 cm dentre a umidade média do solo em três medidas (10, 20 e 30 cm), foi mais elevada, e após certa profundidade a umidade do solo se torna muito semelhante entre si.

A evapotranspiração estimada com $R_{n\text{estimado}}$ foi inferior à evapotranspiração com $R_{n\text{medido}}$, sendo o pico da evapotranspiração estimada aproximadamente 3,8 mm/dia e a evapotranspiração medida aproximadamente 4,7 mm/dia durante o período de maior desenvolvimento da cultura.

As características principais das condições agrometeorológicas da soja *Glycine max (L.) Merrill* variedade *Candeias* nas condições de clima equatorial quente e úmido foram: bom aproveitamento energético no sistema solo-planta-

atmosfera, evapotranspiração calculada elevada, altas temperaturas e bom desenvolvimento vertical da cultura.

O melhor reservatório de calor ficou em torno de 20 cm de profundidade (zona das raízes) onde as taxas de umidade do ar e do solo foram também elevadas.

Neste contexto se combinarmos estas informações com a produção de soja deste plantio, pode-se determinar um modelo de produtividade agroclimática.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. 1983. **Radiation balance of soybeans grown in Brazil**. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v. 30, p.157-173.

AYOADE, J.O. 1983. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Amsterdam: Ed. Bertrand Brasil S.A. 2a ed., p.332.

Arquivo estatístico municipal. Acessado em: 01.06.2006. Disponível em: <www.sepof.pa.gov.br>

AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; SOUZA, I.F. 1990a . **Balanco de radiação sobre culturas, nas condições semi-áridas do cariri paraibano**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4, Salvador, BA. Anais... I, p. 33-38.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. 1993. **Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.1 n 1, p. 95-99.

BERLATO, M.A.; MOLIN. 1981. **Bioclimatologia da soja**. In: MIYASAKA, S.; MEDICINA, J.C. (Eds.). A soja no Brasil. Campinas: ITAL. p.175-184.

BLAD, B.L.; BAKER, D.G. 1972. **Reflected radiation from a soybean crop**. Agronomy Journal, Madison, v.64, p.277-280.

BRUTSAERT, W. 1975. **On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies**. Water Resources Research, Washington, v. 11, p. 742-744, 1975.

CAÍRES, E. F.; GARBUIO, F. J., ALLEONI, L R. F.; CAMBRI, M. A. 2006. **Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto**. Rev. Bras. Ciênc.

Solo v.30, n.1 Viçosa jan./fev. Acessado em: 15.08.2006. Disponível em: <www.scielo.br>

CAMARGO, I., BOULOS, P.1987. **Geometria analítica - Um tratamento vetorial**. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill. 385p.

CARVALHO, S. P., SOUZA, J. R. S., COHEN, J. C. P., ALVALÁ, R. C. DOS S. ; GANDÚ, A. W. **Regime térmico em solos sob ecossistemas naturais e área agrícola no leste da amazônia**. Acessado em: 16.01.2007. Disponível em: <<http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/10.24.18.49/doc/Carvalho.Regime.pdf>>

CONAB. **Levantamento de avaliação da safra 2005/2006 setembro/06**. Acessado em: 11. 09. 2007. Disponível em: <<http://conab.gov.br/conabweb/download/sureg/PA/BOLETIMSETEMBRO2006PARA.doc>>.

COSTA, J.A. 1973. **Efeito de inundação sobre a soja *Glycine max* (L) Merrill**. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, v.9, n.1, p.113-119.

Cuidados básicos para o plantio mecanizado de soja em Rondônia. Acessado em: 25.12.2007. Disponível em: <<http://www.cpafro.embrapa.br/embrapa/infotec/soja.PDF>>

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. 1992. **Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas**. In: BERGAMASCHI, H. (coord.) Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Ed. da UFRGS. p.85-97.

DIAS, J. **As potencialidades paisagísticas de uma região cárstica: o exemplo de Bonito, MS**. Presidente Prudente, 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. 1997. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.1994. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB/FAO. 306p. FAO. Estudos: Irrigação e Drenagem, 33.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. Londrina: Embrapa Soja, Documentos, 132; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Documentos, 5. 226p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2003. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003**. Acessado em: 16.05.2007. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>

FEARNSIDE, P. 2004. **Deforestation control in Mato Grosso**. *Op. city*.

FOLHES, M.T., SOARES, J.V., RENNÓ, C.D. **Análise da evapotranspiração de culturas irrigadas através de sensoriamento remoto**. Acessado em: 16.01.2008. Disponível em: < http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12%4080/2006/07.25.18.05/doc/ARTIGO_%20FOLHESCONIRD.pdf>

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. ; PEREIRA, A. B. 2001. **Balço de Radiação e Fluxo de Calor no Solo em Ambiente Natural e Protegido Cultivado com Pepineiro**. Bragantia. v.60, n.2 . Campinas. Acessado em: 14.08.2006. Disponível em: <www.scielo.br>

GASPARIM, E., RICIERI, R. P., SILVA, S. L., DALLACOR, R. ; GNOATTO, E. 2005. **Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura**

e solo nu. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115. Acessado em: 24.07.2006. Disponível em: <www.ppg.uem.br>.

GATES, D.M. 1965. **Radiant energy, its receipt and disposal.** Agricultural Meteorology (In: Waggoner, P.E. ed.) Meteorology Monograph. v.6, chap. 1, p.1-26. Boston: American Meteorological Society.

GRODZKI, L., SOARES, R. V., BATISTA, A.C. ; CARAMORIS, P.H., 2004. **Efeitos do fogo sobre algumas variáveis micrometeorológicas em uma floresta de Bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth.), no município de Colombo, PR.** Curitiba. Floresta 34 (2), Mai/Ago, p. 151-156.

Grupo de Recursos Hídricos. Acessado em: 14.01.2008. Disponível em: <<http://www.grh.ufba.br/>>

HAKANSSON, I., VOORHEES, W.B. 1997. Soil compaction. In: LAL, R., BLUM, W.H., VALENTIN, C., *et al.* (eds.) **Methods for assessment of soil degradation.** Boca Raton: Lewis, p.167-179.

Histórico de paragominas. Acessado em: 01.06.2006. Disponível em: <www.sepof.pa.gov.br>

LARCHER, W. 1986. **Utilização de carbono e produção de matéria seca.** In: LARCHER, W.; LAMBERT, A. Ecofisiologia vegetal. São paulo: EPU. p.74-160.

LEITÃO, M.M.V.B.R. 1989. **Balanco de radiação e energia numa cultura de soja irrigada.** Campina Grande, PB:UFPB., 110p. Dissertação Mestrado. DCA/CMM – TD no 03.

LEITÃO, M.M.V.B.1994. **Balanco de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa.** São José dos Campos :

INPE, 1994. 153 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; FIDELES FILHO, J.; SILVA, L.C.; RAO, T.V.R. 1996. **Comportamento dos componentes do balanço de radiação em amendoim sob diferentes tratamentos de irrigação**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, Campos do Jordão, SP: Sociedade Brasileira de Meteorologia, Anais... I, p.417-420.

LEITÃO, M.M.V.B.R. ; OLIVEIRA, G.M. 2000. **Influência da irrigação sobre o albedo**. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p.214-218.

MCGRATH, D. G. ; DIAZ, M. D. C. V. 2006. **Soja na Amazônia Impactos ambientais e Estratégias de mitigação**. Ciência e Ambiente. p.151-165.

MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. 1974. **An introduction to crop physiology**. Cambridge: Cambridge University. p. 201.

MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. 1961. **The radiation balance of bare soil and vegetation**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.7, p.159-170.

MONTEITH, J. L. 1965. **Radiation and crops**. Experimental Agriculture, 1:241-51.

MOTA, F. S. 1983. **Meteorologia agrícola**. 6. ed. São Paulo: Nobel.

NOBRE, C. A. ; ASSAD, E. D. O. **Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira**. INPE ePrint: sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51_v1_2005-09-13. Acessado em: 25.06.2007. Disponível em: <http://eprint.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51/doc/v1.pdf>.

OKAWA, C. M. P.; GRODZKI, L.; DIAS, N. L. *et al.* 1998. **Medições de fluxos de energia com métodos tradicionais alternativos sobre uma cultura de soja em Santa Therezinha de Itaipu, PR.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, 1998. **Anais...**Brasília-DF. p.40-56.

OKAWA, C. M. P.; DIAS, N. L.; GRODZKI, L. *et al.* 1999. **Resultados de um experimento micrometeorológico em uma cultura de soja.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Belo Horizonte. **Anais...** Belo horizonte, 1999.

PALMEIRA, A.F. , 2004. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas à gestão do território do Município de Paragominas (Estado do Pará).** São José dos Campos: 260 p. INPE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PEZZOPANE, J. R. M., GALLO, P. B., JÚNIOR, M. J. P.; ORTOLANI, A. A. 2003. **Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/coqueiro-anão verde.** Microclimatic chacterization in coffee crop shaded by green dwarf coconut trees Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 293-302.

PERES, C.A. 1994. **Composition, density, and fruiting phenology of arborescent palms in an amazon terra firme forest.** Biotropica 26:285-294.

PEREIRA, M. H. **O sistema de plantio direto na palha 25 anos de sua adoção no Brasil.** In: Seminário sobre o plantio direto, 1., 1998. p. 1-7.

PILLAR, V.D. 1995. **Clima e vegetação.** UFRGS, Departamento de Botânica. Acessado em: 21.05.2007. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>.

PREVEDELLO, C. L. 1996. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Salesward-Discovery, RISSER, G. *et al.* Effect de la temperature des racines sur la croissance de jeunes plants de diverses variétés de melon (*Cucumis melo* L.). Ann. Agron., Paris, v. 29, n. 5, p. 453-473. 1978.

RADIN, B., SANTOS, A. O., BERGAMASCHI, H., ROSA, L. M. G. ; BERGONCI, J. I.. **Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2000. Acessado em: 16. 01. 2008. Disponível em:<<http://www.sbagro.org.br/rbagro/pdfs/artigo293.pdf>>

REVISTA ÉPOCA. Acessado em: 22.08.2006. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com>>

RIBEIRO, J.B.M. 1993. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. Viçosa. 85p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, M.; PELUZI, J. M.; BARROS, H. B.; ALMEIDA, R. D.; BRITO, E. L. ; FIDÉLIS, R.R. **Influência da Profundidade de Semeadura no Comportamento de Cultivares de Soja, em Gurupi-To**. Acessado em: 16. 09. 2007. Disponível em:<<http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/doc/12.doc>>

SCHÖFFEL, E. R. ; VOLPE, C. A. 2002. **Contribuição relativa da temperatura do ar no desenvolvimento de três cultivares de soja. Relative contribution of air temperature in the development of three soybean cultivares**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 97-104. Acessado em: 24.06.2007. Disponível em: <<http://www.sbagro.org.br/rbagro/pdfs/artigo367.pdf>>.

SMITH, J.A, SHIMABUKURO, Y.E. 1991. **The least-squares mixing models to generate fractio images derived from remote sensing multispectral. data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n 1, p. 16-20.

SeedQuest News section. Brazil. June 15, 2004. Acessado em: 20.06.2007. Disponível em: <<http://www.seedquest.com/News/releases/2004/june/8987.htm>>.

SILVA, J.F ; HERZ, R. (1987). **Estudos de microclimas em ambientes de manguezais na região do complexo estuarino-lagunar de Cananéia. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS**. Cananéia, 1987. São Paulo.

SILVA, V.R. 1999. **Compressibilidade de um Podzólico e um Latossolo em função do estado inicial de compactação e saturação em água**. Santa Maria, RS, p. 116. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Biodinâmica de Solos) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

STANHILL, G., 1965. **A comparison of four methods of estimating solar radiation**. UNESCO Arid Zone Res., 25: 55-61.

SOARES, W. R., SEDIYAMA, G. C., RIBEIRO, A., COSTA, J. M.N. DA, 2001. **Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ($K_{c_{ini}}$) à lâmina de irrigação e textura do solo**. Dependence of the crop coefficient in the initial stage of crop development ($K_{c_{ini}}$) upon irrigation depth and soil texture. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.5 no.1 Campina Grande Jan./Apr.

SPERA, S.T.; FAGANELLO, A. 2000. **Estresses ocasionados por práticas de manejo do solo**. In: BONATO, E.R. ed. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254p.

THOM, H. C. S. 1954. **The rational relationship between heating degree days and temperature**. Monthly Weather Review, 86(4):136-144.

TORRES, J. L. R.1, FABIAN, A. J., PEREIRA, M. G. ; ANDRIOLI, I. 2006. **Influência de Plantas de Cobertura na Temperatura e Umidade do Solo na Rotação Milho-Soja em Plantio Direto**. Plants Covering Influence In Soil Temperature And Humidity In Corn-Soybean Cultures Area, In No Tillage System. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 107-113, jan-mar,. Acessado em: 29.06.2007. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v12n1/artigo20.pdf>>.

URBEN FILHO, G.; SOUZA, P. I. de M. de. 1993. **Manejo da cultura da soja sob cerrado: época, densidade e profundidade de semeadura**. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I. de M. de (Ed.). Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: Potafos. p.267-298.

VIANELLO E ALVES. 1991. **Meteorologia básica e aplicada**. Viçosa-Minas Gerais. p. 449.

VISWANADHAM, Y.; MOLION, L. C. B.; MANZI, A. O.; SÁ, L. D. A.; SILVA FILHO, V. P; ANDRÉ, R. G. B.; NOGUEIRA, J. L. M; SANTOS, R. C. 1990. **Micrometeorological measurements in Amazon forest during GTE/ABLE 2A Mission**. Journal of Geophysical Research, v. 95, n. D9, p. 13669-13682, Aug.

VOOS, M.; SIDIRAS, N. 1985. **Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional**. Pesq. Agropecu. Bras., Brasília. v. 20, p. 775-778.