

MONITORAMENTO DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA CULTURA DO MILHO COM O TERMÔMETRO INFRAVERMELHO¹

RENILSON TARGINO DANTAS² e TANTRAHAHI VENKATA RAMANA RAO³

RESUMO - O experimento foi conduzido em 1986, para estudar o comportamento do milho (*Zea mays* L.), variedade Jatinam C₃ Anão, quando sujeito a quatro níveis de irrigação (100%, 75%, 50% e 25% da capacidade de campo). O trabalho foi realizado na área experimental do CPATSA/EMBRAPA, em Petrolina, PE, com o objetivo de verificar a possibilidade de monitorar a deficiência hídrica no milho, utilizando uma técnica simples e confiável que emprega os princípios da termometria infravermelha. O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com quatro tratamentos e três repetições, onde cada parcela ocupou uma área de 76,8 m² (12 m x 6,4 m). A irrigação foi feita por sulcos fechados nas extremidades, mediante mangueiras e com auxílio do hidrômetro, e até trinta dias após o plantio todas as parcelas foram mantidas na mesma condição de suprimento de água. Os dados necessários para realização deste trabalho foram coletados durante o ciclo da cultura. Os índices de deficiência diária, da deficiência térmica e da variação de temperatura da cobertura foliar foram utilizados para monitoramento da deficiência hídrica.

Termos para indexação: irrigação por sulcos, temperatura do dossel, resistência estomática.

MONITORING WATER STRESS IN CORN WITH AN INFRARED THERMOMETER

ABSTRACT - An experiment was conducted in 1986 at the field laboratory belonging to CPATSA/EMBRAPA to study the response of corn crop subjected to four different levels of irrigation (100%, 75%, 50% and 25% of field capacity). The objective was to verify the possibility of monitoring the water stress in corn (*Zea mays* L.) using the technique of infrared thermometry. The experimental design consisted of a randomized block design with four irrigation treatments and three replications. Each experimental unit occupied an area of 76.8 m². The irrigation system consisted of furrows blocked at the extremities, and the volume of irrigated water was controlled by means of a water meter. The irrigation treatments were started 30 days after planting. The data utilized in the present work were collected along the whole life cycle of the crop. The indices of Stress Degree Day, Temperature Stress Day and Canopy Temperature Variability were utilized for monitoring the water stress.

Index terms: furrow irrigation, canopy temperature, stomatal resistance.

INTRODUÇÃO

Um dos aspectos da irrigação que tem recebido o interesse de todos é o que se refere ao tempo de sua realização é a quantidade de água a ser aplicada. Muitos agricultores aplicam irrigações sem conhecer as necessidades reais da cultura. O ideal é controlar de forma mais racional possível o ins-

tante e a quantidade de água para atender às necessidades hídricas da planta.

Em geral, técnicas para o estabelecimento de turno de rega para determinadas culturas se baseiam em parâmetros do solo, da planta e da atmosfera. Conhecer a capacidade do campo, o ponto de murcha e a variação da umidade do solo servirá para estimar a perda de água por evapotranspiração e drenagem na zona radicular.

Para determinação da quantidade de água evapotranspirada, alguns métodos utilizam dados de temperatura do ar, radiação líquida, pressão de vapor e a velocidade do vento. Frequentemente, esses métodos utilizam médias obtidas a partir de

¹ Aceito para publicação em 4 de agosto de 1994.

² Meteorologista, M.Sc., Prof.-Assistente, Dep. de Ciências Atmosféricas do CCT-UFPA, CEP 58100-970 Campina Grande, PB.

³ Agrometeorologista, Ph.D., Prof.-Adjunto, Dep. de Ciências Atmosféricas do CCT-UFPA, PB.

uma série pequena de observações, que apresenta um alto coeficiente de variação e o desvio-padrão elevado. Esta situação contribui para a diminuição da confiabilidade dos métodos para estimar a evapotranspiração. Por outro lado, parâmetros relacionados com a planta, como a temperatura do dossel e a resistência estomática obtidos pela medição direta, poderão servir melhor, pois além de ter a maior precisão também incluirão os efeitos do clima e as condições do solo.

Estudos recentes (Lima Filho, 1983; Ramana Rao, 1985; Ramana Rao et al., 1986, etc.) que utilizaram as técnicas de termometria infravermelha indicam que é possível uma determinação rápida de temperatura do dossel de um campo completamente coberto pela cultura ("Full Canopy"). Em geral, quando a água no solo não é fator limitante, a temperatura do dossel da cultura é menor do que a temperatura do seu ambiente. Se a cultura está sujeita a deficiência hídrica, a temperatura do dossel começa a aumentar e pode chegar até alguns graus centígrados acima da temperatura do ambiente antes de atingir o ponto de murcha.

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de monitoramento da deficiência hídrica na cultura do milho (*Zea mays* L.), utilizando uma técnica simples e confiável baseada nos princípios da termometria infravermelha.

Fundamentação teórica

Uma revisão dos fatores meteorológicos, do solo e da planta quando usados como indicadores para irrigação, deve ser considerada principalmente no que se refere à quantificação da deficiência hídrica. Fator da planta, tal como o potencial hídrico, é uma medida que requer numerosas medidas para caracterizar o campo. Medidas de temperatura do dossel podem minimizar este problema; portanto, técnicas utilizadas na determinação da temperatura do dossel não têm sido inteiramente satisfatórias para quantificar a deficiência hídrica da planta.

Neste trabalho, utilizaram-se três índices para tal propósito:

1. Índice de Deficiência Diária (IDD), que é definido como a diferença entre a temperatura do

dossel (T_c), e a temperatura do ar (T), medidas após o meio-dia, próximos ao instante de maior aquecimento.

2. Índice de Deficiência Térmica (IDT), que é definido como a diferença de " T_c " numa cultura em regime de deficiência hídrica, e a mesma cultura bem abastecida.

3. Variação de temperatura do dossel (VTD), que é definida como o intervalo de temperatura encontrado quando medimos, em determinado período, a temperatura da cobertura, em cada parcela.

Dizer que $IDD > 0$, significa dizer que a planta está com deficiência hídrica; dizer que $IDD < 0$, significa dizer que a planta não está com deficiência. Evidências experimentais têm revelado que se o $IDD = 0$, nada se pode concluir, pois não se dispõe de condições apropriadas do meio. Para o cálculo do IDT, precisa-se de uma parcela de referência, nas proximidades do campo em estudo, que esteja em condições de bom abastecimento de água. O valor crítico da VTD, para ser usado como indicativo à irrigação, pode ser influenciado pelo grau de variabilidade das propriedades do solo inerentes ao campo.

O balanço de energia, combinado com a relação aerodinâmica, usado para prever a evaporação de superfícies naturais (Penman, 1948), pode ser anotado utilizando-se a temperatura da superfície, em função da radiação líquida e do déficit da pressão de vapor (Monteith & Szeicz, 1962). Esse método, que resulta num índice de deficiência, é baseado na temperatura, para ser usado com bastante confiança na temperatura, para ser usado com bastante confiança para quantificar a deficiência hídrica da cultura. Foi desenvolvido por Jackson (1982).

Revisão bibliográfica

O uso da temperatura do dossel para detectar plantas com deficiência hídrica é baseado no fato de que, quando elas transpiram, normalmente a temperatura das folhas estará abaixo da temperatura do ar. Quando a água torna-se limitada, a transpiração é reduzida, e a temperatura do dossel aumenta, tornando-se esta acima da temperatura

do ar, em consequência da absorção de radiação solar e fechamento dos estômatos.

Clark & Hiler (1973) comparam o potencial de água nas folhas, a resistência estomatal das folhas, e a diferença de temperatura das folhas medidas através do termômetro infravermelho, na ervilha com deficiência hídrica e na ervilha sujeita a um bom nível de umedecimento. Os resultados mostraram que as plantas com deficiência hídrica apresentam temperatura superior, na ordem de 2°C a 3°C.

Ehrler (1973) verificou diretamente a possibilidade de usar o IDD como guia de turno de rega. Trabalhando no campo experimental com o algodão, colocou termopares nas folhas e fez medições da temperatura do ar e pressão de vapor a 1 m acima do topo da vegetação. Seus resultados mostraram uma variação do IDD no intervalo de -3°C a 2°C, dependendo sobretudo da umidade do solo. Um resultado significativo desse estudo foi demonstrado pela relação existente entre o IDD e o déficit da pressão de vapor.

Sandhu & Horton (1978) trabalharam com aveia, e encontram o IDT variando de 2,5°C a 4,0°C. Estes autores atribuíram como principal causa destes valores a diferença na taxa de transpiração. Blad et al. (1980) encontraram que a temperatura das folhas de um tratamento com deficiência hídrica a uma distância de 2 m de outro tratamento, bem abastecido de água, apresentou IDT igual a 5,9°C.

Tanner (1963) usou a termometria infravermelha para verificar a possibilidade do uso de medidas da temperatura das plantas para detectar a diferença de sua deficiência hídrica quando sujeitas a diferentes regimes de água. Ele reconheceu que somente a temperatura da planta não seria necessária para seu estudo, e sim, também deveria considerar outros fatores que contribuem ativamente na transpiração, assim como a troca de assimilação de calor. Ele ainda concluiu que a temperatura da planta pode ser usada para avaliar qualitativamente um índice em diferentes regimes de água. Com o bom entendimento dos processos de transferência da planta, os índices podem servir para quantificar o seu estado hídrico.

Lima Filho (1983), utilizando a termometria in-

fravermelha, observou diferenças de 1,4°C e 4,1°C, respectivamente, entre genótipos de feijão tolerantes e susceptíveis à seca, sugerindo a possibilidade de aplicação da técnica na seleção preliminar de materiais tolerantes.

Os experimentos conduzidos no Sandhills Agricultural Laboratory, nos EUA demonstraram grandes diferenças na temperatura da cobertura foliar entre a cultura da soja irrigada, e a cultura com deficiência hídrica. O IDT encontrado neste caso atingiu 8°C ao meio-dia (Ramana Rao, 1985). Blad et al. (1980) encontraram o IDT de 6°C para o caso do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Para execução deste trabalho, foi utilizado o campo experimental da estação de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado em Petrolina (09°09'W; 365,5 m), Pernambuco.

Acompanhou-se desde o plantio (1 de outubro de 1986), até a colheita (4 de fevereiro de 1987), o milho (*Zea mays* L.), da variedade Jatimam C₃ Anão, estando ele sujeito a vários níveis de irrigação.

A área da pesquisa consistiu de três blocos de repetição para quatro tratamentos de irrigação, representando, portanto, doze parcelas, cada parcela ocupando uma área de 12 m x 6,4 m.

Com relação aos tratamentos de irrigação, estes foram tomados em relação à capacidade de campo, sendo, esta, previamente determinada. Para tanto, foram fixados os níveis de 100%, 75%, 50% e 25%.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo, textura média, com camada arenosa, bem drenado, campo limpo de baixada e de relevo plano, tendo sido arado e gradeado fazendo-se sulcos camalhões com espaços, entre si, de 0,80 m.

Antes do plantio, fez-se a amostragem do solo, coletando-se doze amostras simples em cada repetição, tornando-se em uma amostra composta de zero a 12 cm, para fins de análise. Ainda antes do plantio, aplicou-se uma dose uniforme de fosfato em todas as parcelas, correspondendo a 50 kg/ha de P₂O₅, na forma de superfosfato simples.

O plantio foi realizado manualmente, utilizando-se quatro sementes por cova, e dez dias após a emergência realizou-se o desbaste, permanecendo, dessa forma, duas plantas por cova. A distância entre covas foi de 0,50 m.

Imediatamente após o desbaste, foi feita a adubação em cobertura, aplicando-se uma dose de N correspondente a 40 kg de N/ha, na forma de uréia, sendo esta dose repetida três semanas após a primeira aplicação.

A irrigação foi feita por sulcos fechados nas extremidades, onde a água era aplicada através de mangueiras com auxílio do hidrômetro para se obter o controle mais efetivo da vazão. A cultura foi mantida livre de ervas daninhas, mediante realização de capinas sempre que necessário para que o experimento não fosse prejudicado. O controle de pragas e doenças foi realizado de modo que as plantas jamais fossem danificadas, e efetuado de acordo com as necessidades.

Os dados obtidos para realização deste trabalho foram gerados por equipamentos concedidos pelo CPATSA, através de convênio existente entre esse Centro e a Universidade Federal da Paraíba.

Antes do plantio da referida cultura, houve a preocupação de realizar a calibração da sonda de nêutrons, isto é, foram correlacionados os valores indicados por essa sonda com valores obtidos da umidade do solo através do método gravimétrico, fato este que iria permitir o conhecimento do teor de umidade instantaneamente.

Para efeito de controle da irrigação, é necessário ter conhecimento da quantidade de água que realmente existe no solo, e para isso, foi utilizada a sonda de nêutrons quase que diariamente, para determinação de tal parâmetro, de acordo com a equação:

$$U\% = 81,27 \text{ CR} - 2,36$$

sendo:

$U\%$ = Umidade fornecida pelo método gravimétrico;
 CR = valor do "Count Ratio", apresentado pela sonda de nêutrons.

Após o controle de irrigação, foram obtidos dados de temperatura da cobertura foliar, duas ou três vezes por semana, através do termômetro infravermelho, da marca National, fabricado no Japão. O sensor do termômetro infravermelho detecta radiação emitida pelos alvos na banda de 8-14 μm . Seu ângulo de visão é de 3°. A resistência estomatal e a temperatura das folhas foram medidas duas vezes por semana, através do parâmetro LI 1600, e sempre que se fazia leitura destas temperaturas fazia-se também leitura da temperatura do ar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Fig. 1 a 6 mostram a variação diurna do índice IDD para diferentes tratamentos, durante vá-

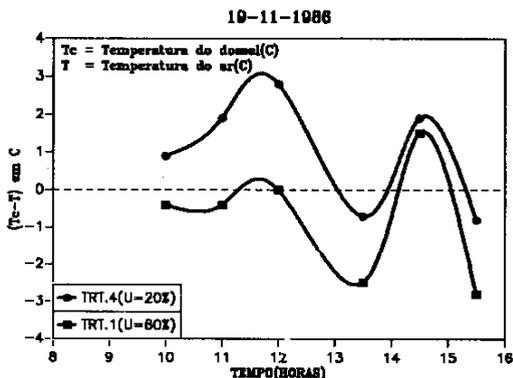


FIG. 1. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).

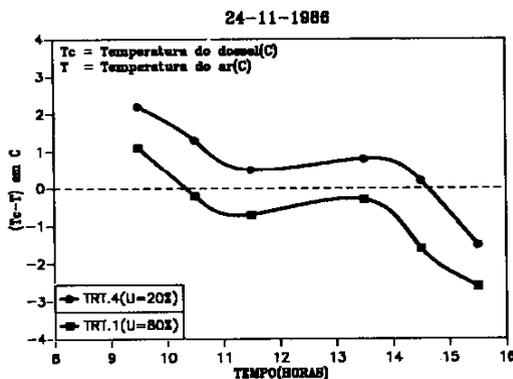


FIG. 2. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).

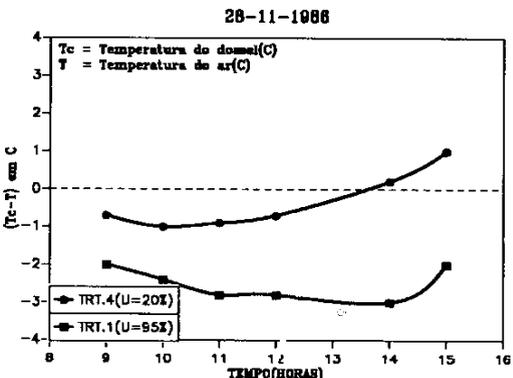
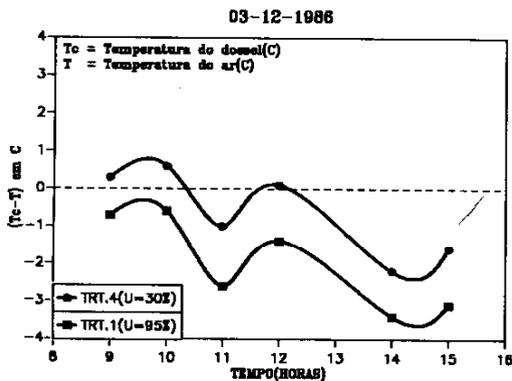
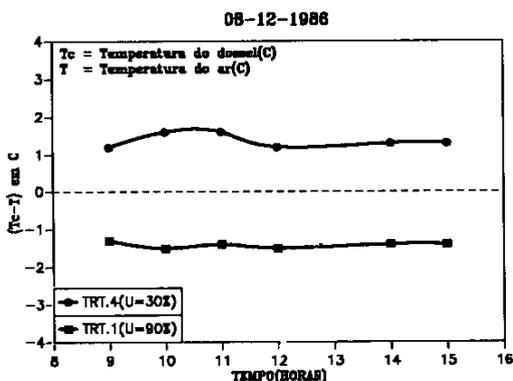
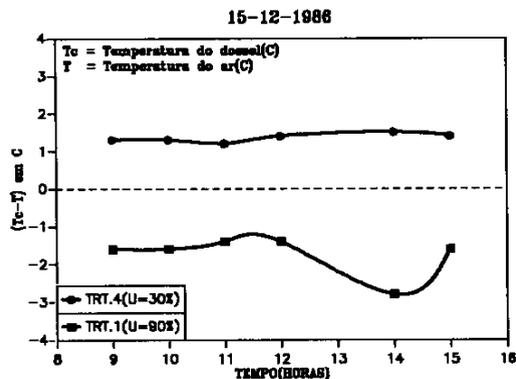


FIG. 3. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).

FIG. 4. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).FIG. 5. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).FIG. 6. Variação diurna da diferença ($T_c - T$).

rios estádios do ciclo vegetativo da cultura do milho. A umidade do solo das parcelas com o tratamento 1 foi mantida aproximadamente no nível da capacidade de campo. A umidade do solo variou entre 80 e 95% da capacidade de campo. Em caso do tratamento 4, a umidade do solo estava mantida entre 20 e 30% da capacidade de campo.

Na maioria dos casos, a temperatura do dossel do tratamento 4 (com estresse) sempre foi superior à temperatura do ar naquele instante observado. Com relação à diferença de temperatura ($T_c - T$), observou-se que em todos os casos ela foi maior no tratamento 4, atingindo o valor máximo (3°C) no dia 19 de novembro de 1986, ao meio-dia (hora legal). No que se refere às curvas do tratamento 1 (não-estressado), verificou-se que aproximadamente em 95% dos casos a temperatura do dossel do referido tratamento se encontra inferior à temperatura do ar, naquele instante indicada pelo termômetro infravermelho, atingindo a maior diferença ($-3,5^\circ\text{C}$) no dia 3 de dezembro de 1986, correspondendo ao instante de maior aquecimento desse dia.

As Fig. 5 e 6 caracterizam muito bem os objetivos deste trabalho, assim como justificam os valores basicamente esperados, e nelas são constatados os resultados já apresentados em outros trabalhos e em outras circunstâncias por outros autores já destacados na revisão bibliográfica. Ainda com relação a essas duas figuras, o que difere fundamentalmente das demais é que o tratamento 4 sempre apresentou a diferença ($T_c - T$) > 0 , e que o tratamento 1 também apresentou em todos os instantes a diferença de temperatura ($T_c - T$) < 0 , e uma das justificativas, talvez a principal para esse fenômeno, é que os dias 8 e 15 de dezembro de 1986 se apresentaram claros, não tendo havido, assim, interferência da nebulosidade, para aquela localidade (Petrolina, PE).

Analisando a Tabela 1, verifica-se que quando comparados os valores de temperatura do dossel com os valores de temperatura do ar, o IDD encontrado foi menor para o tratamento 1, crescendo em função da diminuição da umidade do solo. É importante frisar que o IDD revela, segundo seu comportamento, a influência da água contida no solo na temperatura do dossel.

A VTD, na verdade, não traduz muito significado quando em ligação diretamente aos objetivos deste trabalho, pois ela não compara os parâmetros medidos distintamente, e tampouco correlaciona o mesmo parâmetro entre tratamentos diferenciados. Portanto, na Tabela 1, de acordo com o exposto, não poderiam aparecer resultados brilhantes nessa análise, mas, mesmo assim, o tratamento 4 difere dos demais tratamentos, apresentando um valor mais acentuado.

O IDT permite quantificar, basicamente, a diferença existente entre a temperatura das folhas dos dois tratamentos. Com base em cálculos realizados para quantificação desse índice, percebe-se que no instante mais frio (9 h) ele já assumia o valor de 1,64°C (mínimo), crescendo no decorrer do período, até alcançar o máximo (2,44°C) às 14 h, como mostrado na Tabela 2.

TABELA 1. Índice de estresse diário e variação de temperatura do dossel.

Tratamento	IDD (°C)	VTD (°C)
01	-2,45	5,80
02	-2,25	5,81
03	-1,75	5,58
04	-0,20	6,42

TABELA 2. Índice de estresse térmico.

Horários	IDT (°C)
09:00	1,64
10:00	1,84
11:00	1,92
12:00	1,94
14:00	2,44
15:00	2,26

CONCLUSÕES

1. É possível distinguir quando a cultura está, ou não, com deficiência hídrica, através da sua resposta no que se refere à temperatura de cobertura foliar.

2. O IDD indica que se pode quantificar o grau de deficiência hídrica da cultura, quando comparado a informações dela com a informação do meio ambiente.

3. As plantas do tratamento com deficiência hídrica estavam sempre mais aquecidas do que as plantas dos tratamentos sem deficiência, e o IDT sempre apresentou maiores valores, nas primeiras horas após o meio-dia.

AGRADECIMENTOS

Ao CPATSA/EMBRAPA, especialmente aos pesquisadores José Moacir Pinheiro Filho e Malaquias Amorim da Silva Neto, na realização deste experimento. Agradecemos aos bolsistas de iniciação científica Alexandre Magno Teodosio de Medeiros e Petrônio Carlos Bezerra pela confecção de gráficos e digitação de texto.

REFERÊNCIAS

- BLAD, B.L.; GARNER, B.R.; STEINMETZ, S.; ROSENBERG, N.J. Plant and air temperature patterns in alfalfa, corn, grass, sorghum and soybeans as measured with thermocouples and infrared thermometers. In: REMOTELY SENSED CROP TEMPERATURE FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT. Lincoln: Univ. of Nebraska, 1980. Chap. 1, p.1-23. (Agric. Met. Progress Report, 80-5).
- CLARK, R.N.; HILER, E.A. Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop Science*, v.13, p.466-469, 1973.
- EHLER, W.L. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agronomy Journal*, v.65, p.404-409, 1973.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in Irrigation*, v.1, p.43-85, 1982.
- LIMA FILHO, J.M.P. Temperatura foliar de fenótipos de feijão sob condições de umidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, n.7, p.703-706, 1983.
- MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. Radiative temperature in the heat balance of natural surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.88, p.496-507, 1962.
- PENMAN, J.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society*, v.193, p.120, 1948.

RAMANA RAO, T.V. **Monitoring water stress in soybeans with remote sensing techniques.** Lincoln, Nebraska: University of Nebraska, 1985. 174p. Ph.D. Dissertation.

RAMANA RAO, T.V.; DANTAS, R.T.; F. FILHO, J. A Termometria infravermelha - Uma técnica moderna de calendário da irrigação (Irrigation Scheduling) nas regiões áridas e semi-áridas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ME-

TEOROLOGIA, 1., 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1986, v.1, p.3-8.

SANDHU, B.S.; HORTON, M.L. Temperature response of oats to water stress in the field. **Agricultural Meteorology**, v.19, p.329-336, 1978.

TANNER, C.B. Plant temperature. **Agronomy Journal**, v.55, p.210-211, 1963.