COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DE MOMENTUM, CALOR
SENSÍVEL E VAPOR D'ÁGUA, EM UMA CULTURA DE
MILHO (*Zea mays*, L.), VARIEDADE "PIRANÃO"

BERNARDO YASUHIRO IDE

Pesquisador da EMBRAPA

Orientador: AFONSO DECICO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro, 1978

Aos

meus pais Kazime Ide é
 Kimiko Ide

A minha esposa Adelina

Ao meu filho Bernardo

Ofereço.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor Doutor Afonso Decico, pela orientação precisa e oportuna recebida neste trabalho;

Ao Professor Doutor Jesus Marden dos Santos, Coordenador do Curso de Agrometeorologia, pelo dinamismo, críticas e sugestões apresentadas;

Aos Professores Doutores Nilson Augusto Villa Nova e José Carlos Ometto, pela amizade, apoio e orientação profissional;

Aos professores das diferentes disciplinas oferecidas ao curso, pelo empenho e dedicação em transmitir conhecimentos;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, pela oportunidade oferecida;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela ajuda financeira dada, durante o curso;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelas facilidades oferecidas e doação dos equipamentos de medida;

Aos colegas, que em clima de muita amizade, souberam em verdadeira dinâmica de grupo, alcançar juntos o objetivo;

A todos os funcionários do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP, que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração do presente trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1. Deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_o)	28
5.2. Análise do Comportamento de U_* , e_* e T_*	31
5.3. Densidades de Fluxos	41
6. CONCLUSÕES	48
7. SUMMARY	50
8. LITERATURA CITADA	52
9. APÊNDICE	56

1. RESUMO

As transferências de variáveis como: momentum, calor sensível, calor latente e dióxido de carbono, na camada limite superficial são geralmente por turbulência, e um dos métodos de medida de fluxos de tais propriedades é o método de aerodinâmico.

No presente estudo, foi utilizada esta metodologia na determinação de densidades de fluxos de momentum, calor sensível e calor latente, em 2 dias de cada fase vegetativa de uma cultura de milho (Zea mays L.) variedade "Piranão".

Em intervalos de 10 minutos dentro de períodos de 30 minutos foram realizadas medidas de velocidade de vento, temperatura seca e úmida, em 4 níveis acima da cultura: 20, 100, 180 e 260 cm. Utilizou-se o sistema de perfil de vento, Mod. 106, fabricado pela C.W.THORNTHWAITE Associates de precisão 1% e psicrômetros de pares termoeletrônicos de cobre constantan Nº 24AWG.

Valores do deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_0), foram determinados por processo gráfico ($U_z \times \ln(z - d)$), e foi assumido o valor médio destes parâmetros para cada dia estudado. Os valores do deslocamento do plano zero (d) variaram de $0,625H$ a $0,647H$, onde H é a altura média da cultura, e os valores do parâmetro rugoso (z_0) variaram

de 0,033H a 0,09H.

O estado atmosférico foi caracterizado pelo número de Richardson entre 20 e 180 cm e as densidades de fluxos foram corrigidas através da correção F, utilizando-se das equações empíricas $(1 - 16R_1)^{3/4}$ para regimes instáveis e $(1 + 5R_1)^2$ para regimes estáveis. Obtendo-se valores para a função F desde 0,2 até 9,3.

2. INTRODUÇÃO

A compreensão das relações entre a atmosfera e uma comunidade de plantas é um ponto de vital importância para exploração do potencial produtivo das espécies vegetais de valor econômico.

Os estudos de seleção, adaptação, comportamento com relação a pragas e doenças e densidade de plantas de uma cultura, implicam no conhecimento das interações entre as comunidades vegetais e o meio ambiente que as cercam.

A micrometeorologia, que se preocupa com a quantificação dos processos dessa interação, tem-se desenvolvido mais rapidamente nos últimos anos, pela utilização de equipamentos com ínfimos tempos de resposta, com grande sensibilidade e precisão, fazendo uso de técnicas de medida que praticamente não alteram as características dos sistemas.

Os processos destas interações, caracterizam-se essencialmente, por transferências de propriedades como: momentum, calor sensível, vapor d'água e dióxido de carbono, em uma pequena camada de atmosfera, acima da superfície vegetada que se denomina de camada limite superficial. Nesta camada, durante o dia, o ar geralmente se encontra em regime turbulento, com rápidas flutuações das suas propriedades físicas.

Assim sendo, torna-se importante conhecer como o movimento turbulento do ar, acima das superfícies das plantas, condiciona as trocas, criando um microclima nas comunidades vegetais.

O presente trabalho, entre nós, visa o desenvolvimento da metodologia de determinação das densidades de fluxos de momentum, calor sensível e calor latente, com medidas de velocidade de vento, temperatura e vapor d'água, em vários níveis acima de uma cultura de milho, com o propósito de obter informações básicas sobre a variedade "Piranão".

3. REVISÃO DE LITERATURA

Sobre uma superfície vegetada, extensa e uniforme, as trocas de propriedades entre a atmosfera e a comunidade de plantas são feitas através dos processos de turbulência, mesmo nas horas mais calmas do dia, segundo WEBB (1965) e ROSE (1969).

Ao admitir-se a idéia fundamental da teoria cinética dos gases, para expressar as trocas de momentum, calor sensível, calor latente e dióxido de carbono, definindo os coeficientes de viscosidade, condutividade e difusividade, foi dado o primeiro passo da teoria de transferência. Estes parâmetros, denominados coeficientes de trocas, foram desenvolvidos por SCHMIDT (1925) e aplicados a meteorologia principalmente por Taylor e Richardson, conforme SUTTON (1953).

Em condições de turbulência, PRANDTL (1932) e DEACON (1949) determinaram os coeficientes de transferência turbulenta, equacionando o perfil aerodinâmico de vento na baixa atmosfera. Estes coeficientes, denominados coeficientes de transferência turbulenta para momentum (K_m), para calor sensível (K_h), para vapor d'água (K_v) e para dióxido de carbono (K_c), estabelecem uma proporcionalidade entre as trocas das propriedades do ar em movimento e a superfície, segundo estudos reali

zados por PASQUILL (1949) e RIDER (1954) em atmosfera neutra.

A condição de atmosfera neutra, foi estabelecida matematicamente por RICHARDSON (1928), através da razão entre forças de empuxo, provocadas por diferença de densidade, e forças de atrito gerados pela superfície rugosa. Quando a força de empuxo é próxima de zero, ou muito menor que a força de atrito, o movimento é considerado puramente turbulento e a atmosfera se encontra em estado de estabilidade neutra. Nestas condições as transferências se realizam unicamente, por turbulência mecânica (ROSE, 1969).

Desta forma, um parâmetro conhecido como número de RICHARDSON (R_i), foi estabelecido e dado pela seguinte expressão:

$$R_i = \frac{g \cdot \partial \theta / \partial z}{\theta \cdot (\partial U / \partial z)^2}$$

onde,

g = aceleração da gravidade ($\text{cm} \cdot \text{seg}^{-2}$)

θ = temperatura potencial ($^{\circ}\text{K}$)

$\frac{\partial \theta}{\partial z}$ = gradiente de temperatura potencial ($^{\circ}\text{K} \cdot \text{cm}^{-1}$)

∂

$\frac{\partial U}{\partial z}$ = variação da velocidade média de vento com a altura
($\text{cm} \cdot \text{seg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

Segundo SUTTON (1953), a temperatura potencial (θ), assim como seu gradiente, é geralmente substituída pela temperatura absoluta do ar e seu gradiente, em estudos próximos a superfície do solo, com erros não significativos.

PRIESTLEY (1955), estabeleceu os seguintes limites para o número de Richardson: $0 > R_i > -0,02$, para o estado de atmosfera neutra (convenção forçada); $-0,02 > R_i > 0,03$

estado de transição em que os dois processos coexistem, isto é, convecção livre e convecção forçada; $R_i > -0,03$, para o caso de instabilidade, onde predomina apenas a convecção livre.

Conforme DEACON (1953), em condições de atmosfera neutra, PRANDTL e VON-KARMAN principalmente, observaram que a velocidade do vento é uma função logarítmica da altura, em uma superfície uniforme. Este perfil, tem servido de modelo para o desenvolvimento de muitos estudos micrometeorológicos, segundo TENNEKES (1973), e foi confirmado por outros pesquisadores (THORNTHWAITE e KASER, 1943 e DEACON, 1949), em observações do comportamento da velocidade do vento com altura acima de superfícies vegetadas e não vegetadas.

A equação que descreve o perfil de vento, naque las condições, tem a seguinte forma:

$$U_z = \frac{U_*}{k} \cdot \left(\ln \left(\frac{Z - d}{z_0} \right) \right)$$

onde,

U_z = velocidade média do vento na altura Z

$|U_*|$ = velocidade de atrito ?

k = constante de Von-Karman

d = deslocamento do plano zero

z_0 = parâmetro rugoso ou comprimento efetivo da rugosidade

Segundo TANNER (1966), o perfil logarítmico de vento é representativo quando são realizadas observações duran te um período de 10 a 60 minutos, através de medidas da varia ção espectral da turbulência.

Análises de perfis de velocidade média do vento, obtidos em condições adiabáticas e próximas a neutralidade,

mostram que, na cultura de milho, valores dos parâmetros d e z_0 aumentam com a altura da rugosidade, conforme estudos feitos por LEMON (1965).

UDAGAWA (1966) e SEO et alii (1968), citados por UCHIJIMA (1972), realizando estudos em arroz e aveia, constataram variações nestes parâmetros com o crescimento das respectivas culturas, encontrando valores máximos na fase de espigamento e decrescendo com o amadurecimento das espigas.

INOUE (1960), estudou os parâmetros d e z_0 em culturas de arroz e verificou que eles variam em função do gradiente de temperatura, velocidade do vento, geometria e propriedades elásticas dos elementos que constituem a rugosidade.

Valores médios de $\frac{d}{H}$ e $\frac{z_0}{H}$, onde H é a altura da rugosidade, foram determinados por vários pesquisadores em milho, e diversos valores foram encontrados. MAKI (1975a) analisou os valores encontrados em vários tipos de rugosidade (rígidos e elásticos), e calculou os valores médios de $\frac{d}{H} = 0,717$ e $\frac{z_0}{H} = 0,616$, diferindo um pouco dos valores recomendados por MONTEITH (1973), para fins de estimativa destes parâmetros (0,63 e 0,13). Dos valores tomados por MAKI (1975a), especificamente para a cultura de milho, a amplitude de variação foi de 0,61 a 0,83 para $\frac{d}{H}$ e 0,03 a 0,1 para $\frac{z_0}{H}$.

MUNRO e OKE (1973), analisando perfis de vento médio de 10 minutos, em um campo de trigo, durante trinta dias, no estágio de maturação, período durante o qual a altura da planta permaneceu constante, verificaram as variações de d e z_0 com a velocidade média de vento acima da vegetação ($\bar{U}_m$). Analisando estatisticamente, concluíram que as variações não são correlacionadas significativamente. Compararam também valores encontrados através de 3 métodos de estimativa dos parâmetros d e z_0 , que foram: (a) fórmula de regressão (SZEICZ,

ENRODI e TAJCHAN (1969); (b) coeficiente de arrasto aproximado (KONDO, 1971); (c) descrição do elemento rugoso (LET TAU, 1969). As comparações entre os z_0 são pobres, indicando que a fórmula para predizer este parâmetro necessita de um melhor entendimento das relações entre a superfície rugosa e a geometria dos elementos. Já as comparações entre os valores de d foram boas, levando à conclusão que o deslocamento do plano zero (d) é relativamente insensível às variações de características da rugosidade.

A constante de Von-Karman (k), pode variar de 0,33 a 0,40, com um valor médio de 0,35, recomendada em aplicações a estudos micrometeorológicos sobre superfícies lisas (TENNEKES, 1973). Para o uso em estudos de transporte de propriedades em superfícies vegetadas, MONTEITH (1973) aconselha utilizar o valor de 0,41 para k , obtido por THOM (1971) $0,41 \pm \pm 0,03$, em estudos realizados em túnel de vento, para todo tipo de vegetação.

Vários trabalhos de determinação de transporte de propriedades (vapor d'água principalmente) foram realizados, utilizando a equação do perfil logarítmico de vento, acima da superfície rugosa. O método é denominado aerodinâmico e admite 3 hipóteses: (a) o fluxo de momentum é constante com a altura, de acordo com observações de ERTEL (1933) e CALDER (1939); (b) a igualdade dos coeficientes de transferência turbulenta; (c) o regime de neutralidade durante todo o período de estudo.

PASQUILL (1950), utilizou o método aerodinâmico em pastagem, para determinação de evapotranspiração horária (E_c), e comparou com dados de lisímetros (E_0), encontrando valores em 2 séries diferentes. Para cada hora, a velocidade de vento foi medida durante 20 minutos, e neste mesmo período foram realizadas 20 leituras de temperatura, assumindo um valor médio nos cálculos. Foram obtidos 41 valores de E_c/E_0 , em condições efetivamente adiabáticas, com velocidade de vento

a 2 metros, variando de 300 a 900 $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$. As variações individuais da razão E_c/E_o do valor 1,0, foram de 10, 20 e 30% em 24, 66 e 90% dos casos, respectivamente.

RIDER (1954), aplicou o método aerodinâmico para determinar evapotranspiração de um campo de aveia. Em uma área de 10 hectares, coletou dados de temperatura em 2 alturas acima da vegetação a cada 2 minutos durante 30 minutos, em cada período de 60 minutos. Os valores de velocidade de vento também foram observados neste período. As observações foram realizadas durante a fase de crescimento da cultura, em períodos de 1 a 12 dias seguidos, desde 10cm até 80cm de altura. Valores diários de perda d'água encontrados, variaram de 0,05 a 5,65mm. Estudou ao mesmo tempo as variações de taxas de evaporação horária, verificando que sempre há uma subestimação dos valores, quando as condições instáveis prevalecem, comparada a dados de lisímetros. Considerando valores diários, o método subestimou em menos de 15%.

Em uma área circular de 500 metros de diâmetro, RIDER (1957), verificou perdas de água por três superfícies cobertas com vegetais diferentes em tamanho e forma (grama, couve e ervilha), em três períodos de crescimento. O último período abrangia fase de cobertura total do solo. Com leituras de temperatura em 2 alturas e da velocidade do vento em 3 alturas foi aplicado o método aerodinâmico para determinação dos fluxos. Para dias de verão foram encontrados os seguintes resultados: ervilha, 2,5 a 7,5mm; grama, 2 a 3mm; e couve, 4mm. A variação para ervilha foi grande, mas não explicada pelo autor suas possíveis causas, assim como não foram comparadas com resultados com uso de outro método.

O método aerodinâmico, assumindo as 3 hipóteses, também foi utilizado para determinação do fluxo de dióxido de carbono acima da vegetação.

MONTEITH e SZEICZ (1960) estudaram o comportamento do dióxido de carbono, durante várias fases de uma cultura de beterraba, através de medidas de velocidade de vento e concentração de CO_2 . Determinaram o fluxo de CO_2 através do método aerodinâmico, comparando com valores estimados pelo acréscimo de matéria seca na amostragem de plantas. Embora os resultados de fluxo de CO_2 , determinados pelo método aerodinâmico fossem menores, $158 \pm 29 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ para $217 \pm 38 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ de CO_2 , no período inteiro de leitura, a diferença não foi considerada significativa.

Em um campo de milho, LEMON (1960) também utilizou o método aerodinâmico, para determinar as trocas turbulentas de CO_2 . Foram realizadas observações em períodos de dois dias separados, nas diferentes fases do desenvolvimento da cultura, através de medidas de velocidade de vento acima da cultura em 3 alturas, e concentração de CO_2 em 2 alturas, em cada 5 minutos. Ao contrário dos resultados obtidos por MONTEITH e SZEICZ (1960), os fluxos de CO_2 determinados pelo método aerodinâmico, foram um pouco altos, quando comparados com o método da amostragem de plantas, embora da mesma ordem de grandeza. O autor considerou as diferenças como aleatórias.

MUKAMMAL, KING e CORK (1966), estudando fluxos de vapor d'água em um campo de milho, pelo método aerodinâmico e comparando valores diários com dados de lisímetros de flutuação, comentam que o método não traz resultados muito úteis, subestimando os valores em até 40%.

BROOKS e PRUITT et alii (1966) compararam resultados de evapotranspiração, obtidos pelo método aerodinâmico e pelo lisímetro. Assumindo o regime de neutralidade para todo o período, o método aerodinâmico foi inadequado, subestimando em condições de alta instabilidade, e superestimando em condições de alta estabilidade. Bons resultados para todas as condições foram encontrados mediante a correção do perfil de ven-

to (ϕ_m), e do perfil de umidade (ϕ_v). Através da curva $ET/ET_i \times R_i$, onde ET = evapotranspiração medido pelo lisímetro (30 minutos); ET_i = evapotranspiração determinado pelo método aerodinâmico (30 minutos), assumindo neutralidade; R_i = número de Richardson, uma correção de $(1 - 50R_i)^{-1/2}$ para condições instáveis, e $(1 + 50R_i)^{1/2}$ para condições estáveis foi encontrada.

PRUITT, MORGAN e LOURENCE (1973), utilizando dados de seus estudos micrometeorológicos realizados em um campo de grama, determinaram os fatores de correção de vento (ϕ_m), e fluxo de calor latente (ϕ_v), de acordo com o estado de estabilidade atmosférica caracterizada pelo número de Richardson (R_i), cujos valores variaram de -3,5 a 0,3. Foram encontrados os seguintes valores: $\phi_m = (1 + 16R_i)^{1/3}$ e $\phi_v = 0,885(1 + 34R_i)^{0,40}$ para condições estáveis; $\phi_m = (1 - 16R_i)^{-1/3}$ e $\phi_v = 0,885(1 - 22R_i)^{-0,40}$ para as condições de estabilidade.

Conforme THOM (1976), os fatores de correção são: $\phi_h = \phi_v = (1 - 16R_i)^{-1/2}$ para instabilidade e $\phi_m = \phi_v = \phi_h = (1 - 16R_i)^{-2}$ para estabilidade, propostos por BUSINGER (1966) e PANOLFO (1966) independentemente.

DYER e HICKS (1970) utilizaram desta relação e concluíram que pode ser aplicada em pesquisas micrometeorológicas, desde que R_i esteja entre -0,01 a -1. com resultados mais reais que o uso de aproximações à neutralidade.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Área Experimental

O presente trabalho foi conduzido nas proximidades do Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP, em área pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no município de Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são as seguintes:

longitude: $47^{\circ}38'W$

latitude: $22^{\circ}45'05"S$

altitude: 575 metros

Uma área de 4.400 metros quadrados (110 x 40m) de terreno plano e homogêneo, foi cultivado com milho (Zea mays, L.).

4.1.2. Solo e Preparo

O solo é classificado a nível de grande grupo como Terra Roxa Estruturada pela Comissão de Solos, e como sendo da Série Luiz de Queiroz, segundo RANZANI et alii (1966). Pela sétima aproximação é classificado como Alfisol.

O preparo do solo constou de uma aração a 20cm, uma gradagem e destorroamento com enxada rotativa. A cultura anterior a do presente estudo, foi também o milho.

4.1.3. Cultura

Utilizou-se da cultura do milho (*Zea mays*, L.) variedade "Piranão" e cultivar Centralmex, cujas sementes foram fornecidas pelo Departamento de Genética da ESALQ-USP. Os plantios foram realizados no dia 07-12-76, em sulcos, no espaçamento de 80 x 20 cm (variedade "Piranão") e 100 x 20cm (cultivar "Centralmex"), com linhas na orientação Norte-Sul. Os estudos foram realizados na variedade "Piranão", que ocupou uma área de 1600 metros quadrados. Uma adubação básica na formulação 6 - 4 - 3, foi efetuado com incorporação nos sulcos de plantio, na dosagem de 500 kg/ha.

A floração ocorreu de 17 a 24 de fevereiro de 1977.

Embora não fosse dispensado nenhum tratamento fitossanitário, não houve ocorrência aparente de pragas ou doenças, que alterassem, marcadamente, as características morfológicas da espécie, até 77 dias após o plantio.

Estudos de arquitetura de plantas da variedade estudada, feitos por SANTOS et alii (1976), mostraram uma variação de inclinação das folhas em relação ao zênite local, de 5 a 170°, e a orientação das folhas de 200 plantas, foi a se-

guinte: N-S, 32,4%; L-W, 40%; NE-SW, 15%; NW-SE, 12,5%. As linhas de plantio foram na direção N-S.

Algumas diferenças na altura das plantas foram observadas, explicando-se pela existência da variabilidade genética presente, ainda neste ano no "Piranão".

4.1.4. Anemômetros

Na medida da velocidade do vento acima da vegetação, utilizou-se de um perfil constituído de 6 anemômetros de canecas, montados em um mastro de alumínio, através de um cabo de 34cm, nas alturas 20, 40, 80, 160, 240 e 320cm, de fabricação C.W.Thornthwaite Associates, modelo 106.

O sistema de registrador, consiste de amplificadores e contadores eletromecânicos de sinais para cada anemômetro.

O princípio de funcionamento do sistema é baseado em uma fotocélula, que recebe um feixe de luz de uma lâmpada de 9 volts em cada rotação do anemômetro. Este sinal recebido é amplificado e registrado no painel, de tal modo que temos valores acumulados de pulsos ou rotações.

A conversão dos dados de contagens por minuto, para centímetros por segundo é feita com o uso de curvas de calibração do equipamento. A precisão do equipamento é de 1%.

4.1.5. Temperatura e Umidade

Na obtenção da temperatura do ar e tensão de vapor d'água, utilizou-se de um conjunto de psicrômetros instalados em um mastro, nas alturas 20, 40, 80, 160, 240 e 320cm.

Os psicrômetros eram constituídos de pares ter-

moelétricos cobre-constantan nº 24 AWG. Um sistema de proteção para os conjuntos foi construído com PVC branco.

Os impulsos foram medidos com potenciômetro fabricado pela Cambridge Instrument Ltd, tipo 44.228, de fundo de escala 0 - 100 mV e sensibilidade 0,01 mV.

Como temperatura básica de referência utilizou-se de mistura de gelo e água, acondicionada em garrafa térmica. A conversão de mV para °C foi realizada com auxílio de tabelas.

Fig. 1. Aspecto do campo experimental de milho (Zea mays, L.) e conjunto de anemômetros e psicrômetros de pares termoeleétricos.

4.1.6. Dados Pluviométricos

A precipitação pluviométrica, medida no Posto Agrometeorológico do DFM-ESALQ/USP, localizado a 200 metros do campo experimental, para o período de 79 dias foi:

Período	Precipitação (mm)	Dias de chuva
7 a 31/12/76	129,8	12
1 a 31/01/7	322,7	23
1 a 24/02/7	26,6	2

4.2. Método

4.2.1. Aspectos Teóricos

4.2.1.1. Movimentos Convectivos

Quando o ar flui horizontalmente sobre o solo desnudo ou coberto por vegetais, devido aos fenômenos de atrito entre a atmosfera e a superfície, ou em consequência de diferenças de densidades em parcelas de ar, ocorrem transportes verticais ou convecção. A convecção é denominada de integralmente forçada, quando os transportes verticais são devidos principalmente aos efeitos mecânicos de atrito. A atmosfera neste caso é dita estar em estado de estabilidade neutra, caracterizada por um gradiente de temperatura (dT/dZ) de $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{metro}$ (gradiente adiabático seco), e um perfil logarítmico de vento. Quando o gradiente de temperatura atmosférico, em valor absoluto, é maior ou menor que $0,01^{\circ}\text{C}/\text{metro}$, a atmosfera é denominada de instável ou estável respectivamente. Nestes casos os perfis de velocidade de vento não são logarítmicos, e surge uma força de empuxo negativa (instabilidade) ou positiva (estabilidade), aumentando ou diminuindo as intensidades dos transportes verticais.

De um modo geral, os processos convectivos ocorrem juntos, sendo que para diferentes períodos nao determina

dos do dia, um deles é dominante.

4.2.1.2. Número de Richardson (R_i)

Muitos dos fenômenos que ocorrem em uma comunidade vegetal como: evapotranspiração, fotossíntese, trocas de calor sensível e momentum, podem ser estimados através das transferências verticais, e para tais cálculos o estado da atmosfera é importante. Como foi comentado anteriormente, os transportes verticais são provenientes dos efeitos térmicos e mecânicos.

RICHARDSON (1928), determinou limites para estabelecer critérios de estabilidade atmosférica, analisando as relações entre a energia cinética de origem mecânica e a energia cinética de origem térmica, que passaremos a descrever. Uma parcela de ar na altura z se desloca para o nível $z + l$, conforme a figura 2.

Fig. 2. Energia cinética total de uma parcela de ar, que se desloca de um nível z para $z + l$.

Seja um volume unitário de ar no nível Z . Neste nível ele é caracterizado por uma velocidade média ($\bar{U}_Z$), uma energia cinética $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{U}_Z^2$, temperatura $T(Z)$, uma diferença de densidade com o meio ambiente $d\rho$, e uma energia potencial de referência $W(Z) = 0$. Quando este volume for impedido a movimentar-se verticalmente, ao se dirigir para o nível $(Z + l)$, sofrerá uma variação de velocidade

$$d\bar{U} = \bar{U}_{(Z+l)} - \bar{U}_{(Z)} = l \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (1)$$

e em consequência terá uma variação em sua energia cinética (K_{em}) igual a:

$$K_{em} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{U}_{(Z+l)}^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{U}_{(Z)}^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot l^2 \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right)^2 \quad (2)$$

Como o volume de ar tem densidade (ρ) diferente da densidade do meio (ρ_0), sobre ele atuará uma forma de empuxo tal como:

$$-f = g \cdot d\rho \quad (3)$$

Considerando-se a pressão (P) constante em pequenas faixas da atmosfera, da equação geral dos gases, tem-se para a variação de densidade:

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot R \cdot T \\ 0 &= \rho \cdot R \cdot dT + R \cdot T \cdot d\rho \\ \text{portanto,} \quad -d\rho &= \rho \cdot \frac{dT}{T} \end{aligned} \quad (4)$$

ou

$$-g \cdot d\rho = g \cdot \rho \cdot \frac{dT}{T} \quad (5)$$

Relembrando que, $dT = -l \cdot \partial \bar{T} / \partial Z$, a equação (3) torna-se

$$f = -g \cdot d\rho = -\rho \cdot l \cdot \frac{g}{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (6)$$

A energia cinética térmica ($k \cdot e_I$), que é igual ao trabalho realizado pela força de empuxo f , para levar o volume unitário de ar do nível Z para $Z+1$, será:

$$k \cdot e_I = f \cdot l = -\rho \cdot l^2 \cdot \frac{g}{T} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \quad (7)$$

A razão em $Z+1$, entre a energia cinética térmica e a energia cinética mecânica será:

$$\frac{k \cdot e_I}{k_{em}} = \frac{\rho \cdot l^2 \cdot \frac{g}{T} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}\right)^2} = \frac{2 \frac{g}{T} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z}}{\left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}\right)^2} \quad (8)$$

A quantidade $-\left(\frac{g}{T}\right) \cdot \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z}\right) \cdot \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}\right)^{-2}$ descreve a importância relativa entre a convecção livre e forçada na camada limite superficial. Na prática essa relação é conhecida como número de Richardson (R_i).

Quantitativamente, ficaram estabelecidos os seguintes limites para o número de Richardson:

$-0,01 < R_i < 0,01$ — convecção integralmente forçada

$-1,0 < R_i < -0,01$ — convecção livre + forçada, atmosfera instável

$R_i < -1,0$ — convecção livre, atmosfera muito instável

$0,01 < R_i < 0,1$ — convecção amortecida, atmosfera estável

$R_i < 0,1$ — convecção suprimida, atmosfera muito estável

4.2.1.3. Equações Generalizadas de Fluxos

Em seu movimento horizontal, a atmosfera transfere continuamente momentum para a comunidade vegetal, devido aos efeitos de atrito. Para uma atmosfera neutra ou movimento totalmente turbulento, a densidade de fluxo de momentum (τ) é quantitativamente descrito como:

$$\tau = \rho \cdot U_*^2 \quad (9)$$

onde τ é o momentum transferido por unidade de área horizontal, U_* é definido como velocidade de atrito e independente da altura (Z) e ρ é densidade do ar.

Da lei geral de fluxo, como função de um gradiente de um potencial, a densidade de fluxo de momentum pode ser escrita:

$$\tau = \rho \cdot K_m \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (10)$$

onde,

K_m é o coeficiente de difusão turbulenta de momentum, e $\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}$ é a variação da velocidade de vento ao longo da altura.

Verifica-se experimentalmente que em atmosfera neutra, $\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}$ é expresso por:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = \frac{U_*}{k (Z - d)} \quad (11)$$

onde,

k é a constante de Von-Karman, e d um fator de correção da altura Z , definido como deslocamento do plano zero. Este deslocamento é necessário para a validade da equação (11), acima de uma superfície vegetada, extensa e uniforme de altura H .

Em analogia com (10) e (11), para a atmosfera neutra, as densidades de fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), assim como os perfis de temperatura e umidade são expressos por:

$$H = -\rho \cdot c_p \cdot K_h \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \quad (12)$$

$$LE = -\rho \cdot \frac{c_p}{\gamma} \cdot K_v \cdot \frac{\partial \bar{e}}{\partial Z} \quad (13)$$

e

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} = \frac{T_*}{k(Z - d)} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \bar{e}}{\partial Z} = \frac{e_*}{k(Z - d)} \quad (15)$$

onde,

c_p é o calor específico a pressão constante, $\gamma = (c_p \cdot P / 0,622 L)$ é constante psicrométrica, P pressão atmosférica e e a tensão de vapor d'água, K_h e K_v são coeficientes de difusão turbulenta para calor sensível e vapor d'água respectivamente. Com efeito, T_* e e_* , da mesma forma que U_* , quantificam as flutuações de temperatura e tensão de vapor d'água na camada limite superficial e caracterizam o sistema.

Admitindo-se a hipótese da igualdade dos coeficientes de transporte turbulento ($K_m = K_h = K_v$) e em caso de atmosfera neutra, a partir das equações (9), (10) e (11), obtém-se que:

$$K_m = K_h = K_v = K^2 (Z - d)^2 \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (16)$$

e as equações (12), (14) e (15) podem então ser escritas na forma:

$$\tau = \rho \cdot k^2 (Z - d)^2 \cdot \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right)^2 \quad (17)$$

$$H = -\rho \cdot c_p \cdot k^2 (Z - d)^2 \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \cdot \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (18)$$

$$LE = - \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot k^2 (Z - d)^2 \cdot \frac{\partial e}{\partial Z} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (19)$$

Para o caso de atmosfera não neutra, ou em outras palavras, quando o empuxo ou a supressão da turbulência é significativa, as equações (11), (14) e (15) tomam a forma:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = \frac{U_*}{k(Z - d)} \cdot \phi_m \quad (20)$$

$$\frac{\partial T}{\partial Z} = \frac{T_*}{k(Z - d)} \cdot \phi_h \quad (21)$$

$$\frac{\partial e}{\partial Z} = \frac{e_*}{k(Z - d)} \cdot \phi_v \quad (22)$$

onde,

ϕ_m , ϕ_h e ϕ_v são denominadas funções de estabilidade para momentum, calor sensível e vapor d'água respectivamente. Substituindo as equações (20), (21) e (22) em (17), (18) e (19) para os casos de não neutralidade, as densidades de fluxos poderão ser estimados com as seguintes equações:

$$\tau = \rho \cdot U_*^2 \cdot \phi_m^{-2} \quad (23)$$

$$H = -\rho \cdot c_p \cdot U_* \cdot T_* \cdot (\phi_m \cdot \phi_h)^{-1} \quad (24)$$

$$LE = - \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot U_* \cdot e_* \cdot (\phi_m \cdot \phi_v)^{-1} \quad (25)$$

Nos casos de atmosfera estável WEBB (1970), citado por THOM (1976), encontrou a seguinte relação semi-empírica, para as funções de estabilidade.

$$\phi_m = \phi_h = \phi_v = (1 - 5R_i)^{-1} \quad (26)$$

e para os casos de instabilidade, independentemente, BUSINGER (1966) e PANOLFO (1966) propuseram a seguinte relação:

$$\phi_m^2 = \phi_h = \phi_v = (1 - 16R_i)^{-1/2} \quad (27)$$

4.2.2. Determinação do Deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_0)

Em gráficos $U_{(z)} \times \ln(Z - \delta)$, onde δ assume diferentes valores arbitrários (0,6 a 0,8 H), foram determinados os parâmetros d e z_0 para alguns perfis de cada dia observado. O valor do deslocamento do plano zero (d) é o valor de δ quando uma relação linear entre $U_{(z)}$ e $\ln(Z - \delta)$ é encontrada. O valor de z_0 é o valor de $Z - d$, onde a velocidade (U) é zero, e é obtida por extrapolação da reta. Um exemplo é mostrada na figura 3.

Fig. 3. Exemplo de determinação gráfica dos parâmetros d e z_0
 Horário: 9:30 h Dia 23/2 Altura da cultura = 170cm

4.2.3. Estimativa dos parâmetros de escala (U_* , T_* e e_*)

Os valores de velocidade de atrito (U_*), temperatura de escala (T_*) e tensão de vapor de escala (e_*), foram obtidos pelos gráficos $U_z \times \ln(Z - d)$, $T_z \times \ln(Z - d)$ e $e_z \times \ln(Z - d)$ respectivamente, onde foi assumido um valor médio do parâmetro d para cada dia.

Dos gráficos, obtém-se as relações:

$$\frac{\partial U}{\partial [\ln(Z-d)]} = \frac{U_*}{k} = \operatorname{tg} \alpha \quad \therefore \quad U_* = k \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (28)$$

$$\frac{\partial T}{\partial [\ln(Z-d)]} = \frac{T_*}{k} = \operatorname{tg} \beta \quad \therefore \quad T_* = k \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (29)$$

$$\frac{\partial e}{\partial [\ln(Z-d)]} = \frac{e_*}{k} = \operatorname{tg} \gamma \quad \therefore \quad e_* = k \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (30)$$

Um exemplo deste processo é mostrado na figura 4.

Fig. 4. Exemplo de determinação gráfica dos parâmetros de escala (U_* , T_* e e_*).

Horário: 10:30 h Dia 8/2 Altura da cultura = 120cm

4.2.4. Estimativa das densidades (ρ)

As densidades do ar atmosférico foram calculadas a partir da relação termodinâmica:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} \left(1 + \frac{\Delta T}{T_0} \right) \quad (31)$$

onde,

$$\rho_0 = 1,292 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \text{ a condições normais de } T_0 \text{ e } P_0$$

$$T_0 = 273^\circ \text{K} \quad P_0 = 1 \text{ atm}$$

ΔT = variação de temperatura do dia

ρ = densidade do ar atmosférico (média do dia)

4.2.5. Determinação dos fluxos

Os fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), foram determinados com auxílio das equações (23), (24) e (25).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_0)

Os valores dos parâmetros d e z_0 determinados encontram-se na tabela 1.

Análises das variações destes parâmetros, quando tomados valores médios de cada dia, mostram que aumentaram com o crescimento da cultura, concordando com resultados obtidos por LEMON (1965), estudando o comportamento de tais parâmetros em cultura de milho.

As alturas médias (H) da cultura de milho estudada foram: 120cm, nos dias 6/2 e 8/2; 170cm, nos dias 23/2 e 24/2. As relações d/H e z_0/H tiveram as seguintes variações: 0,625 (6/2) a 0,647 (23 e 24/2); 0,033 (6/2) a 0,09 (23/2) respectivamente). Estas grandezas encontradas são praticamente da mesma ordem encontradas por outros pesquisadores em milho citados na literatura (0,61 a 0,83 para d/H e 0,03 a 0,1 para z_0/H), MAKI (1975a).

Como o valor destes parâmetros, estão na dependência da geometria, elasticidade e disposição dos elementos dentro da comunidade vegetal, assim como da velocidade de vento e do gradiente térmico, torna-se muito difíceis de explicar

as suas variações "instantâneas" durante o dia. Mas considerando-se que a geometria, elasticidade e disposição das plantas não mudaram durante o período de observação, as variações mostradas na tabela 1 se devem então ao gradiente térmico e a velocidade de vento. *regime de estabilidade?*

Tabela 1. Valores determinados do deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_o), para alguns perfis, nos dias 6/2, 8/2, 23/2 e 24/2/77, na cultura de milho (*Zea mays*, L.), var. "Piranão".

DIA	HORÁRIO	d (cm)	z_o (cm)	DIA	HORÁRIO	d (cm)	z_o (cm)
6/2	11:15	100	1,5	8/2	10:30	70	9,0
6/2	11:45	100	1,5	8/2	12:30	95	3,0
6/2	12:05	55	10,0	8/2	13:00	65	7,5
6/2	12:15	70	3,7	8/2	13:30	90	3,5
6/2	12:55	60	5,5	8/2	14:00	90	4,5
6/2	13:15	100	1,5	8/2	14:30	75	8,0
6/2	13:45	65	3,7	9/2	15:30	65	5,0
6/2	14:25	65	4,5		MÉDIO	80	6,0
6/2	15:05	60	6,0				
	MÉDIO	75	4	23/2	8:30	108	8,0
				23/2	9:30	98	22,0
24/2	8:15	80	27,4	23/2	10:00	134	11,0
24/2	8:45	115	4,0	23/2	10:30	85	30,0
24/2	11:45	100	15,0	23/2	11:00	105	13,0
24/2	14:15	110	11,0	23/2	12:00	85	27,0
24/2	15:15	100	13,0	23/2	12:30	100	23,0
24/2	15:45	130	7,0	23/2	13:00	115	12,0
24/2	16:15	110	15,0	23/2	13:30	130	9,0
24/2	17:15	125	6,0	23/2	14:30	112	6,0
	MÉDIO	110	12	23/2	15:30	115	17,0
				23/2	16:00	125	15,0
					MÉDIO	110	16

O decréscimo do deslocamento do plano zero (d) e o aumento do parâmetro rugoso (z_0), com o aumento da velocidade do vento em culturas de milho, tem sido relatados (UCHIJIMA e WRIGHT, 1964; LEMON, 1965), no entanto MUNRO e OKE (1973) afirmam que esta tendência não pode ser generalizada, não sendo significativa estatisticamente. Uma vez que os parâmetros d e z_0 são características aerodinâmicas de uma comunidade vegetal uniforme, e conforme INOUE (1960), suas reais variações somente ocorrem com uma mudança substancial da grandeza dos elementos vegetais, ou sob ação de ventos muito fortes, assumiu-se um valor médio para cada dia estudado, nas estimativas dos fluxos. PASQUILL (1950), RIDER (1954 e 1957) também assumiram um valor médio para cada dia.

Embora não correlacionada com velocidade do vento, existe uma tendência do acréscimo de z_0 com o decréscimo de d , no presente estudo, quando se analisa os diferentes valores "instantâneos" no período de cada dia separadamente. A figura 5 mostra esta interdependência para o dia 8/2. MAKI (1975b) também encontrou a correlação negativa entre estes dois parâmetros, analisando a dependência das características aerodinâmicas em vários tipos de superfícies vegetadas.

Os valores do plano Z ($d + z_0$) médios dos 4 dias observados tiveram pequena variação (0,66H a 0,75H). Este plano é considerado como sorvedouro aparente de momentum (MONTEITH, 1973), e seu valor é com relação também à caracterização aerodinâmica de superfícies vegetadas.

Fig. 5. Correlação entre o deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_0), dos valores determinados do dia 8/2/77, em milho (Zea mays, L.), var. "Piranão".

5.2. Análise do Comportamento de U_* , e_* e T_*

Valores de velocidade de atrito (U_*), tensão de vapor (e_*) e temperatura de escala (T_*), estão numericamente nas tabelas 2, 3, 4 e 5 e graficamente nas figuras 6, 7, 8 e 9 respectivamente para os dias 6/2, 8/2, 23/2 e 24/2.

Analisando as tabelas e gráficos, verifica-se que as variações da velocidade de atrito (eddy velocity), estão intimamente correlacionadas com as velocidades de vento acima da cultura (U_{z1}). Os maiores valores deste parâmetro ocorreram no dia 23/2 no período das 9:30 às 10:30 horas, e os menores no dia 6/2 às 11:15 horas.

A temperatura e tensão de atrito, tem valores aleatórios, não podendo concluir que estão correlacionados com a temperatura e tensão de vapor de uma dada altura Z .

Uma análise das figuras acima citadas, observa-se uma tendência de correlação negativa entre os valores de U_* e T_* , indicando que um aumento da velocidade de atrito traz um aumento na turbulência, induzindo uma homogeneização das propriedades na atmosfera, concordando com THOM (1971). Segundo este autor, os parâmetros U_* , e_* e T_* indicam a efetividade do movimento turbulento em transferir momentum, calor sensível e calor latente.

Como o transporte de vapor d'água, é também uma função do estado fisiológico da cultura, uma correlação entre U_* e e_* não são verificados, salvo no dia 8/2, fig. 7, cujas observações experimentais foram feitas após uma precipitação de 25,4mm (7/2), que se supõem uma não limitação na evapotranspiração. Nestes dias se observa uma ligeira constância nos valores de e_* .

Tabela 2. Valores determinados de velocidade de atrito (U_*), temperatura de escala (T_*), tensão de vapor de escala (e_*), número de Richardson (R_i), fatores de correções das densidades de fluxos ($F = \phi_m \cdot \phi_v^{-1} = \phi_m - \phi_h^{-1}$) e (ϕ_m^{-2}), densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE) e respectivos valores médios em uma cultura de milho (Zea mays, L.), var. "Piranhão".

Dia: 6/2/77

Altura da cultura = 170cm

Parâmetros	U_*	T_*	e_*	R_i	F	ϕ_m^{-2}	τ	H	LE
Horário	cm.seg ⁻¹	°C	mmHg		($\phi_m \cdot \phi_v$) ⁻¹		g.cm ⁻² .seg.	x 10 ⁻³	x 10 ⁻⁸
11:15	10,25	- 0,0820	- 0,1640	- 0,1490	2,495	1,839	0,224	- 0,58	- 2,05
11:25	9,43	- 0,5125	- 0,3280	- 0,8610	7,536	3,844	0,396	- 10,12	- 11,37
11:35	6,15	- 0,1230	- 0,3075	- 0,3590	4,185	2,597	0,114	- 0,88	- 3,86
11:45	17,22	- 0,0820	- 0,2870	0,0000	1	1	0,344	- 0,39	- 2,41
11:55	16,40	- 0,0820	- 0,2870	0,0000	1	1	0,312	- 0,37	- 2,30
12:05	21,73	- 0,4715	- 0,4715	- 0,2070	2,992	2,076	1,137	- 8,52	- 14,96
12:15	14,76	- 0,2050	- 0,3280	- 0,1440	2,450	1,817	0,459	- 2,06	- 5,79
12:25	8,20	- 0,2255	- 0,3690	- 0,4380	4,760	2,830	0,221	- 2,45	- 7,03
12:35	12,71	- 0,1230	- 0,5125	- 0,0866	1,919	1,544	0,289	- 0,83	- 6,10
12:45	12,30	- 0,2665	- 0,7585	- 0,1032	2,077	1,628	0,286	- 1,89	- 9,46
12:55	17,63	- 0,4715	- 0,4715	- 0,2790	3,574	2,337	0,842	- 8,26	- 14,50
13:05	13,53	- 0,1845	- 0,2665	- 0,1850	2,807	1,990	0,422	- 1,95	- 4,94
13:15	14,35	- 0,2665	- 0,3075	- 0,0640	1,697	1,423	0,340	- 1,80	- 3,65
13:25	12,30	- 0,2460	- 0,9225	- 0,1040	2,085	1,632	0,286	- 1,75	- 11,55
13:35	8,20	- 0,0820	- 0,1845	- 0,2080	3,000	2,080	0,162	- 0,56	- 2,22
13:45	13,12	- 0,2460	- 0,2665	- 0,2390	3,255	2,196	0,438	- 2,92	- 5,55
13:55	17,22	- 0,3280	- 0,5945	- 0,1420	2,433	1,809	0,622	- 3,82	- 12,16
14:05	17,22	- 0,6765	- 1,0045	- 0,4970	5,175	2,992	1,029	- 16,76	- 43,68
14:15	23,37	- 0,1025	- 0,6355	- 0,0410	1,460	1,287	0,815	- 0,97	- 10,58
14:25	18,04	- 0,4715	- 0,8610	- 0,2211	3,108	2,130	0,804	- 7,35	- 23,56
14:35	11,48	- 0,5125	- 0,6150	- 0,7070	6,573	3,509	0,536	- 10,75	- 22,65
14:45	16,81	- 0,7380	- 0,3485	- 0,4470	4,824	2,855	0,936	- 16,64	- 13,79
14:55	15,58	- 0,3895	- 0,4920	- 0,3050	3,776	2,425	0,683	- 6,37	- 14,13
15:05	15,99	- 0,2050	- 0,0205	- 0,0740	1,796	1,478	0,438	- 1,64	- 0,29
15:15	13,12	- 0,6970	- 0,4305	- 0,7410	6,789	3,585	0,716	- 17,26	- 18,71
15:25	22,95	- 0,3895	- 0,4305	- 0,1670	2,653	1,916	1,172	- 6,60	- 12,80
	14,61	- 0,1829	- 0,4486		3,2853		0,539	- 5,14	- 10,77

H e LE - cal.cm⁻².seg⁻¹

τ - g.cm⁻².seg⁻¹

Tabela 3. Valores determinados de velocidade de atrito (U_*), temperatura de escala (T_*), tensão de vapor de escala (e_*), número de Richardson (R_i), fatores de correções das densidades de fluxos ($F = \phi_m \cdot \phi_v^{-1} = \phi_m - \phi_h^{-1}$) e (ϕ_m^{-2}), densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE) e respectivos valores médios em uma cultura de milho (Zea mays, L.), var. "Piranhão".

Dia: 8/2/77

Altura da cultura = 170cm

Parâmetros	U_z	T_*	e_*	R_i	F	ϕ_m^{-2}	τ	H	LE
Horário	cm. seg ⁻¹	°C	mmHg		($\phi_m \cdot \phi_v^{-1}$)			$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$
10:00	33,21	- 0,1040	- 0,3690	- 0,0566	1,6219	1,380	1,766	- 2,46	- 9,70
10:30	27,47	- 0,1435	- 0,3895	- 0,0326	1,3700	1,232	1,078	- 1,50	- 7,15
11:00	32,80	- 0,1834	- 0,3075	- 0,0467	1,5197	1,320	1,647	- 2,56	- 7,48
11:30	29,52	- 0,2460	- 0,5945	- 0,0737	1,8133	1,486	1,502	- 3,66	- 15,53
12:00	27,47	- 0,2255	- 0,3280	- 0,0462	1,5145	1,318	1,154	- 2,61	- 6,66
12:30	27,88	- 0,2050	- 0,3280	- 0,0335	1,3797	1,239	1,116	- 2,19	- 6,15
13:00	27,06	- 0,1435	- 0,6355	- 0,0327	1,3710	1,232	1,047	- 1,48	- 11,50
13:30	27,47	- 0,3075	- 0,2870	- 0,0707	1,7638	1,459	1,277	- 4,14	- 6,78
14:00	32,39	- 0,3280	- 0,2460	- 0,0592	1,6484	1,395	1,697	- 4,87	- 6,41
14:30	24,60	- 0,1230	- 0,2460	- 0,0422	1,4725	1,293	0,907	- 1,24	- 4,35
15:00	13,12	- 0,2050	- 0,3690	- 0,1396	2,4113	1,798	0,359	- 1,80	- 5,69
15:30	9,84	- 0,1025	- 0,2460	- 0,1288	2,3140	1,750	0,195	- 0,65	- 2,73
16:00	25,83	- 0,2050	X	- 0,0329	1,3732	1,234	0,954	- 2,04	--
16:30	26,65	+ 0,2870	- 0,2050	+ 0,0196	0,8136	0,814	0,670	+ 1,73	- 2,17
17:00	30,75	+ 0,2050	- 0,3280	+ 0,0275	0,7439	0,744	0,816	+ 1,30	- 3,66
17:30	27,06	+ 0,1025	- 0,0820	0	1	1	0,849	+ 0,77	- 1,08
18:00	18,04	+ 0,3280	- 0,3690	+ 0,1760	0,0144	0,014	0,005	+ 0,02	- 0,05
	25,95	0,2060	- 0,3330		1,3391		1,002	2,37	- 5,71

τ - g.cm⁻².seg⁻¹

H e LE - cal. cm⁻².seg⁻¹

Tabela 4. Valores determinados de velocidade de atrito (U^*), temperatura de escala (T^*), tensão de vapor de escala (e^*), número de Richardson (R_i), fatores de correções das densidades de fluxos ($F = \phi_m \cdot \phi_v^{-1} = \phi_m - \phi_h^{-1}$) e (ϕ_m^{-2}), densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), e respectivos valores médios em uma cultura de milho (Zea mays, L.), var. "Piranhão".
 Dia: 23/2/77 Altura da cultura = 170cm

Parâmetros	U_z	T^*	e^*	R_i	F	ϕ_m^{-2}	τ	H	LE
Horário	cm. seg ⁻¹	°C	mmHg		($\phi_m \cdot \phi_v^{-1}$)			$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$
8:30	16,40	- 0,7380	- 0,7790	- 0,4514	4,857	2,866	0,894	- 16,34	- 30,28
9:00	41,82	- 0,8610	- 0,6355	- 0,0786	1,842	1,503	3,049	- 18,44	- 23,90
9:30	52,07	- 0,7586	---	- 0,0123	1,144	1,092	3,435	- 12,56	---
10:00	47,15	- 0,6560	---	- 0,0052	1,062	1,040	2,683	- 9,20	---
10:30	50,43	- 0,4100	- 0,5330	- 0,0232	1,267	1,170	3,454	- 7,28	- 16,62
11:00	25,83	- 0,1025	- 0,2665	- 0,0238	1,274	1,175	0,909	- 0,94	- 4,28
11:30	23,78	0	- 0,9430	0	1	1	0,656	0	- 10,94
12:00	36,08	- 0,2050	- 0,5945	- 0,0252	1,289	1,184	1,784	- 2,65	- 13,49
12:30	32,80	- 0,2665	- 0,3895	- 0,0457	1,509	1,316	1,641	- 3,67	- 9,41
13:00	31,98	- 0,5945	- 0,2460	- 0,0306	1,348	1,219	1,446	- 7,12	- 5,17
13:30	23,37	- 0,2665	- 0,2460	- 0,0760	0,384	0,384	0,244	- 0,66	- 1,08
14:00	22,96	- 0,1640	- 0,6150	- 0,0456	1,508	1,316	0,804	- 1,58	- 10,39
14:30	11,07	+ 0,1025	- 0,3690	+ 0,1086	0,209	0,209	0,149	+ 0,07	- 0,42
15:00	29,93	0	- 0,2460	0	1	1	1,039	0	- 3,59
15:30	34,03	0	- 0,2050	0	1	1	1,343	0	- 3,40
16:00	39,77	- 0,1230	- 0,7790	0	1	1	1,835	- 1,36	- 15,12
	32,47	0,3280	- 0,4890		1,356		1,585	- 6,59	- 10,57

τ - g.cm⁻².seg⁻¹

H e LE - cal.cm⁻².seg⁻¹

Tabela 5. Valores determinados de velocidade de atrito (U^*), temperatura de escala (T^*), tensão de vapor de escala (e^*), número de Richardson (R_i), fatores de correções das densidades de fluxos ($F = \phi_m \cdot \phi_v^{-1} = \phi_m^{-1} \phi_h^{-1}$) e (ϕ_m^{-2}), densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE) e respectivos valores médios em uma cultura de milho (Zea mays, L.), var. "Piranhão".

Dia: 24/2/77 Altura da cultura = 170cm

Parâmetros	U_z	T^*	e^*	R_i	F	ϕ_m^{-2}	τ	H	LE
Horário	cm.seg ⁻¹	°C	mmHg		($\phi_m \cdot \phi_v^{-1}$)			x 10 ⁻³	x 10 ⁻³
8:15	21,73	-0,6765	-0,5125	-0,2871	3,637	2,365	1,306	-15,02	-19,93
8:45	10,25	-0,9635	-0,7995	-1,6100	9,306	4,423	0,542	-25,82	-37,52
9:15	13,53	-1,3325	-0,8200	-0,9950	8,342	4,113	0,880	-42,26	-45,54
9:45	13,12	-0,6765	-0,3280	-0,7461	6,821	3,595	0,794	-17,01	-14,44
10:15	15,99	-0,9635	-1,0660	-0,3273	3,946	2,496	0,747	-17,08	-33,09
10:45	17,76	-1,2505	-0,8200	-0,9476	8,060	4,020	1,024	-41,80	-47,99
11:15	18,86	-0,2665	-0,5535	-0,1557	2,554	1,868	0,778	-3,61	-13,12
11:45	17,63	-0,7175	-0,5330	-0,2100	3,017	2,088	0,758	-10,72	-13,95
12:15	25,83	-0,4715	-0,5535	-0,1082	2,124	1,651	1,289	-7,17	-14,94
12:45	21,73	-0,5330	-0,2255	-0,2249	3,140	2,143	1,184	-10,22	-7,57
13:15	32,80	-0,3075	-0,8610	-0,2017	2,948	2,056	2,588	-8,36	-40,96
13:45	22,14	-0,2050	-0,6765	-0,0587	1,643	1,392	0,799	-2,09	-12,10
14:15	18,04	-0,1640	-1,0250	-0,0957	2,006	1,590	0,605	-1,67	-18,25
14:45	34,85	-0,2870	-0,3690	-0,0346	1,391	1,245	1,769	-3,91	-8,80
15:15	25,83	-0,5535	-0,4305	-0,1467	2,475	1,831	1,429	-9,94	-13,50
15:45	21,32	-0,5330	-0,2255	-0,0634	1,690	1,418	0,754	-5,40	-3,99
16:15	29,93	-0,5740	-0,7380	-0,1199	2,233	1,708	1,790	-10,78	-24,26
16:45	20,50	-0,7175	-0,7790	-0,5386	5,461	3,101	1,525	-22,57	-42,90
17:15	24,19	X	-0,5330	0	1	1	0,685	-	-6,34
21,21	-0,5891	-0,6236	3,7786	1,118	-15,45	-22,06			

τ - g.cm⁻².seg⁻¹

H e LE - cal.cm⁻².seg⁻¹

Fig. 6. Comportamento da velocidade de atrito (eddy velocity) U_* , temperatura de escala (T_*) e tensão de vapor de escala (e_*) em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Piranão".

Dia: 6/2/77

Altura da cultura = 120cm

U_* —○—

e_* —●—

T_* ---▲---

Fig. 7. Comportamento da velocidade de atrito (eddy velocity) U_* , temperatura de escala (T_*) e tensão de vapor de escala (e_*) em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Piranão".

Dia: 8/2/77

Altura da cultura = 120cm

U_* —○—

e_* —•—

T_* ---▲---

Fig. 8. Comportamento da velocidade de atrito (eddy velocity) U_* , temperatura de escala (T_*) e tensão de vapor de escala (e_*) em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Piranão".

Dia: 23/2/77

Altura da cultura = 170cm

U_* —○—

e_* —•—

T_* - -△- -

Fig. 9. Comportamento da velocidade de atrito (eddy velocity) U_* , temperatura de escala (T_*) e tensão de vapor de escala (e_*) em uma cultura de milho (Zea mays, L.). variedade "Piranão".

Dia: 24/2/77

Altura da cultura = 170cm

U_* —○—

e_* —●—

T_* ---▲---

5.3. Densidades de Fluxos

As densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), foram calculadas com as equações (23), (24) e (25). Os resultados "instantâneos" encontram-se numericamente nas tabelas 2, 3, 4 e 5 e graficamente nas figuras 10, 11, 12 e 13.

Numa análise das referidas tabelas, verifica-se através do número de Richardson, que mais acentuadamente nos dias 6/2 e 24/2 predominou um regime de instabilidade, em grande parte do período de observação, implicando na necessidade de correções nas estimativas dos fluxos. Nas referidas tabelas encontram-se também os fatores de correção F e ϕ_m^{-2} provenientes dos números de Richardson.

Analisando graficamente o comportamento das densidades de fluxos, verifica-se que os mesmos, em termos médios tiveram uma variabilidade semelhante. Este fato poderia levar a concluir que, a turbulência, representada pela velocidade de atrito, seria a maior responsável pela ordem de grandeza das densidades de fluxos. Mas analisando as equações (23), (24) e (25), observa-se que esta conclusão pode ser válida somente em caso de atmosfera neutra. Como no presente estudo, a instabilidade foi predominante, pode-se concluir que em muitos períodos a função de correção dos fluxos foi a maior responsável pela magnitude dos transportes. Este fato pode ser observado nos resultados obtidos no dia 6/2, quanto à velocidade de atrito e portanto a turbulência, permaneceu sem grandes variações (fig. 6), o acréscimo dos fluxos "instantâneos" foi devido ao regime de instabilidade crescente na atmosfera, ou em outras palavras, um aumento do efeito do maior gradiente térmico (convecção livre).

Da mesma forma, no dia 8/2 e 23/2, nos quais a atmosfera em um regime de estabilidade mais próximo da neutra-

lidade, conforme valores de R_i e F (tabelas 3 e 4), a turbulência ou a convecção forçada foi a maior responsável no transporte das propriedades, conforme verifica-se na análise comparativa das figuras 7 com 11 (8/2) e 8 com 12 (23/2).

No dia 24/2 as análises conjuntas das figuras 9 e 13 e a tabela 5, revelam períodos de grande instabilidade atmosférica predominante, com efeito grandes correções nas densidades de fluxos.

Uma análise espectral das figuras 10, 11, 12 e 13, observa-se a sensibilidade do sistema de medidas e as frequências de observações utilizadas na metodologia.

As variações máximas e o valor médio das densidades de fluxos, e valores totais de fluxos, para cada dia observado, estão contidas na tabela 6.

Tabela 6. Valores máximos, mínimos e médios das densidades de fluxos dos dias 6/2, 8/2, 23/2 e 24/2 e fluxos totais diários de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE).

DIAS		6/2	8/2	23/2	24/2
Momentum (τ) $g \cdot cm^{-2} \cdot seg^{-1}$ $g \cdot cm^{-2}$	Max	1,172	1,766	3,454	2,588
	Min	0,114	0,005	0,149	0,542
	Médio	0,539	1,002	1,585	1,118
	Total	8.408	30.660	45.648	38.235
Calor sensível (H) $cal \cdot cm^{-2} \cdot seg^{-1}$ $cal \cdot cm^{-2}$	Max	17,26	4,87	18,44	41,80
	Min	0,37	+0,02	0	1,67
	Médio	5,14	1,609	5,10	15,45
	Total	80.183	49.235	146.880	528.390
Calor latente (LE) $cal \cdot cm^{-2} \cdot seg^{-1}$ $cal \cdot cm^{-2}$	Max	$43,68 \times 10^{-3}$	$15,53 \times 10^{-3}$	$30,28 \times 10^{-3}$	$47,99 \times 10^{-3}$
	Min	$0,29 \times 10^{-3}$	$0,05 \times 10^{-3}$	$0,42 \times 10^{-3}$	$3,99 \times 10^{-3}$
	Médio	$10,77 \times 10^{-3}$	$5,71 \times 10^{-3}$	$10,57 \times 10^{-3}$	$22,06 \times 10^{-3}$
	Total	168.012	174.726	304.416	754.452

Observando os valores totais, verifica-se que os fluxos totais foram superestimados, notadamente para os resultados do dia 24/2/77. Como o tamanho da bordadura não foi igual em todas as direções, uma mudança na direção do vento, pode ser causado uma advecção levando desta forma a uma superestimação dos resultados. Este fenômeno ocorreu também com estudos feitos por BROOKS et alii (1966).

Fig. 10. Comportamento das densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Pirranão".

Dia: 6/2/77

Altura da cultura = 120cm

δ —○—

H ---▲---

LE —●—

Fig. 11. Comportamento das densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Pi ranão".

Dia: 8/2/77

Altura da cultura = 120cm

τ —○—

H ---▲---

LE —●—

Fig. 12. Comportamento das densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), em uma cultura de milho (*Zea mays*, L.), variedade "Pirranão".

Dia: 23/2/77

Altura da cultura = 170cm

τ —○—

H —▲—

LE —●—

Fig. 13. Comportamento das densidades de fluxos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), em uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Pirarã".

Dia: 24/2/77

Altura da cultura = 170cm

τ —○—

H —▲—

LE —●—

6. CONCLUSÕES

1) Os valores de d e z_0 aumentaram com o crescimento da cultura, passando de 75 e 4cm para 110 e 15cm respectivamente;

2) No presente estudo as variações das relações d/H e z_0/H foram de $\approx 0,625$ a $0,647$ e $0,033$ a $0,09$ respectivamente;

3) Em termos de valores "instantâneos" observou-se uma tendência de correlação negativa entre d e z_0 ;

4) Houve uma correlação positiva entre velocidade de atrito e a velocidade do vento acima da cultura, mas a temperatura e tensão de vapor de atrito tiveram comportamento aleatório;

5) As densidades de fluxos das propriedades (momentum, calor sensível e calor latente) tiveram comportamentos semelhantes;

6) A magnitude das densidades de fluxos foram controlados pelo estado da atmosfera, e os maiores valores fo

ram encontrados quando o regime de instabilidade foi predominante, e maiores instabilidades ocorreram a velocidade de vento menores;

7) A função de correlação F sofreu uma variação de 0,209 para o caso de estabilidade até 9,306 para o caso de instabilidade atmosférica.

7. SUMMARY

The transfers of properties such as momentum, sensible heat, latent heat and carbon dioxide in the surface boundary layer generally occur through turbulence, and one of the methods for measurement of fluxes of such properties is the aerodynamic method.

In the present study this methodology was used for the determination of flux density of momentum, sensible heat and latent heat on two days in two vegetative phases of a corn crop, var. "Piranão".

During 10 minutes out of every 30 minutes measurements were taken of wind velocity, dry and wet temperature, at four levels above the crop: 20, 100, 180 and 260 cm. A wind profile system, mod. 106, C.W. Thornthwaite Associates, with accuracy for 1% and psychrometers with copper constantan thermocouples no. 24 AWG was utilized.

Values for the zero-plane displacement (d) and roughness parameter (Z_0) were determined by graphic process ($U_z \times \ln(z - d)$), and the mean value for these parameters was determined.

ned for each day studied. The values of zero-plane displacement (d) ranged from $0.625 H$, $0.647 H$, where H is the mean crop height, and the roughness parameter (Z_o) values ranged from $0.033 H$ to $0.09 H$.

The atmospheric stability was characterized through the Richardson number (R_i) between 20 and 180 cm and the flux density was corrected through F , using the empirical forms $(1 - 16 R_i)^{3/4}$ for the unstable cases and $(1 + 5 R_i)^2$ for the stable cases. The values obtained for F varied from 0.2 to 9.3.

8. LITERATURA CITADA

BROOKS, F.A. e W.O.PRUITT, 1966. Investigation of energy, momentum and mass transfer near the ground. Final Report, USAEC. Grant Nº DA - AMC - 28-043-65-G12. University of California, Davis, California. AD.635 588:37-63.

DEACON, E.L., 1949. Vertical diffusion in the lowest layers of the atmosphere. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 75: 89-103.

DEACON, E.L., 1953. Vertical profiles of mean wind in the surface layer of the atmosphere. Geophysical mem.. London, 91:12-25.

DYER, A.J. e B.B.HICKS, 1970. Flux gradient relationships in the constant flux layer. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 96:715-721.

INOUE, E., 1960. Studies of phenomena of waving plants. ("Honami") caused by wind. Part 6. In: Methods of artificially controlling the waving plants phenomena. J. Agr. Met.. Japan, Tokyo, 16:83-84.

LEMON, E.R., 1960. Photosynthesis under field conditions. II. An aerodynamic method for determining the carbon dioxide exchange between the atmosphere on a corn field. Agron. J..

Wisconsin, 52:697-703.

LEMON, E.R., 1965. Micrometeorology and the physiology of plants in their natural environment: Chapter II. In: Plant Physiology, IV.A. Academic Press Inc.. New York, 203-227.

MAKI, T., 1975a. Interrelationships between zero-plane displacement, aerodynamic roughness length and plant canopy height. J. Agr. Met.. Japan, Tokyo, 31(2):7-15.

MAKI, T., 1975b. Wind profile parameters of various canopies as influenced by wind velocity and stability. J. Agr. Met. Japan, Tokyo, 31(2):61-70.

MONTEITH, J.L. e G.SZEICZ, 1960. The carbon dioxide flux over a field of sugar beet. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 86:205-214.

MONTEITH, J.L., 1973. Momentum transfer. Chapter 6. In: Principles of environmental physics. William Clomes & Sons. London, 79-99.

MUKAMMAL, E.I., K.M.KING e H.F.CORK, 1966. Comparison of aerodynamic and energy budget techniques in estimating evapotranspiration from a corn field. Arch. Met. Geophys. Bioklimatol. Series B.14:384-395.

MUNRO, D.S. e T.R.OKE, 1973. Estimating wind profiles parameter for tall dense crops. Agric. Met.. Amsterdam, The Netherlands, 11:223-228.

PASQUILL, F., 1950. Some further considerations of the measurements and indirect evaluation of natural evaporation. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 76:287-301.

PRIESTLEY, C.H.B., 1955. Free and forced convection in the atmosphere near the ground. Quart. J. R. Met. Soc..

- London, 81:139-143.
- PRIESTLEY, C.H.B., 1959. Turbulent transport in the lower atmosphere. Un. Chicago Press. Chicago. 130 pp.
- PRUIT, W.O., D.L.MORGAN e F.J.LOURENCE, 1973. Momentum and mass transfer in the surface boundary layer. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 99:370-386.
- RIDER, N.E., 1954. Evaporation from oat field. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 80:198-211.
- RIDER, N.E., 1957. Water losses from various land surfaces. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 83:181-193.
- ROSE, C.W., 1969. The physical environment of agriculture. Part II. In: Agricultural Physics. The camelot Press Limited. London, 30-68.
- SANTOS, J.M., K.REICHARDT, A.DECICO e A.S.OLIVEIRA, 1976. Alguns estudos de arquitetura de plantas em milho (Zea mays, L.), var. "Piranão". XI Reunião Brasileira de Milho e Sorgo. Piracicaba. 10 pp.
- SUTTON, D.O., 1953. The atmosphere in motion (2). Turbulent flux. Chapter 3. In: Micrometeorology. Mc Graw-Hill Book Co.. New York, 56-104.
- SWINBANK, W.C. e A.J.DYER, 1967. An experimental study in micrometeorology. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 93:494-500.
- TANNER, C.B., 1966. Comparison of energy balance and mass transport methods for measuring evaporation. Am. Soc. Agric. Eng.. Michigan, 45-48.
- TENNEKES, H., 1973. The logarithmic wind profile. J. Atm. Sci. . Boston, 30:234-238.

- THOM, A.S., 1971. Momentum absorption by vegetation. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 97:414-428.
- THOM, A.S., 1972. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 98:124-134.
- THOM, A.S., 1975. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Vegetation and the atmosphere. Academic Press. London, 1:57-109.
- UCHIJIMA, Z. e WRIGHT, J.L., 1964. An experimental study of air flow in a corn plant-air layer. Bull. of the Nat. Inst. Agric. Sci.. Tokyo, 11, 66 pp.
- UCHIJIMA, Z., 1972. Micrometeorology of cultivated fields. In: Agricultural meteorology of Japan. Un. Tokyo Press. Tokyo, 44-48.
- UCHIJIMA, Z., 1976. Maize and rice. In: Vegetation and the atmosphere. (2):33-63.
- WEBB, E.K., 1965. Aerial microclimate, chapter II. In: Meteorological Monographs. An. Met. Soc.. Boston, 6(28): 27-58.

A P Ê N D I C E

Tabela 7. Valores medidos de velocidade de vento (U_z), temperatura seca (T_s), temperatura úmida (T_u) e determinados de tensão de vapor d'água (e_z) sobre uma cultura de milho (*Zea mays*, L.), variedade "Piranão".

Dia: 6/2/77

Altura da cultura = 120cm

Alturas (z)	Elementos	Horário														
		11:15	11:25	11:35	11:45	11:55	12:05	12:15	12:25	12:35	12:45	12:55	13:05	13:15	13:25	
380 cm	Uz cm/s	147,20	123,23	105,12	195,25	166,25	216,25	168,25	108,94	165,25	162,75	198,25	150,00	160,97	161,75	
	Ts °C	31,50	31,50	33,00	32,00	32,00	31,50	30,50	31,50	32,25	33,30	32,35	33,00	34,00	34,50	
	Tu °C	27,75	28,00	28,00	27,50	27,50	26,75	25,75	26,50	26,75	27,00	27,25	26,50	27,25	26,25	
	c	25,78	26,33	25,47	24,95	24,95	23,64	22,12	23,11	22,16	23,33	23,99	22,25	23,28	20,88	
300 cm	Uz	135,21	114,81	96,71	178,50	151,02	200,25	154,60	100,53	156,2	151,28	185,02	138,00	145,49	150,77	
	Ts °C	31,50	31,50	33,00	32,25	32,25	31,50	30,50	31,50	32,25	33,30	33,00	33,00	34,50	34,50	
	Tu °C	27,75	28,00	28,00	28,00	28,00	26,75	25,75	26,50	26,50	27,50	27,50	27,00	27,50	27,00	
	c	25,78	26,33	25,47	25,90	25,90	23,64	22,12	23,11	22,68	24,12	24,40	23,32	23,55	22,46	
220 cm	Uz cm/s	126,03	104,10	88,80	164,75	132,66	175,00	140,06	90,59	143,12	140,36	165,25	119,15	135,72	140,82	
	Ts °C	31,50	32,75	33,25	32,25	32,25	33,00	31,00	32,00	32,50	33,75	34,25	33,50	34,75	34,75	
	Tu °C	27,75	28,75	28,25	28,00	28,00	27,50	26,00	27,00	27,00	28,00	28,00	27,50	28,00	28,00	
	c	25,78	23,31	25,43	25,90	25,90	24,40	22,36	23,89	23,60	25,37	24,78	24,12	25,50	24,36	
140 cm	Uz	105,89	87,53	77,84	129,09	104,36	134,45	112,26	76,31	117,62	116,39	132,66	100,79	104,87	115,83	
	Ts °C	31,75	32,75	33,25	32,25	32,25	33,25	31,00	32,00	32,50	33,75	34,50	33,50	34,75	34,75	
	Tu °C	28,00	29,00	28,50	28,25	28,25	28,00	28,50	27,25	27,25	28,00	28,50	27,50	28,00	28,50	
	c	26,19	27,88	26,47	26,44	26,44	25,36	23,39	24,14	24,15	26,19	25,76	24,12	24,50	25,33	
100 cm	Uz cm/s	67,38	58,20	55,65	87,25	77,07	92,12	66,11	99,53	69,42	69,93	83,18	70,19	62,28	68,91	
	Ts °C	31,75	32,00	31,50	32,25	32,25	33,50	32,00	32,00	32,50	33,75	33,00	33,00	35,00	33,50	
	Tu °C	28,00	29,00	29,00	28,50	28,50	28,50	27,00	27,50	27,50	28,50	28,50	27,50	28,50	28,00	
	c	26,19	28,31	28,60	26,97	27,02	26,33	23,89	24,97	24,69	26,19	26,51	24,40	25,47	25,21	
Alturas (z)	Elementos	13:35	13:45	13:55	14:05	14:15	Horário		14:25	14:35	14:45	14:55	15:05	15:15	15:25	Média
380 cm	Uz cm/s	108,18	147,20	216,75	150,26	155,87	199,75	141,84	187,75	165,00	162,00	135,21	219,00	162,24		
	Ts °C	34,50	33,75	33,75	34,50	31,75	34,75	34,25	34,75	34,00	34,00	34,75	33,25	-		
	Tu °C	28,00	27,75	27,25	26,25	26,00	26,25	27,25	27,00	27,75	28,50	27,25	27,75	-		
	c	24,64	24,52	23,42	20,87	21,93	20,73	23,14	22,32	23,28	21,04	22,85	23,71	-		
300 cm	Uz	101,81	138,78	203,25	136,49	139,55	184,00	129,09	167,00	146,43	147,20	115,32	193,75	142,65		
	Ts °C	34,50	33,75	33,75	34,50	31,75	34,75	34,25	34,75	34,25	34,00	34,75	33,25	-		
	Tu °C	28,00	27,25	27,75	26,25	26,00	23,00	27,75	27,50	27,50	28,50	27,75	27,50	-		
	c	24,64	25,60	24,52	20,87	21,93	22,32	24,23	23,41	23,69	26,04	22,85	24,26	-		
220 cm	Uz	94,16	123,23	182,00	118,13	115,58	164,50	115,32	146,94	128,33	113,17	96,71	166,00	132,65		
	Ts °C	34,50	34,25	34,50	36,25	32,00	36,00	35,25	36,50	35,00	31,25	36,25	34,00	-		
	Tu °C	28,00	28,50	28,00	27,75	26,75	28,25	28,50	28,00	28,00	28,75	28,00	28,00	-		
	c	24,64	25,90	24,64	23,09	23,34	24,32	25,62	23,79	24,36	26,05	23,65	24,93	-		
140 cm	Uz	77,07	98,75	151,28	94,16	83,70	130,37	93,65	119,40	100,80	105,85	78,35	126,03	106,23		
	Ts °C	34,75	34,50	34,50	36,25	32,00	36,00	36,00	36,75	35,50	34,25	26,75	34,75	-		
	Tu °C	28,25	28,75	28,50	28,25	27,00	28,50	29,00	28,50	28,50	28,75	28,50	28,50	-		
	c	25,18	26,33	25,76	24,18	23,89	24,90	26,05	24,47	25,19	26,05	24,48	25,62	-		
100 cm	Uz	52,85	66,36	97,22	53,36	61,01	72,99	64,07	77,84	68,40	76,21	57,18	66,00	69,65		
	Ts °C	34,00	33,75	34,00	36,00	31,50	35,50	35,50	36,00	35,50	34,00	37,00	34,50	-		
	Tu °C	28,25	28,75	28,50	28,25	27,00	28,50	29,00	29,00	28,50	28,75	29,00	28,50	-		
	c	25,46	26,75	26,04	24,32	24,17	25,19	26,33	26,05	25,19	26,61	25,48	25,76	-		
Altura da altura: 120 cm																
Data: 06/02/77																

Altura da cultura: 120 cm

Data: 06/02/77

Tabela 8. Valores medidos de velocidade de vento (U_z), temperatura seca (T_s), temperatura úmida (T_u), e determinados de tensão de vapor d'água (e_z) sobre uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Piranão".

Dia: 8/2/77

Altura da cultura = 120cm

Alturas (cm)	Elementos	Horário								
		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00
380	Uz	285,00	283,77	349,00	359,17	365,00	287,78	290,50	270,02	314,25
	Ts	27,75	28,75	29,00	30,25	30,50	31,75	32,25	33,75	33,00
	Tu	26,00	25,75	26,25	26,00	25,00	26,00	26,00	26,50	25,75
	e	24,21	23,12	24,01	22,79	20,61	21,93	21,65	21,83	20,70
300	Uz	250,00	254,51	289,16	29,500	299,00	263,02	267,50	245,51	284,66
	Ts	28,50	28,75	29,00	29,75	30,50	32,00	32,25	33,75	33,00
	Tu	26,25	25,75	26,50	26,00	25,00	26,25	26,50	26,50	25,75
	e	24,30	23,12	24,53	23,07	20,62	22,30	22,68	21,83	20,70
220	Uz	194,58	223,76	228,00	247,01	252,00	235,51	239,17	218,76	250,25
	Ts	28,75	29,00	29,50	30,50	31,00	32,25	32,25	34,50	33,75
	Tu	26,50	26,00	27,00	26,50	25,25	26,50	27,00	27,00	26,00
	e	24,68	23,65	25,31	23,68	20,83	22,68	23,7	22,46	20,79
140	Uz	142,95	165,48	183,91	202,75	207,58	175,49	179,00	160,66	181,42
	Ts	29,00	29,25	30,00	31,00	31,25	32,50	32,75	34,75	34,25
	Tu	27,00	26,50	27,25	27,50	26,00	26,75	27,50	27,25	26,50
	e	25,60	24,39	25,56	25,54	22,22	23,07	24,55	22,85	21,54
100	Uz	86,59	89,79	87,70	100,75	99,51	76,74	83,43	73,74	86,42
	Ts	29,50	30,00	30,00	30,25	30,75	31,50	31,50	35,00	34,25
	Tu	27,50	27,00	27,25	27,50	26,50	26,50	27,00	27,50	26,50
	e	26,40	25,03	25,56	25,97	23,54	23,11	24,17	23,26	21,54
Alturas (cm)	Elementos	14:30	15:00	15:30	Horário		17:00	17:30	18:00	Média
380	Uz	240,51	137,51	95,66	276,83	262,27	303,58	254,51	160,71	266,83
	Ts	33,75	31,25	31,50	30,00	29,00	29,50	29,25	32,25	
	Tu	26,25	25,25	25,5	26,25	25,25	25,75	25,50	27,50	
	e	21,30	20,69	20,57	23,46	21,97	22,69	22,33	24,83	
300	Uz	217,75	126,37	90,56	249,75	237,76	271,00	228,25	142,18	236,00
	Ts	33,50	31,25	31,50	30,00	28,75	29,50	29,00	32,00	
	Tu	26,25	25,25	25,25	26,25	25,25	25,75	25,50	26,50	
	e	21,44	20,69	20,57	23,44	22,11	22,98	22,47	22,82	
220	Uz	190,99	108,86	78,58	213,50	204,25	229,50	193,74	118,04	201,56
	Ts	33,75	31,75	31,75	30,50	29,00	29,00	29,00	32,25	
	Tu	26,50	25,50	25,50	26,25	25,25	25,75	25,50	27,25	
	c	21,83	20,90	20,90	23,16	21,97	22,98	22,47	24,28	
140	Uz	140,01	83,45	58,96	161,22	156,33	173,92	146,38	88,05	149,88
	Ts	34,00	31,75	31,75	30,50	28,50	29,00	29,00	31,00	
	Tu	26,75	26,00	25,50	26,25	25,50	26,25	25,50	27,25	
	e	22,22	21,93	20,90	23,16	22,76	24,01	22,47	25,00	
100	Uz	69,15	43,50	33,20	91,52	85,98	95,94	80,88	47,85	78,97
	Ts	35,00	31,25	31,00	30,50	28,50	28,50	28,75	31,00	
	Tu	26,75	25,50	25,50	25,75	25,50	25,50	25,25	26,75	
	c	21,65	21,19	21,33	22,12	22,76	22,76	22,11	23,92	

Tabela 9. Valores medidos de velocidade de vento (U_z), temperatura seca (T_s), temperatura úmida (T_u) e determinados de tensão de vapor d'água (e_z) sobre uma cultura de milho (*Zea mays*, L.), variedade "Piranão".

Dia: 23/2/77

Altura da cultura = 170cm

Alturas (cm)	Elementos	Horário								
		8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30
420	Uz	139,80	279,50	374,25	364,00	368,25	205,25	202,25	248,00	219,50
	Ts	27,25	27,00	28,75	28,00	29,50	31,00	32,00	32,00	33,75
	Tu	23,00	23,25	23,00	23,00	24,00	24,00	24,75	24,50	25,00
	e	18,62	19,22	17,76	18,19	19,21	18,35	19,23	18,74	18,88
340	Uz	132,41	239,75	330,50	329,50	325,75	185,25	182,25	222,75	195,50
	Ts	27,25	28,00	29,25	29,00	29,50	31,00	32,00	32,00	34,00
	Tu	23,00	23,50	23,00	23,00	24,00	24,00	24,75	25,00	25,50
	e	18,62	19,12	17,47	17,61	19,21	18,35	19,23	19,77	19,62
260	Uz	115,07	191,00	276,75	285,75	280,25	159,69	154,34	182,75	158,93
	Ts	28,50	28,50	29,75	29,25	30,25	31,25	32,00	32,50	34,50
	Tu	23,75	23,50	23,00	23,00	24,75	24,25	25,00	25,50	26,00
	e	19,30	18,83	17,18	17,47	20,24	18,69	19,73	20,48	20,31
180	Uz	84,47	125,01	185,50	172,25	177,50	111,75	116,38	121,95	104,10
	Ts	29,25	30,00	29,75	29,25	30,50	31,25	32,00	32,50	34,75
	Tu	25,00	25,00	23,00	23,25	25,25	24,50	26,00	25,00	26,25
	e	21,31	20,88	17,18	17,92	21,08	19,17	21,75	21,50	20,68
140	Uz	41,63	70,59	87,78	90,33	89,57	72,48	72,74	80,39	67,64
	Ts	29,25	31,50	31,75	30,00	31,00	32,00	32,25	33,25	35,00
	Tu	25,00	25,00	25,75	25,00	25,50	25,00	26,50	26,50	27,00
	e	21,31	20,02	21,37	20,88	19,89	19,73	22,65	22,07	22,13
Alturas (cm)	Elementos	Horário								
		13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Média	
420	Uz	250,25	181,50	189,00	104,36	217,50	228,00	243,75	238,42	
	Ts	33,75	32,50	32,00	32,00	33,00	31,25	31,75		
	Tu	24,75	25,50	24,25	24,75	25,25	25,00	25,00		
	c	18,23	20,44	18,30	19,23	19,65	20,16	19,87		
340	Uz	221,75	166,25	176,50	96,45	191,25	203,75	216,00	213,54	
	Tu	34,25	32,50	32,00	32,00	33,00	31,25	30,50		
	Ts	24,75	25,75	24,26	24,75	25,25	25,00	25,00		
	c	17,94	20,94	18,30	19,28	19,65	20,16	20,59		
260	Uz	189,50	141,84	153,57	83,70	185,87	161,75	164,50	178,45	
	Ts	34,75	33,00	32,00	32,00	33,00	31,25	30,50		
	Tu	25,00	26,00	24,50	25,00	25,50	25,25	25,75		
	c	18,44	21,18	18,8	19,77	20,19	20,65	22,09		
180	Uz	130,62	95,18	101,45	62,03	104,36	104,36	96,71	118,48	
	Ts	34,75	33,25	32,50	31,75	33,00	31,25	30,50		
	Ts	25,25	26,00	25,50	25,25	25,50	25,25	26,00		
	c	18,64	21,03	20,48	20,40	20,19	20,65	22,62		
140	Uz	79,11	63,05	52,85	40,10	68,91	61,52	58,71	68,61	
	Ts	35,75	33,00	32,50	31,85	33,25	31,50	30,50		
	Tu	26,50	26,25	25,25	25,09	26,00	25,00	25,00		
	c	20,63	21,69	19,93	19,87	21,03	20,02	20,59		

Tabela 10. Valores medidos de velocidade de vento (U_z), temperatura seca (T_s), temperatura úmida (T_u) e determinados de tensão de vapor d'água (e_z) sobre uma cultura de milho (Zea mays, L.), variedade "Piranão".
Dia: 24/2/77 Altura da cultura = 170cm

Alturas (cm)	Elementos	8:15	8:45	9:15	9:45	Horário		11:15	11:45	12:15	12:45
420	Uz	164,50	102,32	122,75	131,13	144,65	130,11	159,18	141,84	212,75	193,75
	Ts	24,00	24,00	26,50	28,25	27,75	28,00	29,50	29,50	30,25	31,75
	Tu	22,00	21,75	23,00	24,00	22,50	23,25	23,75	24,00	23,75	24,00
	e	18,68	18,23	19,05	19,93	17,42	18,64	18,73	19,21	18,30	17,92
340	Uz	144,65	94,67	109,20	118,89	135,72	121,70	147,71	127,56	198,75	173,50
	Ts	24,00	25,00	28,50	28,25	28,50	28,00	29,50	31,00	30,75	31,75
	Tu	22,00	21,75	24,00	24,00	23,50	23,25	23,75	24,50	23,75	25,25
	e	18,68	17,66	19,78	19,93	18,83	18,64	18,73	18,31	18,00	20,37
260	Uz	121,44	85,74	98,75	106,91	121,95	108,12	132,15	110,99	166,00	148,98
	Ts	24,75	25,75	28,75	29,50	29,50	30,25	30,00	31,75	31,00	32,25
	Tu	22,50	22,00	25,00	24,75	24,00	24,00	24,50	24,75	24,00	25,50
	e	19,14	17,67	21,60	20,67	19,21	18,78	19,90	19,39	18,35	20,62
180	Uz	84,21	64,83	71,46	81,66	87,02	78,09	90,08	78,08	121,80	115,07
	Ts	26,00	27,75	31,25	30,25	30,00	31,50	30,50	32,00	32,00	33,25
	Tu	23,50	23,75	26,00	25,00	25,25	25,00	25,00	25,50	25,00	26,00
	c	20,27	19,74	22,19	20,74	21,37	20,05	20,62	20,79	19,77	21,07
140	Uz	51,83	37,04	43,67	48,00	57,69	48,26	53,36	45,96	79,11	61,26
	Ts	25,75	27,25	30,00	30,25	29,50	32,25	31,00	32,50	33,25	34,25
	Tu	23,50	23,50	25,50	25,00	25,00	26,50	26,50	26,25	24,75	27,75
	e	20,41	19,55	21,89	20,74	21,17	22,65	23,37	21,98	18,51	24,19
Alturas (cm)	Elementos	13:15	13:45	14:15	14:45	Horário		16:15	16:45	17:15	Média
420	Uz	252,50	180,75	141,33	277,75	212,50	159,95	223,25	160,20	202,75	174,23
	Ts	32,75	31,00	30,75	32,25	31,75	31,50	33,25	32,50	30,50	
	Tu	25,00	25,75	24,75	25,75	25,75	25,00	25,25	25,00	24,00	
	c	19,29	21,81	19,95	21,08	21,37	20,02	19,50	19,44	18,64	
340	Uz	218,50	168,25	126,80	235,25	193,50	145,67	201,75	138,27	181,00	156,91
	Ts	31,00	31,00	31,75	32,25	32,00	32,00	33,25	32,50	30,50	
	Tu	25,25	26,05	25,50	25,75	26,00	25,50	25,25	25,00	24,00	
	c	20,80	22,36	20,87	21,08	21,85	20,76	19,50	19,44	18,64	
260	Uz	181,00	148,47	110,22	186,75	164,50	129,86	177,00	114,05	156,63	135,24
	Ts	33,00	31,50	32,00	32,75	33,25	33,25	34,25	33,75	30,50	
	Tu	26,00	26,25	26,00	26,00	26,75	25,75	25,75	26,00	24,00	
	c	21,18	22,50	21,75	21,32	22,17	20,55	19,93	20,75	18,64	
180	Uz	134,96	102,06	75,00	129,86	121,19	82,17	115,58	81,66	109,97	96,03
	Ts	33,75	31,50	32,25	33,00	33,50	33,50	35,00	35,00	30,50	
	Tu	27,00	27,00	27,00	26,50	27,00	26,00	26,75	27,00	24,75	
	c	22,85	24,15	23,71	22,22	23,00	20,89	21,60	22,13	20,13	
140	Uz	78,60	63,30	54,38	83,96	66,62	47,24	62,54	54,12	74,52	58,49
	Ts	34,50	31,50	33,00	33,50	34,00	33,50	36,00	36,25	30,50	
	Tu	28,00	27,50	27,50	27,00	28,00	27,00	27,50	27,25	25,00	
	c	24,61	25,24	24,37	23,00	24,90	23,00	22,64	21,96	20,88

Fig. 15. Perfis de velocidade do vento em milho (Zea mays, L.)
 Altura da cultura (H) = 120cm
 Dia 8/2/77

Fig. 16. Perfis de velocidade do vento em milho (Zea mays, L.)
 Dia 23/2/77 Altura da cultura (H) = 170cm

Fig. 17. Perfis de velocidade do vento em milho (*Zea mays*, L.)
var. "Piranhão".
Dia 24/2/77
Altura da cultura (H) = 170cm