

ESTIMATIVA DO INÍCIO DA FORMAÇÃO DE ORVALHO EM CAFEZAL POR MEIO DOS PERFIS VERTICAIS DE UMIDADE ABSOLUTA DO AR^{1/}

Fernando José Lino do Nascimento^{2/}
Antonio Tubelis^{2/}

1. INTRODUÇÃO

O orvalho é uma das fontes de molhamento vegetal que concorre para a infecção de cafeeiros pela ferrugem alaranjada e pela antracnose.

Wells, em 1815, foi o primeiro pesquisador que explicou o fenômeno do orvalho em termos da radiação e da condensação do vapor d'água atmosférico. Rejeitou as idéias prévias de condensação do vapor d'água proveniente do solo. AITKEN, em 1885, reviveu-as, quando verificou experimentalmente que ocorria perda de peso de tabuleiros com solo quando o orvalho estava-se formando. Após WELLS e AITKEN, ocorreu um longo período em que se acrescentou muito pouco ao conhecimento da formação do orvalho. O reexame do assunto foi feito depois do desenvolvimento de novas técnicas de estudo dos fluxos de vapor d'água junto ao solo (5).

Tratando o fluxo de vapor d'água como um fenômeno de transporte turbulento, verificou-se que, durante a noite, a umidade absoluta do ar aumentava com a altura, indicando um fluxo descendente de vapor d'água, associado com a formação de orvalho sobre a grama (1, 2, 7).

^{1/} Trabalho realizado sob os auspícios da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e do Convênio Instituto Brasileiro do Café-Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura-Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu.

Recebido para publicação em 22-02-1980.

^{2/} Departamento de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista «Júlio de Mesquita Filho». 18600 Botucatu, SP.

Encontrando a superfície vegetal a uma temperatura igual ou inferior à temperatura do ponto de orvalho da massa de ar, o vapor d'água, proveniente do solo ou da atmosfera, condensa-se sobre essa superfície e libera uma quantidade de calor latente proporcional à massa de vapor condensado (3, 4).

O processo de formação de orvalho em grama foi caracterizado pela atuação de dois mecanismos: destilação («distillation»), no qual o vapor d'água do ar é proveniente do solo, e precipitação de orvalho («dewfall»), no qual o vapor d'água do ar provém da atmosfera acima da vegetação (5).

Verificou-se que o perfil de tensão de vapor, dentro e acima de plantações de grama, couve-de-bruxelas, batata e trigo, apresentava-se decrescente com a altura em noites sem formação de orvalho sobre a vegetação, indicando que o vapor escapava continuamente do solo. Em noites com formação de orvalho, o perfil apresentava uma inversão de gradiente abaixo do topo da cultura, indicando que, nessas ocasiões, o solo perdia umidade continuamente, e ocorria, da atmosfera para a cultura, um fluxo descendente de vapor (4).

Medidas feitas em cultura de trigo mostraram que até 60 cm acima do solo as condensações ocorriam por destilação e acima desse nível por precipitação de orvalho (2).

A expressão de PASQUILL (7) para cálculo dos fluxos verticais de vapor d'água acompanhou bem o curso da formação de orvalho por precipitação sobre falso centeio. A expressão proposta é a seguinte:

$$E = \frac{K^2 [1 - (u_1 / u_2)]}{[1/n(z_2/z_1)]^2} \rho u_2 (q_1 - q_2) \quad (1)$$

em que

E = fluxo vertical de vapor d'água ($\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$);

K = constante de von Kármán;

ρ = densidade do ar (g cm^{-3});

q = umidade específica do ar (g g^{-1});

u = velocidade do vento (cm s^{-1});

z = altura acima da superfície (cm);

1;2 = níveis de medição (25 e 50 cm).

Se se considerar

$$a = \frac{K^2 [1 - (u_1/u_2)]}{[1/n(z_2/z_1)]^2} u_2$$

e que

$$d = \rho q$$

sendo d a umidade absoluta (g cm^{-3}), a expressão 1 simplifica-se para

$$E = a (d_1 - d_2) \quad (2)$$

Desde que a seja um valor positivo, os momentos de início de formação de orvalho por precipitação serão fornecidos pelos momentos em que o valor da expressão 2 passa de positivo para negativo. Um sinal positivo para aquela expressão

significa um fluxo ascendente, ou seja, perda de vapor d'água pela cultura, ao passo que um sinal negativo indicará um fluxo descendente, ou seja, entrada de vapor na cultura.

Neste trabalho procurou-se constatar, com respeito à formação de orvalho sobre a superfície vegetal do cafeeiro:

- a) a ocorrência da destilação e da precipitação de orvalho;
- b) se os perfis verticais de umidade absoluta permitem estimar os momentos de início da formação de orvalho;
- c) se a expressão 2 permite estimar os momentos de início da formação de orvalho por precipitação.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. *Instrumental de Temperatura e Umidade do Ar*

As medições de temperatura e umidade do ar foram feitas com psicrômetros de aspiração em dois termômetros de coluna de mercúrio, escala de -15 a $+61^{\circ}\text{C}$ e divisões de $0,2^{\circ}\text{C}$ (6).

A aspiração dos psicrômetros foi feita à distância, por uma bomba de sucção. A ligação dos psicrômetros à bomba foi feita por dutos plásticos flexíveis, de 32 mm de diâmetro interno e 8 m de comprimento.

Foram utilizados 5 psicrômetros, montados em haste única, instalados a 0,55 m, 1,10 m, 1,65 m, 2,20 m e 2,75 m do solo, com as tomadas de ar a 10 cm da face poente das plantas.

2.2. *Instrumental de Temperatura do Solo*

A medida da temperatura do solo foi feita por geotermômetros de coluna de mercúrio, escala -13 a $+62^{\circ}\text{C}$, divisões de $0,2^{\circ}\text{C}$, inclinação de 120° , para profundidades de 5, 10 e 20 cm.

2.3. *Instrumental de Velocidade do Vento*

Utilizou-se um anemômetro mecânico totalizador, com três conchas hemisféricas, para velocidades de vento de 1 a 60 m/s e com velocidade limiar de 0,5 m/s, instalado a 2 m acima do nível médio das plantas.

2.4. *Local dos Estudos*

Os estudos foram realizados na Estação Experimental «Presidente Médici», no município de Botucatu, em cafezal «Mundo Novo», com aproximadamente 10 anos de idade, plantado em Latossolo Vermelho-Amarelo de meia encosta, com 8% de declividade e exposição poente.

2.5. *Técnicas de Medida*

Os momentos de início e a evolução da formação de orvalho sobre a superfície vegetal do cafeeiro foram determinados pela inspeção visual da folhagem nas mesmas alturas da aspiração dos psicrômetros. As observações foram contínuas durante o período.

O sistema de aspiração era acionado um minuto antes de se proceder às leituras dos psicrômetros. O observador entrava na linha de plantas a sotavento das

tomadas de ar dos psicrômetros, e lia em voz alta as temperaturas, que eram anotadas por um segundo observador, colocado à distância. Com isso, procurava-se diminuir a possível influência do corpo humano no microclima da cultura.

As leituras eram feitas a cada 30 minutos.

2.6. Estimativa da Temperatura e da Umidade do Ar junto ao Solo

A temperatura do ar junto ao solo foi considerada igual à temperatura da superfície do solo, a qual foi extrapolada a partir das medições de temperatura do solo.

Como o ar em contacto com o solo é considerado saturado de vapor d'água (5), calculou-se sua umidade absoluta como sendo a de saturação na temperatura da superfície do solo.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO

3.1. Perfis Verticais de Umidade Absoluta do Ar

Na noite representada na Figura 1 ocorreram 4 formações de orvalho, que se iniciaram no nível de 0,55 m e se propagaram para os níveis de 1,10 m e 1,65 m, sem atingir o topo das plantas. A superfície do solo comportou-se como fonte contínua de vapor d'água para todas as formações de orvalho (4). Dessa forma, tais formações ocorreram por destilação (2, 5).

Independentemente da inclinação dos perfis de umidade absoluta do ar, as formações foram-se sucedendo. A análise isolada da inclinação dos perfis de umidade absoluta do ar não permitiu identificar o nível em que estava ocorrendo formação de orvalho.

Na noite representada na Figura 2 ocorreram 3 formações de orvalho. A primeira ocorreu por destilação, ao passo que na segunda a condensação iniciou-se no topo das plantas e propagou-se para os níveis de 2,20 m e 1,65 m. Essa segunda formação estava associada com uma inversão no perfil de umidade absoluta do ar, acima de 1,65 m, que indicava uma entrada superior de vapor d'água para a cultura, caracterizando um processo de precipitação de orvalho (2, 4, 5). A terceira formação iniciou-se por destilação, nos níveis de 0,55 m e 1,10 m, tendo seqüência por precipitação de orvalho, nos níveis de 1,65 m e 2,20 m.

Do exposto, verifica-se que as formações de orvalho por destilação estavam ligadas a um fluxo ascendente de vapor do solo e as causadas por precipitação de orvalho a um fluxo descendente de vapor, da atmosfera para o interior da cultura. A existência dos fluxos, por si só, não permitiu afirmar onde e quando teve início a formação de orvalho. Percebe-se que o molhamento da superfície vegetal do cafeiro por orvalho foi consequência do vapor d'água proveniente do solo e da atmosfera acima da cultura.

A análise dos perfis verticais médios da umidade absoluta, para as 3 noites com ocorrência simultânea de destilação e precipitação de orvalho, revela que ocorreu um fluxo ascendente de vapor d'água do solo e um fluxo descendente de vapor da atmosfera para a cultura. Esses resultados concordam com a caracterização das noites de formação de orvalho como as que apresentam um fluxo vertical médio noturno de vapor d'água descendente da atmosfera para a cultura (4). Numa noite com destilação e precipitação, a inversão do perfil de umidade absoluta não foi detectada, devendo ter-se localizado acima dos níveis de medição. Numa noite com destilação somente, a inversão no gradiente de umidade absoluta não foi constatada, e pode não ter ocorrido.

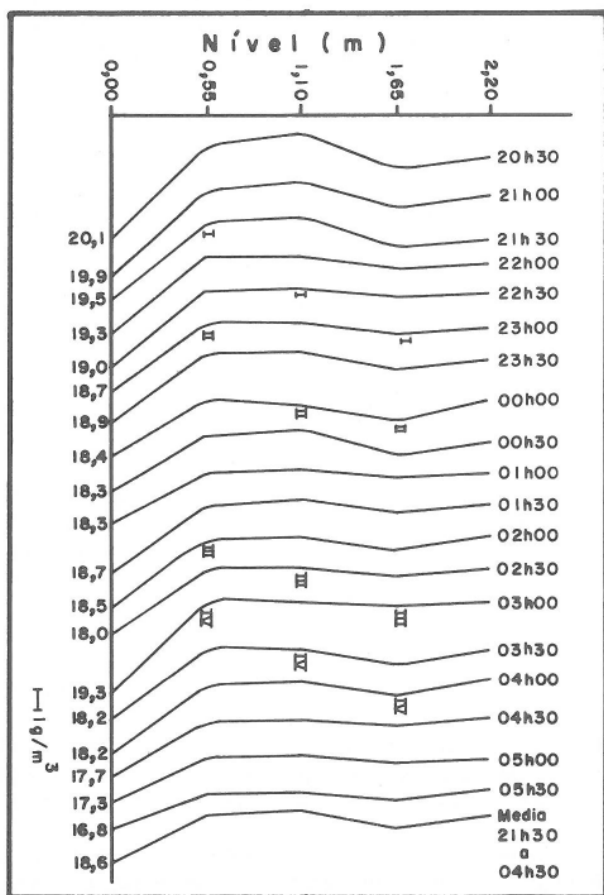


FIGURA 1 - Perfis verticais de umidade absoluta do ar para a noite de 10 a 11/12. Os algarismos romanos representam os inícios de formação de orvalho.

Nas noites observadas, a formação de orvalho a 0,55 m e 1,10 m ocorreu somente por destilação, ao passo que no topo das plantas ocorreu somente por precipitação. Nos níveis de 1,65 m e 2,20 m ocorreram formações de orvalho por precipitação, por destilação e pelos dois processos simultaneamente.

3.2. Fórmula do Fluxo Vertical de Vapor D'água

A análise dos perfis verticais de umidade absoluta do ar mostrou que o orvalho, no cafezal, ocorreu por meio de dois mecanismos distintos, quais sejam: destilação e precipitação. A fórmula proposta no item 1, para determinação dos momentos de início de formação de orvalho, implica a ocorrência de um fluxo descendente de vapor d'água para o interior da cultura, e, por conseguinte, foi proposta para indicar os momentos de início de formação por precipitação. Nessas condições, a fórmula será deficiente sempre que ocorrer formação de orvalho so-

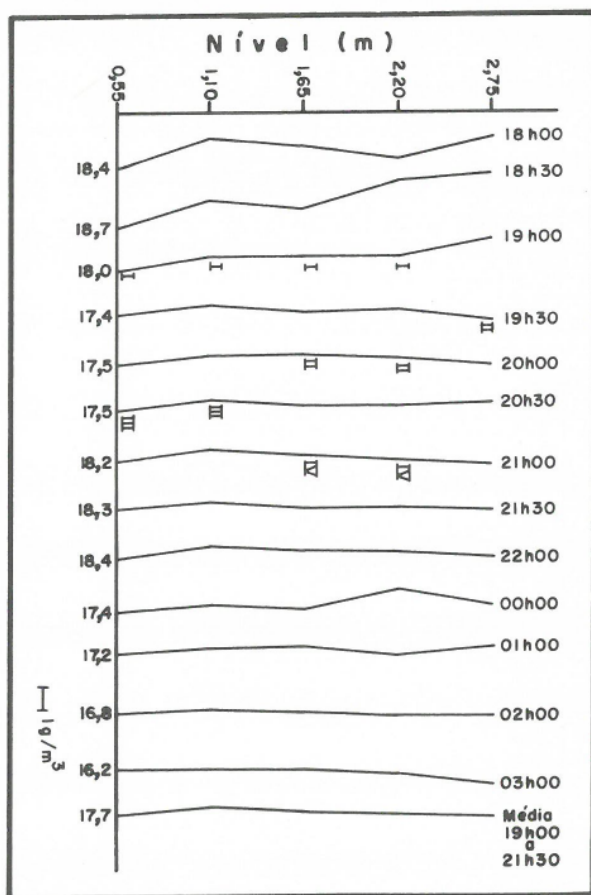


FIGURA 2 - Perfis verticais de umidade absoluta do ar para a noite de 12 a 13/03. Os algarismos romanos representam os inícios de formação de orvalho.

mente por destilação, podendo-se estimar o início das formações de orvalho quando os processos forem de precipitação e destilação em conjunto. Em vista disso, analisou-se a utilização da fórmula nas condições recomendadas.

A aplicação da fórmula entre os níveis de 2,20 m e 2,75 m (intervalo 2) e 1,10 m e 2,75 m (intervalo 3), para uma noite com orvalho, encontra-se na Figura 3.

Não houve correspondência entre a fórmula e o fenômeno nos três intervalos, isto é, em alguns períodos a fórmula indicava formação de orvalho quando este não se estava formando, e em outros indicava a não-formação de orvalho quando o fenômeno estava ocorrendo.

A fórmula não individualizou as formações de orvalho em nenhum intervalo, porém mostrou-se razoável na individualização do início da primeira formação de orvalho, quando utilizada para os intervalos 2 e 3. Para 3 das 4 noites analisadas a função tornou-se negativa, para os intervalos 2 e 3, 15 minutos antes da visualização do orvalho, em média.

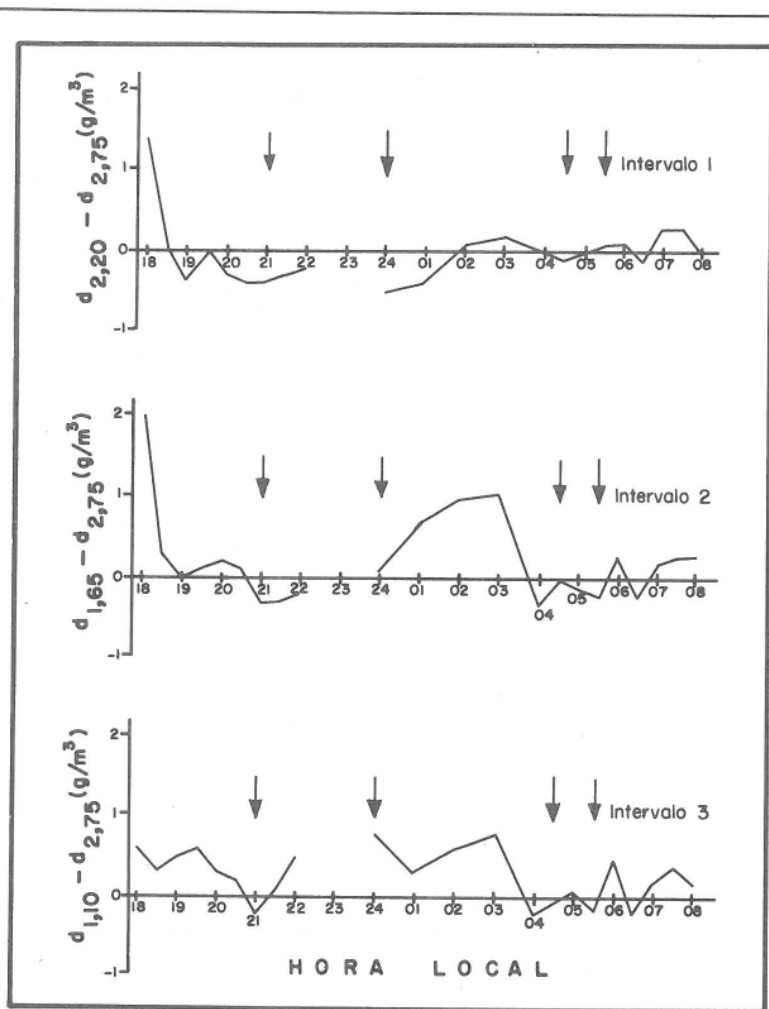


FIGURA 3 - Aplicação da fórmula do fluxo vertical de vapor d'água para a noite de 19 a 20/03. As setas indicam os inícios de formação de orvalho por precipitação.

A não-correspondência entre a fórmula e os fenômenos da formação de orvalho no cafezal deve estar ligada ao fato de a expressão de PASQUILL (7) ser um modelo aerodinâmico, que expressa os fenômenos de fluxos turbulentos na camada de ar próxima do solo, ao passo que a formação de orvalho é um fenômeno que depende do fluxo de vapor d'água na atmosfera e das características físicas da superfície do vegetal.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Neste trabalho foram considerados os momentos de início de formação de orvalho sobre a superfície vegetal do cafeiro por meio da análise (i) da sequência

dos perfis noturnos de umidade absoluta do ar e (ii) do curso de valores obtidos pela aplicação da fórmula de fluxos verticais de vapor d'água:

$$E = a (d_1 - d_2)$$

em que

E = fluxo de vapor d'água ($\text{g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$);

a = valor positivo, dependente da velocidade do vento, medida em dois níveis ($\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$);

d = umidade absoluta (g cm^{-3}).

A análise da sequência dos perfis de umidade absoluta não permitiu a estimativa dos momentos de formação de orvalho, que ocorreram em condições de existência ou não de fluxos de vapor d'água. O perfil vertical médio de umidade absoluta em noites de orvalho mostrou um fluxo ascendente de vapor d'água do solo e outro descendente da atmosfera para o interior da cultura. O orvalho no cafezal formou-se, portanto, por destilação nas partes inferiores das plantas, por precipitação no topo e, na porção média, pelos dois fenômenos. O nível da inversão do gradiente vertical de umidade absoluta, em noite de orvalho, deve depender das condições ambientes, podendo situar-se dentro ou acima da cultura.

A fórmula do fluxo vertical de vapor d'água não se mostrou válida para estudar a formação de orvalho em cafezal, porque as formações ocorreram por destilação e por precipitação. Para formações de orvalho por precipitação, a fórmula permitiu a individualização da primeira formação em 3 das 4 noites analisadas, sem individualizar as formações seguintes.

5. SUMMARY

This work deals with the study of the initiation of dew formation on coffee tree foliar surfaces by the analysis of:

a) the sequence of absolute humidity profiles of the air; and,

b) the course of values of vertical water vapor flux density obtained by the Pasquill's equation (7):

The analysis of the sequence of absolute humidity profiles of the air did not permit the estimate of the initial moments of dew formation. The nocturnal mean profile of the absolute humidity of the air showed an up-flow of water vapor from the soil and a down-flow from the atmosphere onto the crop.

The vertical water flux density equation is not applicable to the study of the dew formation on the coffee crop because the formations occur both by distillation and by dewfall. For dewfall the equation allowed the individualization of the first formation in 3 of 4 nights and did not allow the individualization of the subsequent dew formations.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. BROOKS, F.A., PRUITT, W.O. & NIELSEN, D.R. *Investigation of energy and mass transfers near the ground including the influence of the soil-plant-atmosphere system*. Davis, University of California, 1963. 285 p. (Final Report).
2. BURRAGE, S.W. Dew on wheat. *Agr. Meteorol.*, 10:3-12. 1972.

3. LLOYD, M.G. The contribution of dew to the summer water budget of Northern Idaho. *Bull. Am. Met. Soc.*, 42:572-580. 1961.
4. LONG, I.F. Some observations on dew. *Met. Mag.*, 87:161-168. 1958.
5. MONTEITH, J.L. Dew. *Q. Jl. R. Met. Soc.*, 83:22-41. 1957.
6. NASCIMENTO, F.J.L. *Estimativa da formação de orvalho e molhamento foliar em cafezal (Coffea arabica L.) não sombreado*. Botucatu, Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, 1973. 125 p. (Tese de Doutorado).
7. PASQUILL, F. Some estimates of the amount and diurnal variation of evaporation from a clayland pasture in fair spring weather. *Q. Jl. R. Met. Soc.*, 75:249-256. 1949.