CARACTERIZAÇÃO AERODINÂMICA DA CULTURA DE SOJA

(Glycine max (L.) Merrill)

LEOCADIO GRODZKI

Engenheiro-Agrônomo
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

DEDICO

A

Ana Maria

Ana Cristina

Leo Eduardo

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

Ao Professor Doutor Afonso Decico, pelo irrestrito apoio oferecido na orientação do autor;

Ao Professor Doutor Jesus Marden dos Santos, pelo entusiasmo e dedicação junto à Coordenação do Curso de Agro meteorologia, favorecendo o aprimoramento de conhecimentos nesta área;

Ao Departamento de Física e Meteorologia, da ESALQ-USP, através de seus professores Dr. José Carlos Ometto, Dr. Klaus Reichardt e Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pelo clima de amizade, apoio e orientação profissional;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, pela oportunidade oferecida e suporte financeiro da do 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 de curso e funcionários que direta ou indiretamente colaboraram para a realização do presente trbalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
4. MATERIAL E MÉTODO	13
4.1. Material	13
4.1.1. Caracterização das Condições do Experimento	13
4.1.1.1. Local	13
4.1.1.2. Solo	13
4.1.1.3. Cultura	14
4.1.1.4. Condições Pluviométricas no Período de Observação	15
4.1.2. Delineamento Experimental	15
4.1.2.1. Espaçamento	15
4.1.2.2. Épocas de Observações	15
4.1.3. Instrumental	16
4.1.3.1. Anemômetros	16
4.1.3.2. Psicrômetros	16
4.2. Método	17
4.2.1. Aspectos Teóricos	17
4.2.1.1. Perfil Logarítmico de Vento e Parâmetros Micrometeorológicos	17
4.2.1.2. Estimativa dos Fluxos de Mo- mentum, Calor Sensível e Calor Latente	20

4.2.1.3. Caracterização da Cultura	21
4.2.2. Estimativa do "Deslocamento do Plano zero" (d)	22
4.2.3. Estimativa do Parâmetro rugoso z_o e da Velocidade de Atrito U_*	22
4.2.4. Estimativa da Umidade Específica q	23
4.2.5. Estimativas das razões $(d\bar{q}/d\bar{U})$ e $(d\bar{T}/d\bar{U})$	24
4.2.6. Estimativa dos Fluxos de Momentum, Vapor d'água e Calor Sensível	25
4.2.7. Estimativa da Densidade ρ	25
4.2.8. Caracterização da Cultura	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Perfis de Vento sobre a Cultura	26
5.2. Comportamento de d e z_o	27
5.3. Perfil Normalizado de Vento	34
5.4. Relações entre U_* e $U(z)$	37
5.5. Relações entre U_* e z_o	39
5.6. Estimativas dos Fluxos de Calor Latente, Calor Sensível e Momentum	40
6. CONCLUSÕES	45
7. SUMMARY	46
8. LITERATURA CITADA	47
9. APÊNDICE	51

1. RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar aerodinamicamente uma cultura de soja (Glycine max (L.) Merrill), cultivar Paraná, nas fases de florescimento e formação de vagens. Para tanto foram instalados no interior da cultura gradientes de vento, temperatura e umidade, em cinco alturas na camada limite superficial.

Os dados experimentais foram obtidos em intervalos que variam de 10 a 30 minutos e indicam que para a faixa de velocidade de vento encontrada ($0 - 350 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$), é possível obter-se um perfil característico, bem como estabelecer as dimensões dos parâmetros micrometeorológicos deslocamento do plano zero $d = 42,6 \text{ cm}$, altura da rugosidade $z_0 = 3,5 \text{ cm}$ e velocidade de atrito $U_* = 16,4 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$.

Um estudo de correlação foi feito entre os parâmetros U_* , z_0 e d , obtendo-se resultados significativos a nível de 5% entre U_* e z_0 . Para todos os dias estudados encontrou-se uma dependência funcional entre os valores de U_* e $\bar{U}(z)$ a 80cm de altura.

2. INTRODUÇÃO

Através do entendimento dos processos micrometeorológicos que controlam o ambiente físico natural onde as plantas vivem, particularmente em comunidades vegetais de importância econômica, é possível compreender e explicar a resposta das plantas aos estímulos do meio.

A caracterização aerodinâmica ou micrometeorológica de uma população de plantas é de grande importância. Através dela é possível estimarem-se as respostas dessa comunidade vegetal à variabilidade dos parâmetros físicos do meio, sem destruir ou alterar o ambiente natural.

As propriedades aerodinâmicas da vegetação são especificadas por um deslocamento da altura efetiva da absorção de momentum e de um parâmetro que representa a altura efetiva da rugosidade. Para uma superfície "rígida" aerodinamicamente, a uma altura qualquer acima do solo, as alturas efetivas da absorção de momentum e da rugosidade independem da velocidade do vento e são consideradas como constantes.

Desde que uma área vegetada é um arranjo geometricamente irregular, de elementos flexíveis, aqueles dois parâmetros dependem, em alguma extensão, da velocidade de vento.

Uma vez que uma população vegetal fique caracterizada micrometeorologicamente, torna-se possível estimar todas as trocas de calor latente, calor sensível e dióxido de carbono dessa comunidade com o meio ambiente, e esse fato é de uma importância muito atual nos trabalhos de simulação.

Através do estudo do comportamento das alturas efetivas da absorção de momentum e da rugosidade, procurou-se uma caracterização do comportamento aerodinâmico de uma cultura de soja (Glycine max (L.) Merrill), cultivar Paraná, após atingir o seu máximo desenvolvimento vegetativo, fase de florescimento e formação de vagens. Em seguida, desenvolveu-se uma metodologia simples para a estimativa dos fluxos de momentum, calor latente e calor sensível.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A atmosfera que envolve uma superfície vegetada é, geralmente, turbulenta. A turbulência causa uma mistura do ar, tendendo a uma homogeneização das propriedades, tais como: vapor d'água, dióxido de carbono, calor sensível e transporte de momentum (LEMON, 1960, WEBB, 1965 e ROSE, 1969).

A primeira teoria da turbulência adotou os princípios fundamentais da teoria cinética dos gases para exprimir a transferência das propriedades através dos coeficientes de viscosidade, condutividade e difusividade. Essas entidades de troca, denominadas AUSTAUSCHKOEFFIZIENTEN (coeficientes de troca), por Schmidt (1925), foram aplicadas à meteorologia por Taylor e Richardson, segundo SUTTON (1953).

Os critérios de estabilidade atmosférica foram determinados por RICHARDSON (1920), que expressou a razão entre a convecção livre (empuxo provocado por diferenças de densidade) e a convecção forçada (forças mecânicas) pela seguinte relação:

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

onde,

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

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

$\partial\theta/\partial Z$ = gradiente de temperatura

$\partial U/\partial Z$ = gradiente de velocidade média de vento

Em estudos dentro da camada limite superficial, a temperatura potencial é substituída pela temperatura absoluta do ar, sem causar erros apreciáveis (SUTTON, 1953 e THOM, 1975).

A literatura não é unânime quanto aos limites dos valores adotados para o número de Richardson. PRIESTLEY (1955) admitiu que para $0 > R_i > -0,02$ a atmosfera está num estado de neutralidade. Mais recentemente MONTEITH (1973) e THOM (1975), adotaram os limites de $0,01 > R_i > -0,01$ para o mesmo critério.

Segundo PRANDTL (1934), a equação que representa o perfil de vento próximo a uma superfície vegetada, sob condições adiabáticas, pode ser expressa como:

$$U(Z) = \frac{U_*}{k} \ln \frac{(Z - d)}{z_0}$$

onde,

U_* = velocidade de atrito ($\text{cm} \cdot \text{seg}^{-2}$)

$U(Z)$ = velocidade média de vento na altura Z ($\text{cm} \cdot \text{seg}^{-1}$)

k = constante de Von-Karman

d = deslocamento do plano zero (cm)

z_0 = altura efetiva da rugosidade (cm)

O comportamento dos parâmetros d e z_0 tem sido objeto de estudos por muitos pesquisadores.

Segundo THOM (1975), z_0 indica, para uma comunidade vegetal, a efetividade de absorver momentum, enquanto que d pode ser considerado como indicativo do nível médio no qual

o momentum é absorvido pelos elementos individuais da comunidade de plantas.

LEMON (1965) estudando o comportamento aerodinâmico de uma cultura de milho, cita que em condições próximas à neutralidade, os valores de d e z_0 cresceram com o aumento da altura da cultura. Porém, a dependência de d e z_0 em relação a h , sendo h a altura de uma cultura qualquer, parece não acompanhar uma linearidade, pois outras variáveis também atuam.

MONTEITH (1973) descreve que, em algumas situações, d decresce com a altura da cultura e z_0 cresce; em outras d é constante enquanto que z_0 se modifica. Portanto, d e z_0 dependem, além da altura da cultura h , de outras variáveis como o espaçamento, arquitetura e resistência do elemento rugoso às forças de arrasto (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1966) provocadas pelo vento. Muitos autores confirmam a dependência de d e z_0 dessas variáveis (LEMON, 1960; LEMON, 1965 e RIDER, 1954).

MUNRO e OKE (1973) realizaram diversas análises de perfis de vento sobre uma cultura de trigo durante o estágio de maturação, em que a altura da cultura permaneceu constante. A análise de regressão dos valores de d e z_0 obtidos com os de velocidades de vento (U), indicou um coeficiente de correlação de -0,20 para z_0 e -0,10 para d , ambos não significativos ao nível de 5%. Admitiram que a variação se deva ao estágio de maturação da cultura quando existe uma grande quantidade de colmos sem nenhuma ou com poucas folhas rígidas. Os autores compararam também os valores médios de d e z_0 com aqueles obtidos através de três diferentes métodos de estimativa:

— fórmula de regressão proposta para a determinação de z_0 por Szeicz, Eröndi, Tajchman (1969) e a de Stanhill (1969) para a determinação de d ;

— aproximação do coeficiente de arrasto (Kondo, 1971);

— descrição do elemento rugoso (Lettau, 1969).

As concordâncias dos valores de d foram boas, porém as de z_0 foram pobres, indicando que a determinação deste parâmetro depende de um melhor entendimento das relações entre a rugosidade da superfície e a geometria dos elementos dessa superfície.

TANNER e PELTON (1960) estudaram aerodinamicamente doze diferentes espécies vegetais que variavam em altura de 2cm a 6m, estabelecendo uma correlação entre $\log$ de z_0 e $\log$ de h , obtendo as formas: $\log z_0 = 0,997$; $\log h = 0,883$.

MAKI (1975a) estudou experimentalmente a dependência das características aerodinâmicas das superfícies rugosas de várias culturas (teosinto, milho, sorgo e modelo de vidro) e verificou que para o teosinto, o valor de z_0 cresceu com o aumento da velocidade de atrito (U_*), ocorrendo o inverso para o valor de d . Para a rugosidade artificial, os valores de d e z_0 geralmente aumentaram quando se aumentou a densidade dos elementos rugosos.

THOM (1971) realizou estudos do comportamento aerodinâmico de uma cultura de feijão (Vicia faba) encontrando valores de $z_0/h = 0,065$ e $d/h = 0,75$. O valor de d diminuiu com o aumento da velocidade do vento, sendo uma manifestação do aumento da transferência de momentum para a cultura, ao passo que o parâmetro rugoso z_0 manteve-se constante.

MAKI (1975b) relacionou valores de d e z_0 encontrados por vários pesquisadores para diferentes tipos de rugosidade. Encontrou valores médios de 0,717 para d/h e 0,106 para z_0/h , enquanto que MONTEITH (1973) sugeriu os valores 0,63 e 0,13.

A maior parte dos valores de d apresentados por MAKI (1975b) está contida dentro do intervalo de 0,6 a 0,8 h apresentado por THOM (1975).

PENMAN e LONG (1960) analisaram dados de vento

e temperatura obtidos de uma cultura de trigo com 60cm de altura. Utilizando períodos de 4 horas para a análise dos dados, os autores encontraram valores de d/h variando de 0,30 a 0,63. A velocidade de atrito U_* atingiu valores de $24,19 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ a $64,78 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ para velocidades médias de vento de $190 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ a $384 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$, respectivamente.

UCHIJIMA e WRIGHT (1964) estudaram o comportamento aerodinâmico de uma cultura de milho de 1,40m de altura. Como os perfis de vento foram similares, apresentando um coeficiente de variação de 6,5%, os autores utilizaram um perfil normalizado de vento, que representou a média de 17 perfis. Foram encontrados valores de velocidade de atrito U_* variando de $5,7 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ a $48,5 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ para velocidades de vento de $36 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ a $150 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$, respectivamente.

Através da equação do perfil logarítmico de vento acima da superfície rugosa, vários estudos foram desenvolvidos para se avaliar o comportamento dos perfis de temperatura, vento e vapor d'água.

SWINBANK e DYER (1967) e DYER (1967) obtiveram dados micrometeorológicos de cinco locais diferentes em experimentos conduzidos durante o período de 1962-1964. Os locais foram especialmente escolhidos (campos) para se ter uma área extensa (bordadura de algumas milhas), uniforme e livre de qualquer anomalia de ventos. A análise dos dados sob condições de neutralidade ou instabilidade, demonstrou que os perfis de temperatura potencial e vapor d'água são similares para uma superfície evaporante livre, não sendo similares para os perfis de temperatura potencial e vento. DENMEAD e Mc ILROY (1970) confirmaram estes resultados.

Um grande número de trabalhos tem utilizado o método aerodinâmico para a estimativa da evapotranspiração. Entre eles, o de RIDER (1954), que estudou a evapotranspiração

de um campo cultivado com aveia, utilizando-se do método aerodinâmico em duas camadas da atmosfera, 85 a 125cm e 110 a 210cm. Através de dados obtidos, as taxas horárias de evapotranspiração foram calculadas sendo encontrados valores maiores para a camada inferior, ou seja, a mais próxima da vegetação. Foram encontradas perdas d'água diárias variando de 0,05 a 5,65mm. Segundo o autor, o uso da fórmula aerodinâmica, sob condições instáveis, conduz a uma subestimação da evapotranspiração, sendo que o seu grau depende da instabilidade indicada pelo número de Richardson.

Os dados de evapotranspiração diurna são subestimados, sendo contrabalançados pela superestimação à noite, porém, como as taxas noturnas são pequenas em comparação às diurnas, a taxa resultante ainda será subestimada em torno de 15%. A principal dificuldade encontrada no uso da fórmula aerodinâmica para a obtenção prática de evapotranspiração, está na limitação oferecida pelas características rugosas da superfície, as quais estão em constante mudança com a velocidade do vento.

O transporte turbulento de vapor d'água sobre uma cultura de grama foi estudado por PASQUILL (1950). Ele comparou valores obtidos de 6 evapotranspirômetros simples, de diversos diâmetros, com valores calculados pelo método aerodinâmico. As leituras de temperatura dos bulbos úmido e seco e de velocidade do vento, foram realizadas a cada 2 minutos, sendo que a média de 20 leituras individuais representou o período de observação de 1 hora. Para o cálculo da evapotranspiração foi utilizada a fórmula aerodinâmica, proposta por PRANDTL, sob condições adiabáticas. Para comparação dos métodos, dos perfis de vento obtidos foram escolhidos dois, segundo o critério de estabilidade ($R_i \geq 0,004$). Numa faixa de variação da velocidade do vento de 3 a 9 m.seg⁻¹ tomadas a 2m de altura, os resultados da razão entre a evapotranspiração calculada (E_c) e as medidas em evapotranspirômetros (E_o), em termos médios,

foi de 0,99 , sendo que o desvio máximo foi de 30%.

RIDER (1957) utilizou o método aerodinâmico para avaliar a perda diária de água pelas culturas de ervilha, grama e couve. As culturas foram instaladas dentro de uma área circular de 500m de diâmetro, apresentando alturas de 15-30cm (grama), 100cm (couve) e 60cm (ervilha). As determinações de umidade e vento foram feitas em 2 e 3 alturas, respectivamente. Grandes foram as diferenças encontradas na perda d'água das diferentes superfícies, conforme citado pelo autor para um dia típico de verão:

ervilha - 2,5 a 7,5mm;

grama - 2,0 a 3,0mm;

couve - 4,0mm

A equação aerodinâmica é válida para condições neutras, subestimando ou superestimando a taxa de evaporação à medida que as condições se tornam instáveis ou estáveis, respectivamente. Segundo o autor, as diferenças encontradas na evapotranspiração foram muito grandes para justificar erros do método ou das observações. Provavelmente as diferentes superfícies rugosas, juntamente com suas características fisiológicas próprias, tenham contribuído para estas diferenças.

As trocas turbulentas de dióxido de carbono foram estudadas por LEMON (1960), através do método aerodinâmico, em diferentes fases de desenvolvimento de uma cultura de milho. O método foi utilizado assumindo-se que a velocidade horizontal do vento é expressa pela lei logarítmica; que o transporte turbulento de momentum é constante com a altura e que o coeficiente de difusão de dióxido de carbono (K_c) é idêntico ao de momentum (K_m). Foram feitas medidas de perfil de vento e de concentração de dióxido de carbono a intervalos de 5 minutos, em duas alturas simultaneamente. Como o milho apresentava altura média de 2,4m, utilizou-se uma bordadura de

500m. Os resultados de fluxos de dióxido de carbono obtidos pelo método aerodinâmico são mais altos em ordem de grandeza, quando comparados com aqueles obtidos pelos métodos de cultura (Moss, Musgrave e Lemon, 1960). O autor sugere que estes dados sejam reais, considerando que as intensidades luminosas foram altas fora da cultura e que a turbulência foi provavelmente elevada nos dias estudados. Algumas limitações do método aerodinâmico foram quantificadas pelo autor:

a) a equação para transferência turbulenta depende de uma camada limite definida acima da cultura (superfície homogênea e considerável bordadura);

b) a fórmula não é aplicável para velocidades de vento muito baixas e é seriamente afetada por elevados gradientes térmicos;

c) altas culturas ondulantes, como o milho, determinam variações nos valores dos parâmetros d e z_0 para as diferentes velocidades de vento. Estas variáveis, quando não conhecidas, podem causar sérios erros no uso da equação.

MUKAMMAL et alii (1966) conduziram experimentos em Guelph, Ontário, 1962, com o objetivo de se compararem medidas de evapotranspiração obtidas com lisímetro e o método aerodinâmico. As medidas foram feitas no centro de uma cultura de milho, medindo 266 x 520 pés. As leituras dos instrumentos foram realizadas a cada 5 minutos.

Os resultados obtidos com o método aerodinâmico foram próximos das medidas do lisímetro quando o milho estava pequeno, e mais baixos (em torno de 40%), quando comparados com os dados do lisímetro para um estágio de máximo desenvolvimento da cultura. Estes resultados podem ser explicados pela ocorrência de condições instáveis por ocasião das leituras, caracterizadas por baixas velocidades de vento e elevados gra-

dientes térmicos. Usando-se o deslocamento do plano zero d , obtido em condições neutras, para o cálculo da evapotranspiração sob máxima instabilidade ocorrida ($R_1 = -0,091$), obteve-se uma subestimação desta em cerca de 16% para o método aerodinâmico.

O valor de z_0 observado durante o período diurno variou pouco. Em condições próximas da neutralidade foi de 11,3cm e para as condições de máxima instabilidade foi de 15,1cm. Os autores concluem que a fórmula aerodinâmica subestima a evapotranspiração para uma cultura alta como o milho, devido à diferença de superfície para a qual a fórmula foi desenvolvida (superfície horizontal e uniforme).

PRUITT e LOURENCE (1965) compararam resultados de evapotranspiração obtidos por lisímetro coberto com grama (10cm de altura) e de valores calculados através da fórmula aerodinâmica. Sob condições estáveis a expressão aerodinâmica foi completamente inadequada, dando uma superestimação para as condições de estabilidade e subestimando para condições de alta instabilidade.

O intervalo de tempo de amostragens de perfis de vento e temperatura tem significativa importância para a diminuição de erros das leituras.

TANNER (1968) cita que os fluxos de calor sensível, momentum e vapor d'água, devem ser medidos a uma mesma altura sobre uma superfície homogênea e a amostragem será a espaços regulares horizontalmente, pois valores instantâneos desses parâmetros não serão os mesmos em cada ponto. Torna-se necessária, então, a utilização de intervalos curtos de tempo, para se obter uma média das leituras desses pontos. A experiência de medidas de variância espectral indica que um período de amostragens de 15-60 minutos é desejável; o período não deve exceder a 1 hora e nem ser menor que 10 minutos.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Material

4.1.1. Caracterização das Condições do Experimento

4.1.1.1. Local

O experimento foi conduzido em uma área pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, localizada na latitude de $22^{\circ}42'S$, longitude de $47^{\circ}38'W$ e altitude de 573 metros, ocupando uma área de 2.240 m^2 .

4.1.1.2. Solo

A área experimental está localizada em solo homogêneo, permeável, classificado como Terra Roxa Estruturada, a nível de grande grupo pela Comissão de Solos e como Alfisol, segundo a sétima aproximação (RANZANI et alii, 1966).

O preparo do solo constou de uma aração e uma gradagem, seguido de destorroamento através de enxada rotativa.

Foi feita uma adubação da fórmula 6-4-3 de N-P-K (Sulfato de Amônio, Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio) na quantidade de 400 kg/ha, distribuídos uniformemente nos sulcos antes do plantio.

Os sulcos, para recebimento das sementes, foram feitos a enxada, sendo o plantio executado manualmente.

4.1.1.3. Cultura

A cultura utilizada no presente estudo foi a soja (Glycine max (L.) Merrill), cultivar Paraná. Esta cultivar pertence ao grupo das precoces (ciclo aproximado de 120 dias), as quais além de trazer vantagens de ordem prática tanto para o cultivo da soja como para rotação com outra cultura, podem contribuir também para minimizar os prejuízos eventualmente ocasionados por doenças. Embora não tenha sido feito o controle de pragas e doenças, não se observou ocorrência séria destas durante todo o experimento.

A cultivar Paraná possui hábito determinado e uma alta percentagem de área foliar para baixos ângulos de inclinação (dominância de folhas horizontais) que, segundo MONSI et alii (1974), é denominada de arquitetura foliar planófila.

A distribuição foliar ao longo do caule e ramificações foi bem uniforme, o que provocou um sombreamento regular nas entre-linhas, para a densidade de plantio utilizada.

4.1.1.4. Condições Pluviométricas no Período de Observação

As condições pluviométricas que antecederam às datas de observação são as seguintes:

- 35,9mm nos três dias anteriores à data de 23/01/77;
- 19,7mm nos dois dias anteriores à data de 25/01/77;
- 8,5mm no dia anterior à data de 17/02/77;
- 8,5mm nos dois dias anteriores à data de 18/02/77.

4.1.2. Delineamento Experimental

4.1.2.1. Espaçamento

A semeadura foi realizada em 10/11/76, sendo utilizado o espaçamento normal de 60cm entre as linhas. Após a emergência, foi realizado um desbaste, permanecendo 20 plantas por metro linear.

4.1.2.2. Épocas de Observações

Das observações efetuadas durante o período de um dia, foram selecionadas as obtidas nos dias: 23 / 01 / 77, 25 / 01 / 77, 17 / 02 / 77 e 18 / 02 / 77 respectivamente 74, 76, 99 e 100 dias após o plantio e que correspondeu à fase de florescimento e formação de vagens da cultura de soja.

4.1.3. Instrumental

4.1.3.1. Anemômetros

Próximo ao centro da área experimental, foi instalado um conjunto de anemômetros de fabricação C.W.Thornt~~hwa~~ite Associates, que possuem precisão de registro de velocidade do vento de $\pm 1\%$ (calibração de fábrica) nas alturas 0,40, 0,80, 1,60, 2,40 e 3,20m da superfície do solo. Foi feita uma calibração prévia deste conjunto, com a finalidade de se testar a fidelidade de resposta de cada anemômetro. Para tanto, o conjunto foi colocado na posição horizontal, numa área livre de obstáculos. Leituras das respostas de cada anemômetro foram feitas periodicamente de 10 em 10 minutos. Não se registraram diferenças significativas de leituras que justificassem o uso de fator de correção para qualquer um deles.

Os impulsos dos anemômetros foram registrados em um Registrador de fabricação C.W.Thornt~~hwa~~ite Associates, modelo WPRS 106 - CWT 677A.

4.1.3.2. Psicrômetros

Os gradientes de temperatura e umidade foram obtidos com psicrômetros construídos de pares termoeletricos de cobre-constantan, de diâmetro 0,51mm ou Nº 24 AWG, instalados nas mesmas alturas que os anemômetros, ou seja, 0,40 , 0,80, 1,60, 2,40 e 3,20 metros. Para evitar exposição direta ao sol os pares termoeletricos foram protegidos.

Os impulsos dos pares termoeletricos foram medidos com potenciômetro marca Cambridge, tipo 44228, nº L70009, escala de 0-100 mV e sensibilidade de 0,01 mV.

4.2. Método

4.2.1. Aspectos Teóricos

4.2.1.1. Perfil Logarítmico de Vento e Parâmetros Micrometeorológicos

Mesmo nas horas em que o vento é classificado como calmo, a superfície do solo exibe efeitos rugosos. Na ausência de diferenças significativas de densidades, o ar que flui horizontalmente sobre a superfície sofre os efeitos da rugosidade desta, dando origem ao escoamento caótico ou tipicamente turbulento. Sendo o ar um fluido viscoso, o movimento caótico e os fenômenos superficiais de atrito se propagam verticalmente, resultando, que o perfil de velocidade média do vento, tem características muito bem definidas, obedecendo a uma lei com a seguinte representação matemática:

$$\bar{U}(z) = A \ln z + B \quad (1)$$

sendo $\bar{U}(z)$ a componente média da velocidade na direção x e altura z da superfície, A e B são constantes e independentes de z. É usual substituir B por $-A \ln z_0$, onde z_0 é o valor de z para o qual $\bar{U}(z) = 0$ e é definido como altura da rugosidade, ou parâmetro rugoso. Segue que:

$$\bar{U}(z) = A \ln (z/z_0) \quad (2)$$

Diferenciando a equação (2) tem-se:

$$\partial \bar{U} / \partial z = A/z \quad (3)$$

O resultado (3) estabelece que o gradiente da velocidade média é inversamente proporcional a altura z.

Do teorema da flutuação tem-se que o transporte

médio de uma propriedade conservativa P qualquer na direção vertical, numa atmosfera turbulenta é definido por:

$$P = \overline{\rho W' C'} \quad (\text{Propriedade/Área} \cdot \text{temp.}) \quad (4)$$

onde,

ρ é a densidade do ar, W' é a flutuação do componente vertical da velocidade e C' é a flutuação da propriedade a ser transportada por unidade de massa de ar. Quando a propriedade a ser transportada for momentum (τ), a expressão (4) torna-se:

$$\tau = \overline{\rho w' u'} \quad (\text{Momentum/Área} \cdot \text{tempo}) \quad (5)$$

Como os deslocamentos das parcelas de ar são completamente caóticos, estatisticamente $w' = u'$, e com base nas equações (2) e (3) podem ser calculadas por:

$$W' = U' = \bar{U}(z + \ell, t) - \bar{U}(z, t) = \ell \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \quad (6)$$

Na literatura ℓ é conhecido como o comprimento de mistura, ou seja, a distância que uma massa de ar se desloca na vertical para trocar suas propriedades. Verificou-se experimentalmente que:

$$\ell = k z \quad (7)$$

sendo $k = 0,41$, a constante de Von-Karman. Substituindo (6) e (7) em (5), esta torna-se:

$$\tau = \rho k^2 z^2 (\partial \bar{U} / \partial z)^2 \quad (8)$$

Comparando (8) com (3) tem-se:

$$k^2 A^2 = \frac{\tau}{\rho} \quad (9)$$

Como k é uma constante adimensional, pode-se verificar de (8) ou (3) que a dimensão física de A é de velocidade, podendo-se

postular que:

$$A = U_*/k \quad (10)$$

onde,

U_* é definido como velocidade de atrito. Substituindo (10) em (3) esta torna-se:

$$\bar{U}(z) = (U_*/k) \ln(z/z_0) \quad (11)$$

Quando o ar se escoar sobre uma comunidade vegetal, de altura uniforme h , o perfil de vento acima desta comunidade se comporta como se o solo tivesse sido deslocado para cima, a uma altura d , e então $U(z) = 0$, quando $z = z_0 + d$; d é chamado de "deslocamento do plano zero". Neste caso, a equação (11) passa a ser escrita como:

$$\bar{U}(z) = U_*/k \ln(z - d/z_0) \quad (12)$$

Uma série de conclusões podem ser obtidas das formulações até aqui apresentadas, conclusões essas que levam à caracterização micrometeorológica da cultura em estudo:

a) sendo z_0 definido em $U(z) = 0$, quando uma cultura cresce, a menos que a arquitetura da planta tenha variado apreciavelmente, z_0 deve permanecer constante, porque a diferença de altura das plantas em duas épocas, será corrigida pelo deslocamento do plano zero d ;

b) para uma velocidade $\bar{U}(z)$, quanto maior z_0 , maior será U_* e portanto deve existir uma relação entre z_0 e U_* ;

c) lembrando que A e B são constantes e independentes da altura, z_0 e U_* devem ser características da rugosidade superficial;

d) sendo k , A e p constantes com a altura, os fluxos das propriedades conservativas, além de serem característicos daquela rugosidade são também constantes na camada de ar onde

prevalecer o perfil logarítmico de vento representado pela equação (12).

4.2.1.2. Estimativa dos Fluxos de Momentum, Calor Sensível e Calor Latente

Das expressões (9) e (10) obtém-se:

$$\tau = \rho U_*^2 \quad (13)$$

e

$$U_*^2 = \ell^2 \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (14)$$

Para o fluxo de calor sensível H a expressão do teorema de flutuação torna-se:

$$H = c_p \overline{\rho W' T'} \quad (15)$$

onde,

c_p é o calor específico a pressão constante e T' é a flutuação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Assim como W' , T' é estimado da seguinte forma:

$$T' = \bar{T}(z + \ell, t) - \bar{T}(z, t) = \ell \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \quad (16)$$

Substituindo W' e T' em (15) esta torna-se:

$$H = -\rho c_p \ell^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} = -\rho c_p \ell^2 \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right)^2 \frac{\frac{\partial \bar{T}}{\partial z}}{\frac{\partial \bar{U}}{\partial z}} \quad (17)$$

Substituindo (14) em (17) e simplificando, tem-se:

$$H = -\rho c_p U_*^2 \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{U}} \quad (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{seg}) \quad (18)$$

Para o fluxo de calor latente (LE), tem-se que:

$$LE = -L \rho \overline{W' q'}$$

onde q' é a flutuação da umidade específica que se estima:

$$q' = \bar{q}(z + \ell, t) - \bar{q}(z, t) = \ell \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \quad (19)$$

Seguindo o mesmo raciocínio de (17) e (18), obtém-se imediatamente:

$$LE = -L \rho U_*^2 \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{U}} \quad (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{seg}) \quad (20)$$

ou

$$E = \rho U_*^2 \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{U}} \quad (\text{g de H}_2\text{O/cm}^2 \cdot \text{seg}) \quad (21)$$

Nas equações (18) e (20), $\bar{T}$, $\bar{q}$ e $\bar{U}$ são valores médios em intervalos de tempo de 20 minutos.

4.2.1.3. Caracterização da Cultura

Reescrevendo a equação (12) para duas alturas em um determinado instante, tem-se:

$$U_1(z_1) = U_* / k \ln \frac{z_1 - d}{z_0}$$

e

$$U_2(z_2) = U_*/k \ln \frac{z_2 - d}{z_0} \quad (22)$$

Sendo que a relação $U_1(z_1)/U_2(z_2) = C$ é constante. Para outros tempos as velocidades em z_1 e z_2 podem ser diferentes de $U_1(z_1)$ e $U_2(z_2)$ mas as razões permanecem constantes, o que leva à seguinte generalização:

$$\frac{U_1(z_1)}{U_2(z_2)} = \frac{U'_1(z_1)}{U'_2(z_2)} = \dots \dots \frac{U_1^{n'}(z_1)}{U_2^{n'}(z_2)} \quad (23)$$

A expressão (23) permite uma generalização dos perfis de vento e uma caracterização da cultura.

4.2.2. Estimativa do "Deslocamento do plano zero" (d)

Da equação $U(z) = (U_*/k) \ln(z - d)/z_0$, obtém-se a seguinte relação: $U_i - U_j / U_i - U_k = \ln(z_i - d)/z_j - d / \ln(z_i - d) / (z_k - d)$. Supondo valores arbitrários para d que variam de $0,2h$ até h , construiu-se um gráfico da função: $\bar{U}(z) = f(d)$. Com os valores obtidos experimentalmente da relação $\Delta \bar{U}_{ij} / \Delta \bar{U}_{ik}$, encontraram-se graficamente os verdadeiros valores do "deslocamento do plano zero" (d). Um exemplo das determinações está representado graficamente na figura 1.

4.2.3. Estimativa do Parâmetro rugoso z_0 e da Velocidade de Atrito U_*

Em gráficos $\ln(z - d)$ versus $\bar{U}(z)$, no ponto de interseção quando $\bar{U}(z) = 0$, $z_0 = \text{ant } \ln(z - d)$. Nos mesmos gráficos fez-se $d\bar{U}/d \ln(z - d) = U_*/k = \text{tg } \alpha$ portanto, $U_* = k \cdot \text{tg } \alpha$. Exemplos de determinações gráficas de z_0 e U_* são dados na fi-

gura 1 e 9 respectivamente.

Fig. 1. Exemplo de determinação do deslocamento do plano zero d e parâmetro rugoso z_0 . O exemplo acima se refere ao perfil de vento do dia 23/01/77, no intervalo de tempo das 12:20 - 12:30 horas.

4.2.4. Estimativa da Umidade Específica q

A umidade específica foi obtida classicamente através da equação termodinâmica, ou seja:

$$e = e_s(T_u) - \gamma(T_s - T_u)$$

$$q = \varepsilon \frac{e}{p}$$

onde,

e é a tensão atual de vapor, $e_s(T_u)$ a tensão de satura-

ção à temperatura do bulbo úmido, γ é a constante psicrométrica para psicrômetros não ventilados ($\gamma = 0,57$), T_s e T_u temperaturas dos termômetros secos e úmidos respectivamente, P é a pressão atmosférica, que neste trabalho assumiu o valor de 713 mmHg, ϵ é a razão entre as massas moleculares do vapor d'água do ar seco.

4.2.5. Estimativas das Razões ($d\bar{q}/d\bar{U}$) e ($d\bar{T}/d\bar{U}$)

Em gráficos de $\bar{q}$ versus $\bar{U}$ e $\bar{T}$ versus $\bar{U}$, obtiveram-se as razões médias $d\bar{q}/d\bar{U}$ e $d\bar{T}/d\bar{U}$. Um exemplo dos processos está na figura 2.

Fig. 2. Exemplo de determinação gráfica de $\partial T/\partial U$ e $\partial q/\partial U$, através dos gradientes de temperatura e umidade específica. O exemplo se refere ao perfil do dia 23/01/77, intervalo de tempo de 14:00 - 14:10 horas.

4.2.6. Estimativa dos Fluxos de Momentum, Vapor d'água e Calor Sensível

Os fluxos de momentum, de calor latente e calor sensível foram calculados com as equações (13), (18) e (20), respectivamente.

4.2.7. Estimativa da Densidade ρ

Os valores de ρ que figuram nas equações (13), (18) e (20) foram calculados segundo a equação:

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

onde,

T_0 é a temperatura de referência, ou seja, 273°K, e ρ é a densidade do ar àquela temperatura.

4.2.8. Caracterização da Cultura

A normalização do perfil foi realizada utilizando-se da velocidade de vento $U_1(z_1)$ a 80cm de altura. Através do perfil normalizado de vento, determinaram-se os parâmetros micrometeorológicos z_0 , d e U_* , característicos da cultura da soja.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Perfis de Vento sobre a Cultura

Nas figuras 3, 4, 5 e 6 e tabelas 1, 2, 3 e 4 do Apêndice, são apresentados os valores de velocidades de vento observados ao longo dos perfis, para os dias 23/01, 25/01, 17/02 e 18/02, nos quais a cultura apresentava 60cm de altura, exercendo um sombreamento uniforme de 100% sobre o solo.

A análise dos resultados indica que em um bom número de perfis, a velocidade do vento se encontra dentro da faixa de 100 a 400 $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$. Velocidades de vento dentro desta faixa foram analisadas por LEMON (1965), o qual conclui que dentro destes limites de velocidade, a atmosfera pode ser caracterizada como no estado de neutralidade. Os dados revelam também que nas horas de transição, praticamente em todos os dias estudados, registraram-se perfis com velocidade de vento classificados como quase calmos ($< 100 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$), embora ROSE (1969) tenha afirmado que mesmo nestas horas a atmosfera é turbulenta. Particularmente o período das 8:00 - 8:10 horas do dia 23/01 apresenta um perfil de velocidade de vento praticamente constante ao longo de z , indicando escoamento laminar, não havendo portanto transporte das propriedades.

5.2. Comportamento de d e z_0

A figura 7 apresenta o comportamento de d e z_0 em relação à velocidade de vento logo acima da cultura, ou seja, a 80cm de altura.

Fig. 7. Comportamento dos parâmetros d e z_0 dos dias 23/01 e 25/01, em relação às velocidades de vento a 80cm de altura do solo.

Dos 4 dias estudados, foram utilizados valores de dois por apresentarem uma relação mais completa de dados. Embora houve um espalhamento dos valores de d e z_0 , a análise da figura 7 indica uma tendência de aumento desses parâmetros para velocidades de vento de 0 a 80 $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$; com o aumento

da velocidade do vento para $90 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$, há uma queda drástica dos valores de d . O autor conclui que houve provavelmente um acomodamento das folhas para uma posição tal que indique uma menor resistência ao fluxo de ar, havendo portanto uma maior turbulência ao nível do dossel vegetativo e conseqüentemente um aumento de transferência de momentum para a cultura, concordando com THOM (1971).

Para velocidades maiores que $100 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$, houve uma tendência de aumento dos valores de d enquanto que o valor de z_0 tendeu a decrescer ligeiramente. Este fato pode ser verificado nas tabelas 5, 6, 7 e 8. Estes comportamentos de d e z_0 diferem da curva apresentada por MONTEITH (1973), em estudos com arroz. Pode-se também observar nas mesmas tabelas que os valores de d e z_0 variaram de no máximo 100%.

Tabela 5. Valores dos parâmetros d , z_0 e U_* , referentes ao dia 23/01/77.

Parâmetros	$\frac{U_1 - U_2}{U_1 - U_3}$	d	z_0	U_*	U_{80}	a/
Hora		(cm)	(cm)	(cm · seg ⁻¹)	(cm · seg ⁻¹)	
7:25	0,6740	35,45	1,82	10,66	80,39	
8:05	0,7012	49,00	0,81	4,55	43,16	
8:25	0,7012	36,50	3,85	9,69	78,35	
8:45	0,6710	33,25	3,00	9,22	78,86	
9:05	0,6705	33,00	3,00	11,27	78,35	
9:45	0,6660	30,25	6,35	38,85	189,25	
10:05	0,7194	55,75	1,38	25,77	170,25	
10:25	0,6754	36,00	3,50	17,42	110,99	
10:45	0,6654	29,65	9,68	22,07	115,58	
11:05	0,7059	50,75	1,05	22,77	141,84	
12:05	0,6547	22,25	5,20	16,23	97,98	
12:25	0,6831	40,25	4,26	17,76	95,69	
12:45	0,6941	45,75	2,71	12,30	108,69	
13:45	0,6649	29,50	1,16	4,65	53,10	
14:05	0,6792	37,35	5,47	15,77	87,53	
14:25	0,7162	54,60	0,70	6,83	67,13	
14:45	0,7139	53,75	1,42	8,73	56,93	
15:25	0,6705	53,10	1,61	11,48	66,36	

a/ U_{80} = velocidade do vento à altura de 80cm do solo.

Tabela 6. Valores dos parâmetros d , z_0 e U_* , referentes ao dia 25/01/77.

Parâmetros	$\frac{U_1 - U_2}{U_1 - U_3}$	d	z_0	U_*	U_{80}	<u>a/</u>
Hora		(cm)	(cm)	(cm · seg ⁻¹)	(cm · seg ⁻¹)	
8:15	0,6624	28,00	1,82	5,04	45,45	
9:15	0,6989	48,20	1,65	11,71	83,70	
10:15	0,6962	46,80	2,11	12,30	84,98	
10:55	0,6800	37,75	1,28	8,20	77,33	
11:15	0,7111	52,75	1,00	9,37	77,33	
11:35	0,6847	41,10	2,22	10,93	91,86	
12:35	0,6975	47,50	2,58	15,77	91,86	
12:55	0,6733	34,80	1,57	6,56	56,67	
13:15	0,6821	39,80	3,67	19,68	117,36	
14:15	0,6900	43,80	1,91	14,35	95,69	
14:55	0,6776	37,30	4,00	15,37	100,28	
15:15	0,6710	33,30	4,95	13,66	87,02	
15:35	0,7272	56,60	0,79	10,66	75,54	

a/ U_{80} = velocidade do vento à altura de 80cm do solo.

Tabela 7. Valores dos parâmetros d , z_0 e U_* , referentes ao dia 17/02/77.

Parâmetros	$\frac{U_1 - U_2}{U_1 - U_3}$	d	z_0	U_*	U_{80} <u>a/</u>
Hora		(cm)	(cm)	(cm · seg ⁻¹)	(cm · seg ⁻¹)
8:30	0,6852	41,30	4,95	14,06	70,69
9:30	0,6787	37,75	6,36	20,04	99,68
10:30	0,6787	37,75	6,68	22,26	99,85
11:30	0,6986	48,00	4,71	31,88	142,10
12:30	0,6941	46,00	4,05	19,47	100,02
13:30	0,6715	34,00	5,20	12,30	72,91
14:30	0,6938	45,75	2,22	18,86	105,46
15:30	0,6737	35,00	9,02	17,08	77,50
16:30	0,7045	50,25	0,82	6,70	46,47
17:30	0,6817	39,50	5,47	23,13	97,64

a/ U_{80} = velocidade do vento à altura de 80cm do solo.

Tabela 8. Valores dos parâmetros d , z_0 e U_* , referentes ao dia 18/02/77.

Parâmetros	$\frac{U_1 - U_2}{U_1 - U_3}$	d	z_0	U_*	U_{80}	<u>a/</u>
Hora		(cm)	(cm)	(cm · seg ⁻¹)	(cm · seg ⁻¹)	
9:00	0,7000	48,50	1,00	5,46	44,18	
9:40	0,6817	39,50	1,73	26,24	186,40	
10:00	0,6752	36,00	4,05	24,60	123,22	
10:20	0,6701	32,50	11,58	28,70	125,00	
10:40	0,6865	42,00	4,48	25,62	133,94	
11:00	0,6651	29,50	4,48	16,40	98,00	
11:40	0,7070	51,25	1,13	13,32	92,88	
12:00	0,6973	47,80	1,35	10,66	74,52	
12:20	0,6613	27,00	4,48	11,48	78,86	
12:40	0,6981	47,75	3,16	17,57	112,52	
13:00	0,7023	49,50	3,32	23,42	116,85	
13:40	0,6998	47,80	1,91	15,37	81,92	
14:20	0,6678	31,25	9,00	10,54	40,86	
14:40	0,6722	34,00	9,00	14,64	57,69	

a/ U_{80} = velocidade do vento à altura de 80cm do solo.

Utilizando-se de perfis com velocidade média de vento calculada em períodos mais longos de tempo (30 minutos), obtiveram-se valores mais homogêneos para d e isso pode ser observado na tabela 7. PENMAN e LONG (1960), trabalhando com trigo, obtiveram resultados semelhantes para períodos de tempo de 4 horas. Provavelmente isso se deve à eliminação das flutuações instantâneas de velocidade do vento.

Uma análise de correlação simples entre d , z_0 com a velocidade do vento (U) a 80cm do solo, foi feita e os resultados são apresentados na tabela 9. Analisando os resultados, conclui-se que não houve correlação significativa entre esses parâmetros. MUNRO e OKE (1973) chegaram a um mesmo resultado em uma cultura de trigo.

Tabela 9. Coeficientes de correlação simples (r) entre a velocidade de vento a 80cm de altura (U_{80}), velocidade de atrito (U^*), deslocamento do plano zero (d) e parâmetro rugoso (z_0).

a/ Parâmetros	Datas			
	23/01	25/01	17/02	18/02
1 - 2	0,92**	0,94**	0,96**	0,86**
1 - 3	-0,06	0,25	0,14	0,04
1 - 4	0,37	0,53	0,17	-0,13
2 - 3	-0,16	0,21	-0,04	-0,12
2 - 4	0,55*	0,63*	0,33	0,27
3 - 4	-0,64**	-0,47	-0,80**	-0,68**

a/	1 = U_{80}	** = significativo ao nível de 1% pelo teste t
	2 = U^*	
	3 = d	* = significativo ao nível de 5% pelo teste t
	4 = z_0	

Através de um estudo de correlação, foram verificadas as possíveis interações entre d e z_0 , para os 4 dias estudados. Os resultados indicaram uma significância ao nível de 1% para 3 dias (23/01, 17/02 e 18/02), não se tendo uma justificativa para o comportamento desses parâmetros no dia 25/01.

5.3. Perfil Normalizado de Vento

As tabelas 10, 11, 12 e 13 - Apêndice, apresentam os dados normalizados de vento (U_z/U_{80}) nos dias 23/01, 25/01, 17/02 e 18/02 e a figura 8 mostra o perfil característico com as respectivas amplitudes de variação, ao longo de Z.

Numa análise dos perfis normalizados, verifica-se que a cultura, durante as fases de florescimento (23/01 e 25/01) e formação de vagens (17/02 e 18/02), apresentou pequenos valores de coeficientes de variação. Estes resultados estão próximos daquele obtido por UCHIJIMA e WRIGHT (1964), trabalhando com milho.

Fig. 8. Perfil característico de vento U, obtido da média dos perfis normalizados dos dias 23/01, 25/01, 17/02 e 18/02.

Analisando a tabela 9, observa-se que existe uma alta correlação positiva entre a velocidade do vento U a 80cm de altura do solo e a velocidade de atrito U_* . Como a velocidade de atrito em uma cultura caracteriza a capacidade de troca turbulenta das propriedades e isso pode ser verificado através da análise das equações (13), (18) e (20), então pode-se concluir que o perfil normalizado caracteriza micrometeorologicamente aquela cultura, neste caso particular a cultura de soja, para as já referidas fases de desenvolvimento.

Os valores de d médio, bem como de d/h , são apresentados na tabela 14, tais valores se encontram dentro do intervalo 0,6 - 0,8h, sugerido por MONTEITH (1973) e THOM (1975).

A tabela 15 e as figuras 9 e 10 apresentam e representam os valores de d , z_0 e U_* característicos, obtidos através do perfil de vento normalizado.

Tabela 14. Valores médios diários do deslocamento do plano zero d e d/h , sendo h a altura da cultura de soja

Datas	d	d/h
23/01	40,37	0,67
25/01	42,13	0,70
17/02	41,50	0,69
18/02	40,31	0,67
Média	41,07	0,68

Tabela 15. Valores de d , z_0 e U_* característicos, obtidos do perfil normalizado médio dos dias 23/01, 25/01, 17/02 e 18/02/77.

Parâmetros	d (cm)	z_0 (cm)	U_* (cm · seg ⁻¹)
	42,60	3,50	16,40

Fig. 9. Determinação gráfica dos parâmetros característicos d e z_0

Fig. 10. Determinação gráfica da velocidade de atrito U_* , característica da cultura de soja

Não houve praticamente desvio entre o d característico e os valores médios desse parâmetro para os quatro dias estudados, e esse fato pode ser verificado nas tabelas 14 e 15. Relembrando a relação (12) conclui-se que, utilizando perfis normalizados de vento, pode-se ter uma enorme economia de tempo na obtenção dos parâmetros característicos.

5.4. Relações entre U_* e $U(z)$

Segundo a metodologia proposta, a velocidade de atrito U_* foi obtida em função de $\ln(z-d) \times U(z)$, utilizando-se do d característico, conforme está exemplificado na fig. 11. Uma análise de correlação simples entre U_* , z_0 e $U(z)$ é apre-

sentada na tabela 9, onde se verificaram as relações existentes. Analisando a tabela 9 verifica-se que os valores de U_* acompanharam as variações das velocidades de vento, como previsto a priori.

Nas tabelas 16, 17, 18 e 19 - Apêndice, são apresentadas as estimativas de U_* para cada intervalo de tempo, onde se pode observar uma grande variabilidade desse parâmetro nos diferentes perfis. Fato idêntico foi também observado por PENMAN e LONG (1960), na cultura de trigo, trabalhando nos mesmos intervalos de velocidade do vento.

Fig. 11. Exemplo de determinação gráfica de U_* , referente ao perfil de vento do dia 18/02, no intervalo de tempo de 12:00 às 13:05 horas.

5.5. Relações entre U_* e z_0

O comportamento de U_* e z_0 foi diferente para os dias de leitura considerados, como pode ser observado na tabela 20. Nos dois primeiros dias (23/01 e 25/01) houve correlação positiva ao nível de 5%, indicando existir uma relação entre estes dois parâmetros, isto é, para um aumento de U_* houve um aumento correspondente de z_0 . Estes resultados coincidem com aqueles obtidos por MAKI (1975a), para uma cultura de teosinto.

Para os dias 17/02 e 18/02 não houve correlação significativa, mostrando que os aumentos de U_* nem sempre tiveram uma correspondência em z_0 , fato que talvez possa ser explicado pela existência de um menor número de graus de liberdade nestes dias.

Tabela 20. Análise de correlação e regressão simples entre os parâmetros U_* e z_0 para os dias estudados.

<u>a/</u> Parâmetros	Datas	23/01	25/01	17/02	18/02
$U_* - z_0$		0,55*	0,63*	0,33	0,27

Data	Regressão
23/01	$z_0 = 0,87 + 0,16 U^*$
25/01	$z_0 = -0,00 + 0,19 U^*$
17/02	$z_0 = 2,84 + 0,11 U^*$
18/02	$z_0 = 2,12 + 0,13 U^*$

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t

5.6. Estimativas dos Fluxos de Calor Latente, Calor Sensível e Momentum

Através do uso do d médio de cada dia e assumindo-se que as condições de neutralidade prevalecem durante os períodos de leitura, estimaram-se os fluxos de calor latente, calor sensível e momentum. Nas tabelas 16, 17, 18 e 19 - Apêndice, e figuras 12, 13, 14 e 15 são apresentados numérica e graficamente os fluxos, em cada intervalo de tempo, dos dias estudados. Analisando os resultados totais de evapotranspiração, verifica-se que 2 períodos de leitura (23/01 e 25/01) foram praticamente idênticos em ordem de grandeza, sendo diferentes dos outros 2 dias (17/02 e 18/02). Como as médias diárias de velocidade de atrito (U_*) foram maiores para os dias 17/02 e 18/02 (tabelas 16, 17, 18 e 19), pode-se considerar que houve uma maior troca das propriedades entre a cultura e a atmosfera, fato que pode ser comprovado pela maior taxa de evaporação destes dias.

Fig. 12. Representação gráfica dos fluxos de calor latente e calor sensível durante o período de leitura do dia 23/01/77.

Fig. 13. Representação gráfica dos fluxos de calor latente e sensível durante o período de leitura do dia 25/01/77.

Fig. 14. Representação gráfica dos fluxos de calor latente e sensível durante o período de leitura do dia 17/02/77.

Fig. 15. Representação gráfica dos fluxos de calor latente e sensível durante o período de leitura do dia 18/02/77.

Observando-se as figuras 12, 13, 14 e 15 nota-se que existe grande flutuação nos valores dos fluxos de calor latente e calor sensível, resultado dos processos de turbulência.

Através da análise das equações (18) e (20), verifica-se que as razões entre os gradientes dq/dU e dT/dU é que induzem à variação dos fluxos, uma vez que ρ é constante e U_* é função de U , podendo-se então concluir que, através da análise das figuras 12, 13, 14 e 15, essas razões atingiram seus valores extremos no período da manhã em 3 dias estudados (23/01, 17/02 e 18/02), e no período da tarde em um dia (25/01).

A forma espectral das figuras 12, 13, 14 e 15 é característica dos intervalos de tempo assumidos, que neste estudo foram de 10 minutos para os dias 23/01, 25/01 e 18/02, e de 30 minutos para o dia 17/02.

Desde que se utilizasse um sistema de aquisição de resposta mais rápida, os espectros seriam completamente diferentes, tal como fizeram RIDER (1954) e PASQUILL (1950), utilizando-se de intervalo de tempo de 2 minutos.

Por outro lado, as equações aerodinâmicas (equações (13), (18) e (20)), empregadas para o cálculo dos fluxos, subestimam estes valores quando utilizadas em condições de instabilidade. O erro deste método, segundo alguns autores (MUKAMMAL et alii, 1966) e RIDER (1954), quando não acrescido de erros de instrumentos, vai de 15 a 16%, o que não alteraria muito os resultados do presente estudo.

Embora não se tenham comparado os valores dos fluxos aqui calculados com outros métodos de medida de evapotranspiração, conclui-se que os dados obtidos estão coerentes com o valor real da evapotranspiração da cultura de soja apresentado na literatura.

6. CONCLUSÕES

1 - Dos quatro dias estudados, em três deles (23/01, 17/02 e 18/02), a um aumento no valor de d correspondeu um acréscimo no valor de z_0 ;

2 - Dentro da faixa normal de velocidade de vento, foi possível determinar-se o perfil característico, para a fase de florescimento e formação de vagens;

3 - Os valores de d , z_0 e U_* que caracterizam a cultura da soja nas fases de florescimento e formação de vagens no espaçamento de 5 x 60cm, foram respectivamente, 42,6cm, 3,5cm e 16,4 cm·seg⁻¹;

4 - Nos dias 23/01 e 25/01 em que se pode contar com maior número de graus de liberdade (25 e 24, respectivamente), existiu uma correlação positiva ao nível de 5% entre os parâmetros U_* e z_0 ;

5 - Para todos os dias estudados encontrou-se uma dependência funcional entre os valores de U_* e U a 80cm de altura do solo;

6 - Os fluxos de momentum, calor sensível e calor latente são uma função da turbulência atmosférica.

7. SUMMARY

This paper deals mainly with the aerodynamic characterization of a soybean (Glycine max (L.) Merrill) crop, cultivar Parana, during its flowering and pod formation stages. To this purpose, wind, temperature and humidity gradients were installed within the crop under study, at 5 different heights in the boundary layer.

The experimental data were obtained at intervals ranging from 10 to 30 minutes and indicate that, for the wind velocity range found ($0 - 350 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$), it is possible to obtain a characteristic profile, as well as establish the dimensions of the micrometeorological parameters, zero-plane displacement $d = 42.6 \text{ cm}$, roughness parameter $z_0 = 3.5 \text{ cm}$ and friction velocity $U_* = 16.4 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$.

A correlation study was made of the parameters U_* , z_0 and d , and significant results were obtained at the level of 5% between U_* and z_0 . A functional dependency was found on all days student between U_* and $\bar{U}(z)$ values at 80 cm height.

8. LITERATURA CITADA

- DENMEAD, O.T. e I.C.Mc ILROY, 1970. Measurements of non potential evaporation from wheat. Agr. Met., Amsterdan, 7: 285-302.
- DYER, A.J., 1967. The turbulent transport of heat and water vapor in an unstable conditions. Quart. J. R. Met. Soc.. London, 93:501-508.
- LEMON, E.R., 1960. Photosynthesis under field conditions. II. An aerodynamic method for determining the carbon dioxide exchange between the atmosphere and a corn field. Journal. Madison, Wis., 52:697-703.
- LEMON, E.R., 1965. Micrometeorology and the Physiology of Plants in their natural environment. In: Plant Physiology, IV. A. New York, Academic Press Inc., p. 203-227.
- MAKI, T., 1975a. Wind profile parameters of various canopies as influenced by wind velocity and stability. J. Agr. Met.. Japan, 31:61-70.
- MAKI, T., 1975b. Interrelationship between zero-plane displacement, aerodynamic roughness length and plant canopy

- height. J. Agr. Met.. Japan, 31:7-15.
- MONTEITH, J.L., 1973. Principles of Environmental Physics. London, Edward Arnold Publishers. 241 p.
- MONSI, M., Z.UCHIJIMA e T.OIKAWA, 1974. Structure of foliage canopies and photosynthesis. Collected Papers of Agr. Met. Japan, 15:301-327.
- MUNRO, D.S. e T.K.OKE, 1973. Estimating wind profiles parameters for tall dense crops. Agr. Met... Amsterdam, 11: 223-228.
- MUKAMMAL, E.I., K.M.YING e H.F.CORK, 1966. Comparison of aerodynamic and energi budget techniques in estimating evapotranspiration from a cornfield. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Austria, 14:384-395.
- PASQUILL, F., 1950. Some further considerations of the measurements and indirect evaluation of natural evaporation. Quart. J. R. Met. Soc., London, 76:287-301.
- PENMAN, H.L. e I.F.LONG, 1960. Weather in wheat an essay in micro-meteorology. Quart. J.R. Met. Soc... London, 86:16-50.
- xPRANDTL, L., 1934. The mechanics of viscous fluids. Aerodynamic Theory, Vol. II. Berlin, W.F.Durand Ed.
- 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. Chicago, Un. Chicago Press. 130 p.
- PRUIT, W.O. e F.J.LOURENCE, 1965. Tests of aerodynamic,

- energy balance and other evaporation equations over a grass surface. In: Investigation of energy, momentum and mass transfer near the ground. Final Report. Univ. of California. p. 37-63.
- RANZANI, G., 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. ESALQ-USP, Piracicaba, SP.
- RICHARDSON, L.F., 1920. The supply of energy from and to atmospheric eddies. Proc. R. Soc., A, 97:354-373.
- 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. Agricultural Physics. London, Pergamon Press. 229 p.
- SUTTON, O.G., 1953. Micrometeorology. New York, Mc Graw Hill Book Company. 333 p.
- 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. e W.L.PELTON, 1960. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. J. Geophys. Res. 65:3391-3413.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: Kozlowski, T.T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press 1:74-106.

THOM, A.S., 1971. Momentum absorption by vegetation. Quart. J. R. Met. Soc. London, 97:414-428.

THOM, A.S., 1975. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J.L., ed. Vegetation and the atmosphere. London, Academic Press 1:57-109.

UCHIJIMA, Z. e J.L.WRIGHT, 1964. An experimental study of air flow in a corn plant air layer. Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences. Series A, nº 11, Japan.

WEBB, E.K., 1965. Aerial Microclimate, chapter II. In: Meteorological Monographs. Boston, 6:27-58.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1966. International Meteorological Vocabulary. Geneva, 276 p.

9. A P Ê N D I C E

Fig. 3. Representação gráfica dos perfis de vento do dia 23/01/77

Fig. 4. Representação gráfica dos perfis de vento do dia 25/01/77

Fig. 5. Representação gráfica dos perfis de vento do dia 17/02/77

Fig. 6. Representação gráfica dos perfis de vento do dia 18/02/77

Tabela 1. Valores obtidos por perfil, de velocidade de vento (U_z), temperatura do bulbo seco (T_s), temperatura do bulbo úmido (T_u) e umidade específica (q).
Dados referentes ao dia 23/01/77.

Altura (m)	H P	6:45	7:05	7:25	7:45	8:05	8:25	8:45	9:05	9:25	9:45	10:05	10:25	10:45	11:05
320	Uz	62,03	122,97	131,63	76,31	66,62	133,23	121,35	123,66	165,75	353,50	313,00	192,50	229,75	248,75
	Ts	19,75	19,75	21,25	21,50	24,50	24,75	26,25	25,75	26,52	27,50	26,25	26,50	27,50	27,75
	Tu	19,52	19,50	20,80	20,00	21,00	21,50	22,25	23,00	23,00	24,00	23,50	24,75	24,75	24,50
	q	0,0143	0,0147	0,0152	0,0150	0,0145	0,0151	0,0155	0,0182	0,0182	0,0177	0,0175	0,0195	0,0190	0,0185
240	Uz	60,49	115,93	126,54	71,37	64,32	129,60	117,62	122,46	157,40	324,00	288,75	177,82	205,25	230,25
	Ts	19,75	19,75	21,25	21,50	23,25	23,00	24,75	24,62	25,00	27,50	26,25	26,50	27,50	28,25
	Tu	19,25	19,75	20,12	20,00	20,75	21,00	22,25	23,00	23,50	24,00	23,50	24,75	24,75	24,50
	q	0,0143	0,0150	0,0148	0,0150	0,0147	0,0153	0,0163	0,0177	0,0177	0,0177	0,0175	0,0195	0,0190	0,0182
160	Uz	50,81	98,75	111,50	60,50	53,61	113,00	104,87	107,93	141,59	279,00	255,50	155,12	171,75	204,25
	Ts	20,50	19,75	21,75	21,50	23,25	23,00	25,25	25,00	26,02	27,50	27,00	28,50	27,50	28,25
	Tu	19,50	19,75	20,50	20,50	21,50	21,75	22,75	23,50	24,00	24,50	24,60	25,75	24,75	25,50
	q	0,0143	0,0150	0,0154	0,0153	0,0159	0,0164	0,0180	0,0182	0,0193	0,0177	0,0190	0,0203	0,0190	0,0199
80	Uz	38,06	69,42	80,39	49,79	43,16	78,35	78,86	78,35	98,24	189,25	170,25	110,99	115,58	141,84
	Ts	20,50	20,00	22,00	22,25	24,00	24,75	25,50	26,12	28,00	27,50	27,00	28,75	27,75	29,00
	Tu	19,75	19,75	21,50	21,25	22,50	22,75	24,25	24,00	24,75	24,75	25,60	26,00	25,00	25,75
	q	0,0167	0,0149	0,0155	0,0160	0,0171	0,0271	0,0192	0,0184	0,0182	0,0190	0,0207	0,0206	0,0199	0,0200
Altura (m)	H P	11:25	11:45	12:05	12:25	12:45	13:05	13:25	13:45	14:05	14:25	14:45	15:05	15:25	
320	Uz	206,25	207,00	173,00	179,00	196,50	181,00	188,25	75,24	163,25	109,20	97,73	88,55	120,42	
	Ts	29,25	29,50	28,75	28,76	30,25	30,50	31,00	31,00	30,50	30,75	32,25	32,50	30,50	
	Tu	25,50	26,00	24,40	24,40	26,00	25,25	25,50	25,75	25,00	25,25	26,25	26,50	25,25	
	q	0,0195	0,0202	0,0178	0,0178	0,0198	0,0184	0,0186	0,0217	0,0279	0,0185	0,0193	0,0196	0,0184	
240	Uz	190,00	195,75	162,25	154,75	178,50	166,50	177,50	73,25	147,60	104,87	90,59	88,55	110,48	
	Ts	30,12	30,75	29,25	28,75	30,25	30,50	31,25	31,00	30,50	30,75	33,00	32,25	30,50	
	Tu	25,75	26,12	24,75	25,00	26,00	25,25	25,50	25,75	25,00	25,25	26,75	26,50	25,50	
	q	0,0195	0,0210	0,0182	0,0188	0,0198	0,0184	0,0185	0,0190	0,0179	0,0185	0,0198	0,0187	0,0188	
160	Uz	172,75	175,25	140,06	142,86	157,14	151,53	158,16	66,00	126,33	94,16	80,96	79,11	95,94	
	Ts	31,50	30,75	29,25	29,00	30,50	30,25	31,75	30,75	30,75	30,75	33,00	32,00	30,50	
	Tu	27,00	26,12	24,75	26,00	26,50	26,00	26,00	26,00	25,75	25,75	28,00	27,25	26,12	
	q	0,0211	0,0210	0,0182	0,0205	0,0206	0,0198	0,0191	0,0196	0,0191	0,0191	0,0223	0,0213	0,0199	
80	Uz	123,75	118,38	97,03	95,69	108,69	108,18	105,63	53,10	87,53	67,13	56,93	61,52	66,36	
	Ts	31,50	32,00	30,00	29,25	30,75	30,25	33,50	31,00	31,00	31,00	34,75	33,75	30,50	
	Tu	28,75	28,25	25,75	26,25	26,75	27,50	27,50	27,00	26,50	27,00	29,50	29,25	27,25	
	q	0,0244	0,0232	0,0195	0,0208	0,0206	0,0226	0,0210	0,0213	0,0204	0,0213	0,0243	0,0233	0,0220	

(*) Uz = velocidade do vento a altura z (cm.s⁻¹)
Ts = temperatura do bulbo seco (°C)
Tu = temperatura do bulbo úmido (°C)
q = umidade específica
H = hora
P = parâmetro

Tabela 2. Valores obtidos por perfil, de velocidade de vento (U_z), temperatura do bulbo seco (T_s), temperatura do bulbo úmido (T_u) e umidade específica (q). Dados referentes ao dia 25/01/77.

Altura (cm)	H P	7:35	7:55	8:15	8:35	8:55	9:15	9:35	9:55	10:15	10:35	10:55	11:15	11:35
320	Uz	97,47	76,05	58,66	176,25	225,50	140,92	121,95	151,79	146,09	117,11	117,62	128,07	152,95
	Ts	22,75	23,00	25,00	24,50	24,50	24,50	25,50	23,25	27,75	27,50	28,00	28,00	29,00
	Tu	21,50	21,50	22,50	22,25	22,75	22,50	23,25	24,00	24,00	24,75	25,00	24,50	24,50
	q	0,0161	0,0160	0,0166	0,0164	0,0172	0,0168	0,0175	0,0174	0,0176	0,0194	0,0192	0,0184	0,0178
240	Uz	87,78	68,40	55,65	165,00	209,00	133,68	115,07	142,35	139,55	109,46	111,43	120,68	143,63
	Ts	22,75	23,00	25,00	25,25	24,50	25,00	25,50	27,75	27,75	27,50	28,00	28,50	30,25
	Tu	21,50	22,90	22,50	22,75	22,75	23,00	23,25	24,25	24,00	24,75	25,00	24,75	25,00
	q	0,0161	0,0168	0,0166	0,0168	0,0172	0,0173	0,0175	0,0181	0,0176	0,0190	0,0192	0,0185	0,0181
160	Uz	78,60	63,81	58,97	146,50	185,25	118,64	105,63	130,11	127,97	96,45	100,53	108,18	127,31
	Ts	23,25	23,00	25,25	26,25	24,50	25,50	25,50	29,50	27,75	29,00	27,75	28,50	30,25
	Tu	21,75	22,00	22,25	22,75	23,75	24,25	24,00	24,75	24,75	25,25	25,25	25,25	25,25
	q	0,0163	0,0168	0,0160	0,0168	0,0172	0,0182	0,0180	0,0189	0,0191	0,0197	0,0197	0,0194	0,0185
80	Uz	62,03	48,51	45,45	93,14	119,00	83,70	71,97	90,59	84,98	71,46	77,33	77,33	91,86
	Ts	23,00	23,75	26,00	27,00	25,25	25,75	26,50	31,75	28,00	29,75	29,25	29,25	30,25
	Tu	22,12	22,50	24,25	24,75	23,25	24,50	25,25	27,75	25,00	26,50	26,75	26,75	26,75
	q	0,0169	0,172	0,0189	0,0184	0,0176	0,0195	0,0204	0,0224	0,0192	0,0210	0,0127	0,0208	0,0213
Altura (cm)	H P	11:55	12:15	12:35	12:55	13:15	13:35	13:55	14:15	14:35	14:55	15:15	15:35	15:55
320	Uz	135,21	141,33	160,97	86,00	208,00	184,00	179,50	167,25	178,75	174,00	151,53	125,78	176,50
	Ts	28,75	29,75	30,25	29,25	30,50	30,75	31,12	31,25	33,50	32,50	32,50	33,25	34,00
	Tu	24,50	25,75	25,25	26,25	26,25	25,75	26,85	26,50	26,75	26,25	27,50	27,50	27,00
	q	0,0179	0,0196	0,0185	0,0208	0,0202	0,0209	0,0209	0,0203	0,0196	0,0192	0,0215	0,0211	0,0213
240	Uz	133,43	135,74	155,10	82,43	196,00	172,00	175,25	154,85	169,00	165,00	143,63	117,82	162,00
	Ts	28,50	29,00	30,75	29,25	29,75	30,75	30,50	31,75	33,50	32,50	32,50	33,75	33,25
	Tu	25,00	25,76	25,75	26,25	26,25	25,75	26,87	26,75	26,75	26,25	27,50	27,75	27,87
	q	0,0189	0,0200	0,0192	0,0208	0,0205	0,0192	0,0213	0,0205	0,0196	0,0192	0,0215	0,0213	0,0226
160	Uz	122,97	126,54	135,98	74,01	171,00	154,34	153,95	136,49	150,00	144,14	125,01	106,14	135,47
	Ts	28,25	30,50	30,75	29,50	30,00	30,50	30,87	31,50	32,50	32,75	32,50	33,75	33,25
	Tu	25,25	26,00	26,50	26,50	26,50	26,60	27,75	27,50	28,25	26,75	28,50	28,50	29,00
	q	0,0261	0,0197	0,0205	0,0211	0,0208	0,0206	0,0233	0,0220	0,0229	0,0199	0,0234	0,0228	0,0240
80	Uz	85,51	91,35	91,86	56,67	117,36	103,58	111,49	95,69	99,51	100,28	87,02	75,54	91,35
	Ts	29,00	31,75	31,00	30,00	30,50	32,75	31,12	32,25	32,50	33,00	34,25	34,50	34,00
	Tu	26,75	27,75	27,35	26,75	27,60	28,00	28,00	29,00	28,25	27,25	30,00	30,00	29,50
	q	0,0209	0,0224	0,0219	0,0213	0,0227	0,0224	0,0232	0,0245	0,0229	0,0208	0,0256	0,0255	0,0247

(*) Uz = velocidade do vento a altura z (cm.seg⁻¹)

Ts = temperatura do bulbo seco (°C)

Tu = temperatura do bulbo úmido (°C)

q = umidade específica

H = hora

P = parâmetros

Tabela 3. Valores obtidos por perfil, de velocidade de vento (U_z), temperatura do bulbo seco (T_s), temperatura do bulbo úmido (T_u) e umidade específica (q).
Dados referentes ao dia 17/02/77.

Altura (cm)	H P	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
320	Uz	140,40	137,75	204,50	255,00	194,00	23,60	190,75	161,48	77,50	210,25
	Ts	21,25	24,00	27,75	27,75	29,50	30,00	30,50	30,25	29,75	30,00
	Tu	18,75	20,75	21,00	22,50	20,50	22,25	22,00	22,50	22,00	21,50
	q	0,0128	0,0144	0,0129	0,0152	0,0113	0,0137	0,0131	0,0139	0,0134	0,0125
240	Uz	128,07	177,33	184,83	274,00	180,66	125,44	178,75	145,33	72,06	188,91
	Ts	20,75	24,75	27,75	28,25	29,75	30,00	31,25	30,25	29,75	29,50
	Tu	18,75	21,00	22,00	22,75	20,75	22,25	22,50	22,50	22,00	21,50
	q	0,0131	0,0144	0,0144	0,0153	0,0115	0,0137	0,0135	0,0139	0,0134	0,0127
160	Uz	110,01	152,34	157,53	234,25	156,00	108,18	156,31	123,20	64,55	159,86
	Ts	22,00	25,50	29,25	28,50	30,50	30,75	32,00	30,75	30,25	30,25
	Tu	19,25	21,00	23,00	23,00	21,00	22,50	22,75	23,00	22,00	22,00
	q	0,0132	0,0140	0,0152	0,0156	0,0115	0,0137	0,0135	0,0145	0,0173	0,0132
80	Uz	70,69	99,68	99,84	142,10	100,02	72,91	105,46	77,50	46,47	97,64
	Ts	22,00	26,00	30,00	28,50	30,50	32,25	32,00	30,75	30,50	30,25
	Tu	19,75	22,25	25,25	24,25	22,50	23,75	23,75	24,25	23,25	22,50
	q	0,0139	0,0157	0,0186	0,0177	0,0138	0,0149	0,0151	0,0166	0,0173	0,0139

(*) Uz = velocidade do vento a altura z (cm.seg⁻¹)

Ts = temperatura do bulbo seco (°C)

Tu = temperatura do bulbo úmido (°C)

q = umidade específica

H = hora

P = parâmetros

Tabela 4. Valores obtidos por perfil, de velocidade de vento (U_z), temperatura do bulbo seco (T_s), temperatura do bulbo úmido (T_u) e umidade específica (q).
Dados referentes ao dia 18/02/77.

Altura (cm)	H P	9:00	9:20	9:40	10:00	10:20	10:40	11:00	11:20	11:40
320	Uz	70,44	269,25	304,00	251,75	258,00	256,00	158,75	203,50	158,16
	Ts	28,25	30,25	30,50	30,75	31,25	31,75	32,75	34,00	33,50
	Tu	23,50	24,50	24,25	25,00	25,00	25,00	25,25	26,00	26,75
	q	0,0163	0,0172	0,0167	0,0178	0,0176	0,0173	0,0173	0,0180	0,0196
240	Uz	67,13	244,75	287,00	202,50	244,00	233,25	155,87	182,25	146,43
	Ts	29,00	29,50	29,75	30,75	31,00	31,75	33,00	33,25	33,50
	Tu	23,75	24,50	24,25	25,00	25,00	25,00	25,75	26,50	26,75
	q	0,0166	0,0176	0,0170	0,0178	0,0177	0,0178	0,0180	0,0193	0,0196
160	Uz	60,24	164,50	245,75	176,75	204,75	198,00	136,49	158,42	130,74
	Ts	29,75	30,25	30,75	31,25	31,75	32,75	34,00	34,00	33,50
	Tu	24,00	24,75	24,75	25,50	26,00	26,00	26,25	26,75	26,75
	q	0,0166	0,0177	0,0174	0,0185	0,0191	0,0256	0,0184	0,0193	0,0196
80	Uz	44,18	130,88	185,40	123,22	125,00	133,94	98,00	114,43	92,88
	Ts	31,00	30,50	32,00	31,25	33,00	34,00	36,00	34,25	35,75
	Tu	26,25	26,75	26,75	26,75	28,25	26,75	27,50	29,50	28,00
	q	0,0199	0,0211	0,0203	0,0207	0,0227	0,0194	0,0193	0,0246	0,0208
Altura (cm)	H P	12:00	12:20	12:40	13:00	13:20	13:40	14:00	14:20	14:40
320	Uz	123,48	133,43	194,50	229,00	66,87	155,61	71,97	89,31	135,21
	Ts	34,00	34,25	34,00	33,50	34,00	34,25	32,50	32,25	31,75
	Tu	26,75	27,00	26,00	25,25	25,00	25,75	25,75	24,25	24,75
	q	0,0194	0,197	0,0180	0,0169	0,0162	0,0174	0,0183	0,0158	0,0169
240	Uz	117,36	124,36	181,25	211,75	60,00	134,19	56,67	78,00	115,32
	Ts	34,00	35,25	33,50	33,50	34,00	34,25	32,50	32,25	31,75
	Tu	26,75	27,50	26,00	25,25	25,50	25,75	25,75	24,25	24,75
	q	0,0194	0,0202	0,0182	0,0169	0,0171	0,0174	0,0183	0,0158	0,0169
160	Uz	104,39	108,95	160,50	183,50	54,63	128,50	50,61	65,59	96,43
	Ts	34,50	36,25	34,25	33,25	34,50	34,75	33,00	32,75	31,50
	Tu	27,25	28,00	27,00	25,50	26,25	27,00	25,75	25,25	23,75
	q	0,0200	0,0206	0,0197	0,0175	0,0182	0,0194	0,0180	0,0173	0,0173
80	Uz	74,52	78,86	112,52	116,85	40,09	81,92	35,51	40,86	57,59
	Ts	34,50	36,25	34,25	33,25	33,75	34,75	32,50	32,00	30,25
	Tu	28,75	28,50	28,75	25,50	26,75	27,25	27,50	26,75	25,25
	q	0,0229	0,0217	0,0230	0,0185	0,0195	0,0199	0,0215	0,0203	0,0185

(*) U_z = velocidade do vento a altura z ($\text{cm} \cdot \text{seg}^{-1}$)

T_s = temperatura do bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)

T_u = temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$)

q = umidade específica

H = hora

P = parâmetros

Tabela 10. Perfis de vento normalizados do dia 23/01/77
obtidos através da razão U_z/U_{80}

Altura (cm)	80	160	240	320
Hora				
6:45	1	1,33	1,59	1,63
7:05	1	1,42	1,67	1,77
7:25	1	1,38	1,57	1,64
7:45	1	1,25	1,44	1,53
8:05	1	1,34	1,49	1,54
8:25	1	1,44	1,65	1,74
8:45	1	1,33	1,49	1,55
9:05	1	1,38	1,56	1,66
9:25	1	1,44	1,60	1,73
9:45	1	1,47	1,71	1,87
10:05	1	1,50	1,69	1,84
10:25	1	1,41	1,60	1,73
10:45	1	1,48	1,73	1,91
11:05	1	1,44	1,62	1,75
11:25	1	1,39	1,53	1,66
11:45	1	1,48	1,65	1,75
12:05	1	1,43	1,65	1,76
12:25	1	1,49	1,72	1,87
12:45	1	1,44	1,64	1,81
13:05	1	1,40	1,54	1,67
13:25	1	1,49	1,68	1,78
13:45	1	1,25	1,38	1,42
14:05	1	1,47	1,69	1,86
14:25	1	1,40	1,56	1,63
14:45	1	1,42	1,59	1,72
15:05	1	1,32	1,44	1,44
15:25	1	1,44	1,66	1,81
Perfil Médio	1	1,41	1,59	1,71

C.V. = 7,76%

Amplitudes de variação: 320cm: 1,42 - 1,91
240cm: 1,38 - 1,73
160cm: 1,25 - 1,50

Tabela 11. Perfis de vento normalizados do dia 25/01/77
obtidos através da razão U_z/U_{80}

Altura (cm)	80	160	240	320
Hora				
7:35	1	1,27	1,41	1,57
7:55	1	1,31	1,41	1,57
8:15	1	1,30	1,45	1,51
8:35	1	1,57	1,77	1,89
8:55	1	1,55	1,75	1,89
9:15	1	1,42	1,60	1,68
9:35	1	1,47	1,59	1,69
9:55	1	1,44	1,57	1,67
10:15	1	1,45	1,64	1,73
10:35	1	1,35	1,53	1,64
10:55	1	1,30	1,44	1,52
11:15	1	1,40	1,56	1,65
11:35	1	1,38	1,56	1,65
11:55	1	1,42	1,54	1,56
12:15	1	1,38	1,49	1,55
12:35	1	1,48	1,69	1,75
12:55	1	1,30	1,45	1,52
13:15	1	1,46	1,67	1,77
13:35	1	1,49	1,66	1,77
13:55	1	1,43	1,57	1,61
14:15	1	1,43	1,62	1,69
14:35	1	1,51	1,69	1,79
14:55	1	1,44	1,64	1,73
15:15	1	1,44	1,65	1,74
15:35	1	1,40	1,56	1,66
15:55	1	1,48	1,77	1,93
Perfil Médio	1	1,42	1,58	1,68

C.V. = 6,83%

Amplitudes de variação: 320cm: 1,52 - 1,93
240cm: 1,41 - 1,77
160cm: 1,27 - 1,57

Tabela 12. Perfis de vento normalizados do dia 17/02/77
obtidos através da razão U_z/U_{80}

Hora	Altura (cm)	80	160	240	320
9:00		1	1,36	1,52	1,59
9:20		1	1,26	1,87	2,06
9:40		1	1,32	1,54	1,63
10:00		1	1,43	1,64	2,04
10:20		1	1,64	1,95	2,14
10:40		1	1,48	1,74	1,91
11:00		1	1,39	1,59	1,72
11:20		1	1,38	1,59	1,77
11:40		1	1,41	1,57	1,70
12:00		1	1,40	1,57	1,65
12:20		1	1,38	1,58	1,69
12:40		1	1,43	1,61	1,73
13:00		1	1,57	1,81	1,96
13:20		1	1,36	1,50	1,66
13:40		1	1,44	1,64	1,90
14:00		1	1,42	1,60	2,03
14:20		1	1,60	1,91	2,18
14:40		1	1,67	1,99	2,34
Perfil Médio		1	1,44	1,68	1,87

C.V. = 11,83%

Amplitudes de variação: 320cm: 1,59 - 2,34

240cm: 1,52 - 1,99

160cm: 1,26 - 1,67

Tabela 13. Perfis de vento normalizados do dia 18/02/77
obtidos através da razão U_z/U_{80}

Hora	Altura (cm)			
	80	160	240	320
8:30	1	1,56	1,81	1,98
9:30	1	1,53	1,78	1,98
10:30	1	1,58	1,85	2,05
11:30	1	1,65	1,93	2,10
12:30	1	1,56	1,81	1,95
13:30	1	1,48	1,72	1,83
14:30	1	1,48	1,69	1,86
15:30	1	1,59	1,88	2,08
16:30	1	1,39	1,55	1,67
17:30	1	1,64	1,93	2,15
Perfil Médio	1	1,54	1,80	1,96

C.V. = 7,40%

Amplitude de variação: 320cm: 1,67 - 2,15
240cm: 1,55 - 1,93
160cm: 1,39 - 1,65

Tabela 16. Valores de densidade dos fluxos de momentum (τ), calor latente (LE), calor sensível (H) e velocidade de atrito (U^*), para cada perfil do dia 23/01/77.

Hora	$\frac{\partial U}{\partial n(z-d)}$	U^* cm.seg ⁻¹	$\tau \times 10^{-3}$ g.cm ⁻¹ .seg ⁻¹	$\frac{\partial q}{\partial U} \times 10^{-5}$	LE $\times 10^{-4}$ cal.cm ⁻² .seg ⁻¹	$\frac{\partial T}{\partial U} \times 10^{-3}$	H $\times 10^{-4}$ cal.cm ⁻² .seg ⁻¹
6:45	13,33	15,46	279,64	- 8,00	-131,99	-45,00	-30,20
7:05	27,27	11,18	146,24	- 0,20	- 1,71	- 0,57	- 0,20
7:25	26,00	10,66	132,93	- 4,25	- 33,33	-17,20	- 5,48
7:45	15,00	6,15	44,25	- 4,33	- 11,32	-40,00	- 4,25
8:05	11,10	4,55	24,22	-11,50	- 16,40	-240,00	-13,95
8:25	28,88	9,69	109,85	- 6,00	- 38,88	-100,00	-26,36
8:45	22,48	9,22	99,46	- 3,50	- 20,53	-80,00	-19,09
9:05	27,48	11,27	148,60	- 1,08	- 9,44	-35,00	-12,49
9:25	37,48	15,37	276,39	- 1,75	- 28,55	-31,70	-21,03
9:45	85,00	34,85	1.420,99	- 1,00	- 83,83	0,0	0,0
10:05	62,85	25,77	776,98	- 2,38	-109,09	- 5,00	- 9,32
10:25	42,48	17,42	355,04	- 1,38	- 28,85	-41,10	-35,02
10:45	53,83	22,07	569,89	- 1,00	- 33,57	- 3,22	- 4,40
11:05	55,54	22,77	606,61	- 1,28	- 45,78	-10,70	-15,57
11:25	43,31	17,76	369,04	- 6,75	-146,97	-44,20	-39,15
11:45	44,44	18,22	388,40	- 3,33	- 76,28	-21,60	-20,13
12:05	39,58	16,23	308,19	- 3,07	- 55,81	-27,20	-20,12
12:25	43,32	17,76	369,04	- 4,50	- 97,99	- 6,06	- 5,36
12:45	30,00	12,30	177,00	- 1,50	- 15,63	- 6,60	- 2,80
13:05	40,00	16,40	314,58	- 6,40	-118,82	- 3,03	- 2,28
13:25	40,00	16,40	314,68	- 3,16	- 58,64	-32,50	-24,54
13:45	11,34	4,65	25,29	-37,00	- 55,22	- 5,20	- 0,31
14:05	38,46	15,77	290,97	- 3,63	- 62,30	- 7,50	- 5,24
14:25	16,66	6,83	54,58	- 7,66	- 24,66	- 7,40	- 0,96
14:45	21,29	8,73	89,17	- 1,26	- 6,60	-59,10	-12,65
15:05	13,19	5,41	34,24	-11,17	- 22,53	-65,40	- 5,37
15:25	28,00	11,48	154,19	- 6,57	- 59,76	0,0	0,0
Média do Período		14,23					
Total no Período					-1673376,00 (= 2,83mm)		-403668,00

Tabela 17. Valores de densidade dos fluxos de momentum (τ), calor latente (LE), calor sensível (H) e velocidade de atrito (U^*), para cada perfil do dia 25/01/77.

Hora	$\frac{\partial U}{\partial n(z-d)}$	U^* cm·seg ⁻¹	$\tau \times 10^{-3}$ g·cm ⁻¹ ·seg ⁻¹	$\frac{\partial q}{\partial U} \times 10^{-5}$	LE $\times 10^{-4}$ cal·cm ⁻² ·seg ⁻¹	$\frac{\partial T}{\partial U} \times 10^{-3}$	H $\times 10^{-4}$ cal·cm ⁻² ·seg ⁻¹
7:35	20,00	8,20	78,67	2,75	-12,76	20,30	- 3,83
7:55	5,44	2,23	5,82	- 9,66	- 3,31	- 3,30	- 0,04
8:15	12,20	5,04	29,72	-12,50	-21,91	-46,60	- 3,32
8:35	40,97	16,80	330,22	- 2,42	-47,14	-25,00	-19,81
8:55	34,00	22,14	573,51	- 0,44	-14,88	- 8,80	-12,11
9:15	28,56	11,71	160,44	- 5,20	-49,22	-28,30	-10,89
9:35	22,22	9,11	97,10	- 5,96	-34,14	-25,00	- 5,82
9:55	28,56	11,71	160,43	- 8,40	-79,51	-58,00	-22,33
10:15	30,00	12,30	177,00	- 4,03	-42,08	- 1,00	-42,48
10:35	22,85	9,37	102,72	- 7,16	-43,39	-46,00	-11,34
10:55	20,00	8,20	78,67	-10,00	-46,41	-38,30	- 7,23
11:15	22,85	9,37	102,72	- 4,83	-29,27	-24,00	- 5,91
11:35	26,66	10,93	139,77	- 6,52	-53,76	-18,50	- 6,20
11:55	22,22	9,11	97,10	- 6,83	-39,13	-10,80	- 2,51
12:15	20,00	8,20	78,67	- 5,66	-26,27	- 4,60	- 0,86
12:35	38,46	15,77	290,97	- 4,75	-81,54	- 8,33	- 5,81
12:55	16,00	6,56	50,35	- 2,80	- 8,31	-26,00	- 3,14
13:15	48,00	19,68	453,14	- 2,66	-71,11	- 1,50	- 1,63
13:35	38,70	15,87	294,67	- 2,95	-51,28	-30,00	-21,21
13:55	42,86	17,57	361,18	- 5,66	-120,61	- 5,00	- 4,33
14:15	35,00	14,35	240,93	- 6,25	-88,84	-12,80	- 7,40
14:35	40,00	16,40	314,68	- 7,16	-132,93	10,00	7,55
14:55	37,48	15,37	276,39	- 2,28	-37,17	- 6,80	- 4,51
15:15	33,32	13,66	218,32	- 6,60	-85,01	-36,00	-18,86
15:35	26,00	10,66	132,95	- 9,25	-72,55	-22,50	- 7,19
15:55	45,00	18,45	398,27	- 4,33	-101,75	- 6,20	- 5,92
Média do Período		12,26					
Total no Período					-1673136,00 (= 2,83mm)		-229488,00

Tabela 18. Valores de densidade dos fluxos de momentum (τ), calor latente (LE), calor sensível (H) e velocidade de atrito (U_*), para cada perfil do dia 17/02/77.

Hora	$\frac{\partial U}{\partial \ln(z-d)}$	$U_* \cdot \text{seg}^{-1}$ cm·seg ⁻¹	$\tau \times 10^{-3}$ g·cm ⁻¹ ·seg ⁻¹	$\frac{\partial q}{\partial U} \times 10^{-5}$	LE $\times 10^{-4}$ cal·cm ⁻² ·seg ⁻¹	$\frac{\partial T}{\partial U} \times 10^{-3}$	H $\times 10^{-4}$ cal·cm ⁻² ·seg ⁻¹
8:30	34,29	14,06	231,29	-15,00	-204,69	-40,00	-22,80
9:30	48,88	20,04	469,87	- 1,62	- 44,91	-22,00	-24,81
10:30	54,29	22,26	579,74	- 5,28	-180,60	-30,00	-41,74
11:30	77,75	31,88	1.189,11	- 1,44	-101,02	- 5,50	-15,69
12:30	47,48	19,47	443,52	- 2,80	- 73,27	-14,30	-15,22
13:30	30,00	12,30	177,00	- 2,25	- 23,29	-40,00	-16,99
14:30	46,00	18,86	416,17	- 1,91	- 46,89	-20,58	-20,55
15:30	41,60	17,08	341,32	- 3,83	- 77,13	- 8,90	- 7,29
16:30	16,34	6,70	152,52	-20,00	- 61,97	-30,50	- 3,84
17:30	56,41	23,13	625,95	- 1,25	- 46,16	- 5,50	- 8,26
Média do Período		18,57					
Total no Período					-3096468,00 (= 5,24mm)		-637884,00

Tabela 19. Valores de densidade dos fluxos de momentum (τ), calor latente (LE), calor sensível (H) e velocidade de atrito (U_*), para cada perfil do dia 18/02/77.

Hora	$\frac{\partial U}{\partial n(z-d)}$	$U_* \cdot \text{cm} \cdot \text{seg}^{-1}$	$\tau \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{seg}^{-1}$	$\frac{\partial Q}{\partial U} \times 10^{-5}$	$LE \times 10^{-4} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$	$\frac{\partial T}{\partial U} \times 10^{-3}$	$H \times 10^{-4} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$
9:00	13,32	5,46	- 34,28	-15,00	- 30,33	-106,00	- 8,72
9:20	70,00	28,70	-949,24	- 1,75	- 97,80	- 5,00	-11,36
9:40	64,00	26,24	-791,82	- 2,00	- 93,43	-17,10	-32,49
10:00	60,00	24,60	-695,93	- 2,50	-102,64	- 8,30	-13,86
10:20	70,00	28,70	-949,24	- 3,75	-209,57	-15,00	-34,10
10:40	62,49	25,62	-754,84	- 2,27	-101,09	-20,30	-36,77
11:00	40,00	16,40	-309,30	- 3,57	- 65,14	-50,00	-37,11
11:20	46,14	18,92	-411,66	- 6,75	-163,94	- 31,20	-30,82
11:40	32,49	13,32	-204,03	- 2,27	- 27,32	- 43,30	-21,20
12:00	26,00	10,66	-130,68	- 7,60	- 58,59	-15,00	- 4,70
12:20	28,00	11,48	-151,56	- 3,50	- 31,29	- 41,40	-15,05
12:40	42,85	17,57	-355,01	- 6,50	-136,14	- 8,80	- 7,49
13:00	57,12	23,42	-630,77	- 0,66	- 24,56	3,70	5,60
13:20	12,80	5,25	- 31,69	-12,60	- 23,55	- 6,00	- 0,45
13:40	37,49	15,37	-271,67	- 5,57	- 89,27	-12,50	- 8,15
14:00	13,63	5,59	- 35,93	-13,57	- 28,76	-12,50	- 1,07
14:20	25,70	10,54	-127,75	-10,00	- 75,37	- 4,00	- 1,22
14:40	35,70	14,64	-266,48	- 2,14	- 31,12	25,00	14,78
Média do Período		16,80					
Total no Período					-1667892,00 (= 2,82mm)		-339732,00