

SENSORIAMENTO REMOTO TERMAL NA DIFERENCIAÇÃO DE
CULTIVARES DE SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)
SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO

J.C.N.Epiphanio, M.Valério Filho e I.Vitorello

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
Tecnológico - CNPq
C.P.515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brazil

Luiz joaquim Castelo Branco Carvalho

Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados
km 17 BR 020 - Rodovia Brasília/Fortaleza
Planaltina - DF -

RESUMO

O sensoriamento remoto na faixa do infravermelho termal (8-14 μ m) fornece elementos para o estudo do mapeamento térmico de áreas urbanas, controle de efluentes poluidores, avaliação de inércia termal, deficiência hídrica em culturas, etc. A falta ou o excesso de água provoca anomalias no metabolismo vegetal e a deficiência hídrica afeta diretamente a abertura estomatal com o consequente fechamento dos estômatos, o que provoca um aquecimento foliar, pois não havendo a evaporação de água esta não consome energia. Este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento térmico entre cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico. Para a realização deste estudo foi instalado um experimento com diferentes cultivares de soja sob dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), constituído de três repetições. Leituras da temperatura do dossel foram efetuadas através do uso de um radiômetro de infravermelho termal PRT-5 e, paralelamente, foram obtidas as temperaturas do ar. Os resultados demonstraram que quando há disponibilidade hídrica adequada às cultivares não se diferenciam em termos de temperatura de dossel. Entretanto, no tratamento não-irrigado as cultivares comportaram-se diferentemente, o que possibilitou a separação em grupos distintos de eficiência dos mecanismos controladores da perda de água. Isto denota o potencial da técnica de sensoriamento remoto termal nos estudos relacionados ao desenvolvimento e à seleção de cultivares mais resistentes à seca.

ABSTRACT

Remote sensing applications in the thermal infrared band (8-14 μ m) have great potential in studies of urban areas thermal mapping, pollution control, evaluation of thermal inertia, water deficit in crops, etc. The Shortage or excess of water produces anomalous vegetal metabolism, being the water deficit directly responsible for opening and closing the stomas and consequently raising the foliage temperature, due to the shutting down of energy consumption associated to the halting of water evaporation. This work has as objective the evaluation of thermal behaviour among several soybean cultivars submitted to water deficit. In this study the experiment consisted of irrigated and non-irrigated plots and in each case with three plots for each soybean cultivar. Canopy temperature determinations were done with a thermal infrared radiometer (PRT-5) and simultaneously, air temperature were also obtained. The results demonstrated no thermal behaviour differentiation among irrigated soybean cultivars. However, in the non-irrigated plots, the soybean cultivars presented different thermal behaviour, facilitating their separation into distinct groups according to their mechanism of water loss control. The results show the potential of thermal infrared remote sensing in studies related to the development and selection of cultivars resistant to dry spells.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido estudado e aplicado em múltiplos campos do conhecimento, porém, algumas faixas do espectro eletromagnético, como as microondas passivas e o infravermelho termal, têm sido pouco exploradas.

Entretanto, com o lançamento do satélite LANDSAT-5, o qual possui um canal na faixa do infravermelho termal, abriu-se um novo campo de pesquisa nesta área.

Na área da Agricultura o sensoriamento remoto termal avançou principalmente no sentido das relações hídricas entre solo-planta-atmosfera. A observação de que a planta em presença de deficiência hídrica tem sua temperatura elevada, e que esta temperatura pode ser detectada por sensores remotos que operam na faixa espectral do infravermelho termal (8-4 μ m) (Tanner, 1963; Gates, 1964), motivou a aprofundamento destes estudos e a busca de aplicações.

Entre os aspectos agronômicos estudados com a utilização do sensoriamento remoto termal destacam-se a evapotranspiração (Stone and Horton, 1974; Reicosky et alii, 1980; Hatfield et alii, 1983; Jackson et alii, 1983). o potencial de água na planta (Ehrler, 1978), a previsão de produtividade (Diaz et alii, 1983; Epiphanyo, 1983) e a irrigação (Clawson and Blad, 1982; Reginato, 1983; Sharrat, 1983).

Em estudos de comportamento de variedades cabe destacar o trabalho de Mtui et alii (1981), no qual foi observado que a eficiência do uso da água (razão entre a produção de grãos e consumo de água) foi maior para os genótipos de milho que apresentaram menores valores de diferença entre a temperatura de dossel e a do ar.

No presente trabalho o aspecto abordado é o do comportamento térmico diferenciado entre cultivares de soja, quando submetidas ao déficit hídrico, e a detecção desta diferenciação através do sensoriamento remoto termal.

A soja é uma das principais culturas no contexto da agricultura brasileira. Responde por expressiva percentagem das exportações agrícolas e fornece grande número de subprodutos tanto para exportação quanto para consumo interno, como por exemplo farelo, óleo e torta para alimentação animal. Atualmente é cultivada em grande parte do território nacional, desde os estados do Sul até o Centro-Oeste, e está sendo introduzida no Norte do País. Esta grande extensão geográfica tem como consequência a diversidade de condições climáticas e ambientais. Para que a cultura possa desenvolver-se a contento, em tão ampla faixa de condições, é necessário um vigoroso trabalho de melhoramento genético que vise o desenvolvimento de cultivares adaptadas a cada região.

Um aspecto importante quanto ao desenvolvimento genético de uma cultivar é sua rusticidade, ou seja, a sua capacidade de desenvolver-se em condições adversas. Em situações normais de cultivo no Brasil, o principal fator adverso limitante das safras agrícolas é a deficiência hídrica. Esta pode ter sua magnitude intensificada ou diminuída em função da capacidade de a planta absorver e perder mais ou menos água. Obviamente, cada cultivar, bem como cada espécie, tem seu sistema próprio e característico de reação às condições do meio.

No caso de soja, estudos que tratem desses aspectos destacam-se em importância à medida que podem contribuir para a seleção de cultivares mais adaptadas às diversas regiões climáticas do País.

O princípio básico deste trabalho é o de que em condições de baixo suprimento ou de alta demanda hídrica, a planta, como um ente dinâmico, aciona seus mecanismos de redução de perda de água. Entretanto, isto faz com que a folha reduza seu principal mecanismo de dissipação de energia que é a evaporação da água, na forma de calor latente de evaporação. Para que o balanço de energia se mantenha, há aumento do calor sensível que se reflete numa maior temperatura foliar (Gates, 1980).

Segundo a lei de Stefan-Boltzmann que envolve a radiação eletromagnética, a energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência de sua temperatura. Assim, a alteração da disponibilidade hídrica altera a temperatura da planta e a radiação eletromagnética emitida. Com a medida desta radiação é possível o estabelecimento de relações com a condição da planta em relação à disponibilidade hídrica.

A hipótese central do trabalho é que algumas cultivares de soja, adaptadas ou em adaptação numa região como a dos Cerrados, possuem comportamentos diferenciados quanto à manutenção da temperatura ante condições semelhantes do meio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar tal hipótese foi instalado um experimento na Estação Experimental do Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA/CPAC), cujas coordenadas geográficas são 15°35'35"S e 47°42'30"W, no município de Planaltina - DF. Os dados climatológicos da região estão apresentados na Tabela 1 e referem-se à média de 35 anos.

A área experimental, ocupada por um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, foi constituída de 66 parcelas para 11 cultivares de soja, cada uma com 6 repetições, sendo 3 parcelas irrigadas e as outras 3 não-irrigadas. Para a finalidade deste trabalho foram selecionadas 5 cultivares: IAC-6, IAC-2, Cristalina, UFV77-11, e UFV76-5. As irrigações foram feitas simultaneamente em todas as parcelas do tratamento irrigado, sendo reposta a água perdida pela evapotranspiração.

Os dados de temperatura de dossel foram obtidos com o radiômetro PRT5⁽¹⁾ (Precision Radiation Thermometer). Este radiômetro detecta a energia emitida pelos alvos e a compara com a energia emitida por um corpo negro, de referência mantida a uma temperatura constante e conhecida. Através desta comparação, a transformação da energia emitida pelo alvo é feita eletronicamente em temperatura equivalente à do corpo negro, a qual é registrada num painel em graus centígrados (Barnes Engineering, 1970). Os dados de temperatura do ar foram obtidos através de 6 termômetros distribuídos na área útil do experimento. Também foram coletados dados de temperatura do ar obtidos na Estação Meteorológica do CPAC.

As medidas de temperatura de dossel e temperaturas do ar no campo e na estação foram realizadas no período de abril-maio de 1982, antes e durante o florescimento. Estas medidas foram realizadas todos os dias em vários horários, e a leitura de temperatura de dossel era concomitante com a do ar. As temperaturas do ar da estação eram obtidas das cartas de registro contínuo, já que durante as leituras no campo anotavam-se os horários exatos dessas leituras. Entretanto, o período útil do experimento foi caracterizado por temperaturas relativamente baixas, além de ser freqüente a presença de nuvens. No final do experimento selecionou-se o período de 10:50 a 11:50 horas por apresentar pouca influência de nuvens e maior número de leituras úteis para a análise do experimento.

Os dados analisados constituem a diferença entre a temperatura de dossel e a temperatura do ar no campo ($T_d - T_c$), e a diferença entre a temperatura de dossel e a temperatura do ar da estação ($T_d - T_e$). Como mostra Idso et alii (1976) a temperatura do ar é um parâmetro que serve bem para ser comparada com a temperatura de dossel, a fim de averiguar quão alta ou baixa esta se apresenta.

(1) O INPE e a EMBRAPA/CPAC não recomendam o uso de quaisquer marcas de equipamentos, sendo que os citados no texto visam apenas facilitar o entendimento do leitor.

TABELA 1

DADOS CLIMÁTICOS DE FORMOSA/GOIÁS - MÉDIA DE 35 ANOS
 (15°32'S, 47°18'W, 912m s.n.m)

MESES	PRESSÃO ATMOSFÉRICA DO AR	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	NEBULOSIDADE (0 - 10)	PRECIPITAÇÃO (mm) MÉDIA MENSAL	EVAPORAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (HORAS)
JAN.	909,5	22,0	17,8	27,4	80,2	7,7	271,9	73,2	180,5
FEV.	909,6	22,1	18,0	27,8	80,8	7,7	204,2	63,7	159,3
MAR.	909,8	21,9	17,9	27,6	81,5	7,5	220,6	67,1	186,8
ABR.	910,9	21,5	17,0	27,6	77,3	6,2	42,7	75,3	222,2
MAIO	912,2	20,1	14,8	27,0	71,4	4,8	17,0	97,8	270,3
JUN.	913,6	19,0	13,1	26,4	66,0	3,8	3,2	113,0	279,9
JUL.	914,1	18,9	12,6	26,3	59,4	3,4	5,5	141,3	278,0
AGO.	913,2	20,7	13,7	28,4	49,6	2,7	2,5	188,3	303,2
SET.	911,5	22,8	16,2	30,1	51,7	4,0	30,0	189,2	236,2
OUT.	910,1	22,9	17,8	29,2	66,0	6,7	127,1	138,1	200,7
NOV.	908,8	21,6	18,0	27,4	79,3	8,3	255,3	75,2	142,7
DEZ.	908,8	21,9	18,1	26,6	83,0	8,5	342,5	60,8	125,1
MÉDIA TOTAL	911,0	21,3	16,2	27,6	70,6	5,9	1.575,5	1.283,0	2.614,9

Fonte - EMBRAPA 1976.

Assim, a análise estatística dos dados foi conduzida para as cinco cultivares e os oito ciclos de leituras no horário selecionado, com os tratamentos irrigado e não-irrigado, para a temperatura do ar do campo e da estação. Deste modo obtiveram-se quatro blocos para análise: (Td-Tc) irrigado, (Td-Tc) não-irrigado, (Td-Te) irrigado e (Td-Te) não-irrigado. Para cada bloco foi realizado inicialmente uma análise de variância. Caso o valor F fosse significativo, continuava-se a análise estatística para verificar como as cultivares diferenciavam-se entre si. Esta análise foi feita com o auxílio do teste de Newman-Keuls (Zar, 1974).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de (Td-Tc) e (Td-Te) para os tratamentos irrigado e não-irrigado encontram-se na Tabela 2, bem como a análise estatística.

O primeiro aspecto a ser abordado na análise dos dados é a impossibilidade de diferenciação entre as cinco cultivares, quando submetidas ao tratamento irrigado. Tanto na utilização da temperatura do ar da estação quanto na do campo não foi possível a distinção entre as cultivares ao nível de 5% de probabilidade.

Na condição do tratamento irrigado as plantas não sofreram restrições em termos de disponibilidade hídrica. Assim, o solo foi capaz de suprir a demanda hídrica da própria planta e da atmosfera, sem que a planta tivesse de exercer controles de perdas de água através de restrições da transpiração. Nesta condição, em que há plena disponibilidade hídrica, as plantas ou as cultivares não expressam as possíveis diferenças de capacidade de controle estomatal sobre a perda de água. Assim, não há comportamento diferencial quanto aos mecanismos de controle de fluxo hídrico planta-atmosfera que possa ser detectado pela técnica proposta.

Ao analisar o comportamento térmico das cultivares quando submetidas à deficiência hídrica, constata-se uma separação ou diferenciação entre as cultivares. Esta diferenciação processa-se de maneira diversa, caso se considere a temperatura do ar obtida no campo ou na estação. Nas duas condições há a separação das cultivares em três grupos, sendo dois bem distintos e um de transição. Quando se toma a temperatura do ar obtida no campo, a cultivar 3 (IAC-6) separa-se bem das cultivares 6 e 10 (UFV77-11 e UFV76-5), e as cultivares de transição 5 e 4 (Cristalina e IAC-2) confundem-se entre si; sendo que a 5 confundem-se com a 3, e a cultivar 4 confunde-se com as 6 e 10. Quando se toma a temperatura do ar obtida na estação, tem-se que as cultivares 3 e 5 diferenciam-se das 6 e 10; enquanto a 4 apresenta confusão com os dois grupos, caracterizando-se como uma cultivar de comportamento transitório entre eles.

Esse comportamento térmico diferenciado ocorre basicamente devido a uma resposta diversificada de cada cultivar, frente ao problema da escassez de água. Ante uma alta demanda hídrica pela atmosfera ou um baixo poder de suprimento de água pelo solo, a planta reage evitando a transpiração, principalmente através do fechamento estomatal. Entretanto, esta reação não é uniforme para todas as cultivares. Assim, as cultivares que acionaram com menor vigor este mecanismo tiveram sua temperatura reduzida, pois no processo evaporativo há consumo de energia com o conseqüente resfriamento do meio, no caso a folha.

TABELA 2

SÍNTESE DOS DADOS RADIOMÉTRICOS OBTIDOS PARA AS CINCO CULTIVARES DE
SOJA NAS CONDIÇÕES IRRIGADO E NÃO-IRRIGADO

(Td - Tc) IRRIGADO			(Td - Tc) NÃO-IRRIGADO			(Td - Te) IRRIGADO			(Td - Te) NÃO-IRRIGADO		
CULTIVARES			CULTIVARES			CULTIVARES			CULTIVARES		
3 ^a	5 ^a	4 ^a 6 ^a 10 ^a	3 ^a	5 ^{ab}	4 ^{bc} 6 ^c 10 ^c	3 ^a	5 ^a	4 ^a 6 ^a 10 ^a	3 ^a	5 ^a	4 ^{ab} 6 ^b 10 ^b
-2,3	-2,0	-2,9 -2,0 -1,8	-2,0	-1,5	-0,3 1,1 0,4	0,1	0,5	-0,3 0,6 1,0	0,5	0,8	2,5 3,6 3,0
-1,8	-1,3	-0,2 0,1 -1,8	-0,3	0,2	0,5 0,1 -1,7	0,2	0,3	1,1 1,5 0,6	1,5	1,7	2,7 1,9 0,1
-0,8	-2,5	-2,2 -1,4 -1,9	-1,6	-1,3	0,9 2,1 0,6	1,9	1,1	0,3 0,7 1,0	1,4	1,7	3,6 5,3 4,2
-1,0	-1,2	-1,3 -1,1 -0,4	0,6	0,9	2,2 3,3 2,8	1,0	2,5	0,7 0,7 3,3	2,8	2,9	4,4 6,8 6,5
-0,8	-2,4	-1,0 0,3 -0,3	0,0	1,4	1,3 3,6 1,8	1,9	0,9	1,5 2,4 2,3	3,1	4,4	4,2 6,5 5,4
-2,3	-2,6	-2,5 -2,3 -2,5	-0,8	0,1	1,1 2,7 2,1	0,9	0,6	0,5 0,5 0,4	2,7	3,3	4,4 5,6 5,4
-3,4	-3,0	-3,2 -2,9 -3,2	-0,9	0,2	1,1 2,8 2,7	-0,6	-0,2	-0,4 -0,3 -0,5	2,0	3,1	4,0 5,5 5,2
-3,5	-2,8	-3,8 -3,2 -3,2	-0,5	0,7	1,3 3,3 3,1	-0,2	0,5	-0,3 0,2 0,0	3,1	3,9	4,9 6,3 6,1
F = 0,450 (n.s)			F = 8,748 (*)			F = 0,486 (n.s)			F = 6,122 (*)		

Td = temperatura radiante de dossel; Tc = temperatura do ar no campo; Te = temperatura do ar na estação; a, b, c = indicadores do teste de Newman - Keuls, onde dentro de um mesmo bloco cultivares com letras iguais não diferem entre si; 3, 5, 4, 6, 10 = cultivares IAC-6, Cristalina, IAC-2, UFV77-11, UFV76-5, respectivamente; (*) = significativo ao nível de 5%; (n.s) = não-significativo.

Supõe-se que as cultivares que apresentaram menor temperatura ra diante de dossel, como as 3 e 5 (IAC-6 e Cristalina), sofreram menor com o déficit hídrico que as outras. Isto pode ser devido, por exemplo, a um maior volume de raízes capazes de explorar maior volume do solo, ou a uma particularidade dos estômatos, ou a um metabolismo com característica di versa. Entretanto, estas relações e possibilidades precisam ser verifica das.

Não obstante, vê-se que essa possibilidade de cultivares de soja, através do seu comportamento térmico quando submetidas ao déficit hídrico, abre grandes perspectivas de avaliações genéticas de cultivares, manejo de irrigação e outros aspectos agrônômicos relacionados à adaptação de cultu ras em diferentes regiões do País.

Dois outros aspectos devem ainda ser ressaltados. Primeiramente é que a época de realização do experimento não foi a mais propícia para este tipo de observação. Pela Tabela 1 nota-se que o mês de abril apresenta con dições atmosféricas como nebulosidade, insolação, umidade relativa que não só prejudicam a obtenção de leituras como também dificultam a indução de estresse. Mesmo assim, a detecção de diferenças significativas foi possí vel, e se o experimento fosse realizado em épocas mais favoráveis como agosto ou setembro talvez a diferenciação pudesse ser mais marcante. O se gundo aspecto é o das temperaturas do ar. Ambas as leituras foram satisfá tórias como auxiliares para a detecção por sensoriamento remoto termal de estresse hídrico diferenciado em cultivares de soja. Este fato salienta ainda mais a importância do método, já que se pode dispor de dados meteoro lógicos de estações meteorológicas próximas aos experimentos, as quais são normalmente disponíveis em estações experimentais.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do experimento e sua análise permitiram concluir que a utilização de sensoriamento remoto termal é um meio eficiente de diferen ciação de cultivares de soja sob condições de estresse hídrico. Isto abre um amplo campo de possíveis utilizações da técnica em melhoramento genéti co, avaliação de estresse no campo, irrigação e outras áreas da Agricultu ra. Entretanto, são necessárias informações sobre o comportamento fisioló gico das cultivares, e a importância dos diversos fatores influenciadores do comportamento térmico diferenciado das culturas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES ENGINEERING. *Instruction manual for precision radiation thermometer model PRT-5*. Stanford, CT, 1970.
- CLAWSON, K.L.; BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agronomy Journal*, 74(2):311-316, 1982.
- DIAZ, R.A.; MATHIAS, A.D. HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield estimation of spring wheat from canopy temperature. *Agronomy Journal*, 75(4):805-810, 1983.
- EHLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. *Agronomy Journal*, 70(2):251-256, 1978.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Relatório técnico do Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados*. Brasília, EMBRAPA. 1976.
- EPIPHANIO, J.C.N. Avaliação da condição hídrica de milho, (*Zea mays L.*) através de sensoriamento remoto termal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(11):1233-1241, 1983.
- GATES, D.M. *Biophysical ecology*. New York, Springer, 1980. 611p.
- GATES, D.M. Leaf temperature and transpiration. *Agronomy Journal*, 56 (3): 273-277, 1964.
- HATFIELD, J. L.; PERRIER, A.; JACKSON, R.D. Estimation of evapotranspiration at one time-of-day using remotely sensed surface temperature. *Agricultural Water Management*, 7:341-350, 1983.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Compensating for environmental variability in the thermal inertia approach to remote sensing of soil moisture. *Journal of Applied Meteorology*, 15(8):811-817, 1976.
- JACKSON, R.D.; HATFIELD, R.J.; IDSO, S.B.; PINTER Jr., P.J. Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. *Agricultural Water Management*, 7:351-362, 1983.
- MTUI, T.A.; KANEMASU, E.T.; WASSOM, C. Canopy temperatures, water use, and water use efficiency of corn genotypes. *Agronomy Journal*, 73:639-643, 1981.
- REGINATO, R.J. Field quantification of crop water stress. *Transactions of the ASAE*, 26(3):772-776, 1983.
- REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E.; PARSONS, J.E. Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybean. *Agricultural Meteorology*, 21(1):21-35, 1980
- SHARRAT, B.S.; REICOSKY, D.C.; IDSO, S.B.; BAKER, D.G. Relationships between leaf water potential, canopy temperature, and evapotranspiration in irrigated and nonirrigated alfafa. *Agronomy Journal*, 75(6):891-895, 1983.
- STONE, L.R.; HORTON, M.L. Estimating evapotranspiration using canopy temperatures: field evaluation. *Agronomy Journal*, 66(3):450-454, 1974.
- TANNER, C.B. Plant temperatures, *Agronomy Journal*, 55:210-211, 1963.
- ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1974. 620p.