

# SENSORIAMENTO REMOTO TERMAL NA DISCRIMINAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO<sup>1</sup>

JOSÉ C.N. EPIPHANIO<sup>2</sup>, LUIZ J.C.B. CARVALHO<sup>3</sup>, ÍCARO VITORELLO<sup>4</sup>  
e MÁRIO VALÉRIO FILHO<sup>2</sup>

**RESUMO** - A falta ou escassez de água produz anomalias no metabolismo do vegetal. O déficit hídrico é diretamente responsável pelo fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, pelo aumento da temperatura da folhagem, devido ao decréscimo da evaporação. Este trabalho tem como objetivo a avaliação do comportamento térmico de várias cultivares de soja, submetidas ao déficit hídrico. Neste experimento, cinco cultivares de soja foram submetidas a dois tratamentos: irrigado e não-irrigado. Sobre as parcelas (três repetições) foram obtidas temperaturas de dossel com um radiômetro de infravermelho termal em diversos horários por vários dias. Paralelamente, foi medida a temperatura do ar, tanto no interior do campo experimental quanto na estação meteorológica. Os resultados mostraram que as cultivares podem ser diferenciadas em grupos apenas quanto ao comportamento térmico somente quando em estresse hídrico: as cultivares não-irrigadas apresentaram diferentes comportamentos térmicos, facilitando sua separação em grupos distintos, de acordo com o seu mecanismo de controle hídrico. Os resultados mostraram o potencial de uso do radiômetro infravermelho termal nos estudos de cultivares de soja, para o desenvolvimento de cultivares resistentes aos períodos de seca.

Termos para indexação: irrigação, temperatura, infravermelho, melhoramento genético.

## THERMAL INFRARED REMOTE SENSING TO DISCRIMINATE SOYBEAN CULTIVARS SUBMITTED TO WATER DEFICITS

**ABSTRACT** - The shortage or excess of water produces anomalous vegetal metabolism. The water deficit is directly responsible for closing the stomata and consequently raising the foliage temperature, due to the decreasing of energy consumption associated to the decrease of water evaporation. This work has as objective the evaluation of thermal behavior among several soybean cultivars submitted to water deficit. In this study the experiment consisted of irrigated and nonirrigated plots, with three plots for each soybean cultivar. Canopy temperature determinations were done with a thermal infrared radiometer (PRT-5) and, simultaneously, air temperature was also obtained. The results demonstrated lack of differentiation among irrigated soybean cultivars. However, in the nonirrigated plots, the soybean cultivars presented different thermal behavior, 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.

Index terms: irrigation, temperature, infrared rays, remote sensing.

## INTRODUÇÃO

A constante evolução da tecnologia agrícola e a contínua expansão das fronteiras agrícolas exigem maior rapidez no desenvolvimento de novas cultivares a serem oferecidas ao meio agrícola. Essas cultivares têm de apresentar não só boas

produtividades, como também rusticidades compatíveis com as regiões em que serão introduzidas.

Entre as várias áreas de fronteira agrícola, a dos Cerrados apresenta-se como a mais importante. Isso é devido principalmente à proximidade dos grandes centros consumidores e produtores de tecnologias, por apresentar condições topográficas adequadas à agricultura e por abranger extensão expressiva a ser ocupada para produção agrícola.

Entretanto, embora essa região apresente condições climáticas favoráveis durante a estação chuvosa, é comum a ocorrência de períodos de escassez de chuvas, o que ocasiona grandes danos à produção. Tais fenômenos são conhecidos como veranicos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976). Esta possibilidade de ocorrência de veranicos

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 4 de agosto de 1988.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Dr., Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515, CEP 12200, São José dos Campos, SP.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 Planaltina, DF.

<sup>4</sup> Geofísico, Dr., INPE.

cos tem sido motivo de pesquisa de técnicas de cultivo mais eficientes, visando, por exemplo, economia de água pela planta e melhor exploração do solo pelo sistema radicular. Além disso, a introdução de cultivares mais resistentes à seca é de fundamental importância para o sucesso da produção em tais áreas.

Sendo a seleção de cultivares um processo demorado, é de grande interesse que haja meios de detectar rapidamente as plantas mais eficientes em termos de adaptação às condições de estresse.

Vários estudos têm demonstrado a relação existente entre a temperatura foliar ou de dossel e as condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera. Esses estudos, denominados genericamente de sensoriamento remoto termal, fazem uso de termômetros de radiação que operam na faixa espectral de 8-14  $\mu\text{m}$ .

Tanner (1963) e Gates (1964) observaram que a planta em presença de deficiência hídrica tem sua temperatura foliar aumentada, temperatura esta que pode ser detectada por sensores remotos que operam na região espectral do infravermelho termal (8-14  $\mu\text{m}$ ). Isto motivou um aprofundamento da pesquisa sobre as relações entre deficiência hídrica e temperatura de dossel.

Vários aspectos agrônômicos e ambientais foram abordados utilizando a diferença de temperatura entre a planta e o ar ( $T_d - T_a$ ) como parâmetro de relacionamento. Dentre esses aspectos, destacam-se estudos que envolvem evapotranspiração (Stone & Horton 1974, Reicosky et al. 1980, Hatfield et al. 1983, Jackson et al. 1983, Choudhury & Idso 1985, Saha et al. 1986), estudos que visam avaliação do potencial de água na planta (Ehrler et al. 1978), a estimativa de produtividade agrícola (Diaz et al. 1983, Epiphanyo 1983), e a irrigação (Clawson & Blad 1982, Reginato 1983, Sharrat et al. 1983).

Em estudos que envolvem comportamento de variedades, Mtui et al. (1981) observaram que a eficiência do uso da água (razão entre 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. Harris et al. (1984) compararam o comportamento térmico de genótipos de soja em condições normais e sob estresse hídrico. Observaram que a

temperatura de dossel sempre foi maior no tratamento sob estresse. Os genótipos apresentaram comportamento térmico diferenciado apenas quando houve real condição de estresse, ou seja, num ano seco e sob tratamento não-irrigado.

No presente estudo, o aspecto abordado é o do comportamento térmico diferenciado entre cultivares de soja quando submetidas às condições climáticas dos Cerrados (estação seca definida e presença de veranico na estação chuvosa) e à detecção dessa diferenciação através de sensoriamento remoto termal no campo.

A soja é um dos principais produtos 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, óleo, farelo 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 penetrando no Norte do País. Esta grande extensão geográfica tem como consequência a diversidade de condições climáticas e ambientais. Para que a cultura possa se desenvolver a contento em tão ampla faixa de condições é necessário um vigoroso trabalho de melhoramento genético que vise o desenvolvimento de cultivares adaptadas a vários ambientes. Como a deficiência hídrica é um dos principais fatores adversos limitantes da produção agrícola, a pesquisa para a obtenção de cultivares resistentes à seca é importante, e o sensoriamento remoto termal poderia contribuir para um programa dessa natureza.

O princípio básico envolvido nesse estudo é o de que em condições de baixo suprimento de água pelo solo ou de alta demanda hídrica pela atmosfera, a planta, como um ente dinâmico, aciona seus mecanismos de redução de perda de água, sendo o principal o sistema estomático. Entretanto, isso 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 em maior temperatura foliar (Gates 1980).

Pela 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, conseqüentemente, a radiação eletromagnética emitida. Com a medida dessa radiação emitida é possível o estabelecimento de relações com a condição da planta no tocante à disponibilidade hídrica.

Pelo que foi apresentado, lança-se a hipótese central de que algumas cultivares de soja, adaptadas ou em adaptação numa região como a dos Cerrados, possuem comportamentos diferenciados quanto à manutenção da temperatura ante idênticas condições adversas do meio.

### MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação de tal hipótese foi feita através de um experimento instalado na Estação Experimental do Centro de Pesquisa 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 típicos para a região podem ser encontrados em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1976).

Esse experimento, desenvolvido sobre um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1978), consistiu de cinco cultivares, de tratamentos irrigado e não-irrigado e de três repetições. O delineamento foi o de blocos ao acaso. As cultivares foram: IAC-6, Cristalina, IAC-2, UFV76-5 e UFV-77-11. As irrigações, baseadas em cálculos de evapotranspiração, foram simultâneas em todas as parcelas do tratamento irrigado.

A temperatura de dossel foi medida com o radiômetro PRT-5<sup>6</sup> (Precision Radiation Thermometer). Este radiômetro detecta a energia emitida pelos alvos e a compara com a energia emitida por um corpo negro de referência, mantido a uma temperatura constante e conhecida. Através desta comparação a transformação da energia emitida pelo alvo é feita eletronicamente, em temperatura equivalente à de corpo negro, a qual é registrada num painel em graus centígrados (Barnes Engineering 1970). Os dados de temperatura do ar foram obtidos tanto no interior da área útil do experimento como na Estação Meteorológica do CPAC, que fica aproximadamente a 150 metros de distância do local do experimento.

As medidas de temperatura de dossel (Td) e as medidas de temperaturas do ar no campo (Tc) e na estação (Te) foram realizadas no período de abril-maio de 1982, antes e durante o florescimento da soja. Estas medidas foram realizadas todos os dias em vários horários, e as leituras de temperatura de dossel foram concomitantes com as do ar. A geometria de leitura de temperatura de dossel foi semelhante à utilizada por Epiphanyo (1983).

As temperaturas do ar da estação foram obtidas de cartas de registro contínuo, já que durante as leituras no campo anotaram-se os horários exatos destas leituras. Entretanto, o período útil do experimento foi caracterizado por temperaturas atmosféricas relativamente baixas, além de ser comum a presença de nuvens. No final do experimento selecionou-se o período de 10:50 a 11:50 por apresentar pouca influência de nuvens e maior número de leituras úteis para a análise do experimento.

Os parâmetros levados em conta para análise foram: (Td-Ta), que é a diferença entre a temperatura de dossel e a temperatura do ar medida no interior do local do experimento; e (Td-Te), que é a diferença entre a temperatura de dossel e a temperatura do ar medida na estação. A temperatura do ar funciona como um instrumento de comparação com a temperatura de dossel. Como mostra Idso et al. (1976), a temperatura do ar é um referencial apropriado para averiguar quão alta ou baixa está a temperatura de dossel. Maiores detalhes teóricos e metodológicos podem ser encontrados em Epiphanyo (1983).

A análise estatística dos dados foi feita para as cinco cultivares e para 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. Dessa maneira, 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 realizada análise de variância. Caso o valor de F fosse significativo, continuava-se a análise estatística para verificar como as cultivares diferenciavam-se entre si dentro de cada bloco. Essa análise foi feita com o auxílio do teste de Newman-Keuls (Zar 1974).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados (Td-Tc) e (Td-Te) para os tratamentos irrigado e não-irrigado encontram-se na Tabela 1, assim como a análise estatística.

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

Nessa condição, ou seja, no tratamento irrigado, as plantas praticamente não sofreram restrições em termos de disponibilidade hídrica. O solo foi capaz de suprir satisfatoriamente a demanda hídrica da cultura e da atmosfera sem que a planta

<sup>6</sup> O INPE e o CPAC não recomendam o uso de quaisquer marcas de equipamentos; os citados no texto visam apenas facilitar o entendimento do leitor.

**TABELA 1.** Comportamento térmico das 5 cultivares de soja sob os tratamentos irrigado e não-irrigado, considerando temperaturas do ar obtidas no campo e na estação (médias de 24 leituras).

Cultivares	(Td-Tc) Irrigado	(Td-Tc) Não- -irrigado	(Td-Te) Irrigado	(Td-Te) Não- -irrigado
1	-2,0 a	-0,7 a	0,7 a	2,1 a
2	-2,2 a	0,1 a	0,6 a	2,7 a
3	-2,1 a	1,0 b	0,4 a	3,9 b
4	-1,9 a	1,4 b	0,8 a	4,3 bc
5	-1,6 a	2,4 c	0,8 a	5,0 c
Valores de F	1,02 ns	13,61*	0,78 ns	11,17*

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 da mesma coluna, cultivares com letras iguais não diferem entre si.

1, 2, 3, 4, 5 = cultivares IAC-6, Cristalina, IAC-2, UFV 76-5 e UFV 77-11, respectivamente.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns = não-significativo.

tivesse de exercer controles de perdas de água através de restrições no processo transpirativo. Nesta situação, 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 no sistema planta-atmosfera que possa ser detectado pelo método utilizado.

No entanto, 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 similar caso se considere a temperatura do ar obtida no campo ou na estação. Nas duas condições há a separação das cultivares em três grupos distintos. Quando se toma a temperatura do ar obtida no campo, a cultivar 1 (IAC-6) e a 2 (Cristalina) separam-se bem das outras três cultivares. O mesmo ocorre com as cultivares 3 e 4 (IAC-2 e UFV 76-5), que têm comportamento térmico semelhante entre si, po-

rém distinto do primeiro grupo e da cultivar UFV 77-11. Esta última cultivar distingue-se isoladamente das outras quatro por apresentar altos valores de temperatura de dossel.

Quando se toma a temperatura do ar obtida na estação, observa-se a mesma situação, exceto na cultivar 4 (UFV 76-5), que apresenta comportamento térmico que se confunde com as cultivares 3 e 5 (IAC-2 e UFV 77-11, respectivamente).

A diferença de temperatura entre dossel e ar é sistematicamente maior para os dados de estação que para os de campo, uma vez que os termômetros instalados no campo sofreram influência da radiação solar direta. A radiação solar direta tem uma contribuição positiva para a temperatura do ar medida, o que causa diminuição do valor (Td-Ta).

A possibilidade de diferenciação térmica entre cultivares é função do estresse a que estiverem submetidas. Tais resultados aproximam-se dos obtidos por Harris et al. (1984), em que os autores também não observaram diferenciação alguma entre diversas cultivares de soja quando o experimento foi realizado em época chuvosa e de baixa demanda hídrica pela atmosfera.

Este comportamento térmico diferenciado ocorre basicamente devido a uma resposta biológica diversificada de cada cultivar em face do 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 reduzindo a transpiração, principalmente através do fechamento estomatal. Entretanto, tal reação provavelmente não é uniforme para todas as cultivares. Assim, as cultivares que acionaram com menor vigor este mecanismo de controle de perda de água tiveram sua temperatura reduzida, pois no processo evaporativo há consumo de energia com o conseqüente resfriamento do meio, no caso, a folha.

Supõe-se que as cultivares que apresentaram menor temperatura radiante de dossel, como as 1 e 2 (IAC-6 e Cristalina, respectivamente), sofreram menos com o déficit hídrico que as outras. Isto pode ser devido, por exemplo, a um maior volume de raízes capazes de explorar maior volume de solo, ou a uma particularidade dos estômatos, ou mesmo a um metabolismo com características diversas. Entretanto, estas relações precisam ser me-

lhor investigadas. Todas estas características podem ser exploradas do ponto de vista do melhoramento genético visando a resistência à deficiência hídrica.

Vê-se, assim, que essa possibilidade de diferenciar cultivares de soja através do seu comportamento térmico quando submetidas ao déficit hídrico abre perspectivas de avaliações genéticas de cultivares com sensível ganho de tempo. Além disso, o comportamento térmico determinado por sensoriamento remoto pode ser avaliado em termos de aplicação para manejo de irrigação e outros aspectos agronômicos relacionados com a adaptação de culturas em diferentes regiões do País.

Três outros aspectos ainda devem ser discutidos. Primeiramente, a época de realização do experimento não foi a mais propícia para este tipo de observação. Numa análise dos dados climáticos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976), constata-se que os meses de abril e maio apresentam condições atmosféricas como temperatura, nebulosidade, umidade relativa e insolação que não só prejudicam a obtenção de leituras, como também dificultam a indução de estresse. Mesmo assim, a detecção de diferenças significativas foi possível; e se o experimento fosse realizado em épocas mais favoráveis, é provável que a diferenciação pudesse ser mais acentuada. O segundo aspecto diz respeito ao local de obtenção de temperaturas do ar. Ambas as leituras, no campo e na estação, foram satisfatórias como auxiliares para a detecção de estresse hídrico diferenciado em cultivares de soja através de sensoriamento remoto termal. Este fato salienta ainda mais a importância do método, já que se pode dispor de dados de estações meteorológicas próximas ao experimento, os quais são normalmente disponíveis em estações experimentais. O terceiro aspecto é o de que tais instrumentos de sensoriamento remoto termal não são muito dispendiosos, são portáteis, além de permitirem avaliações quase imediatas e não-destrutivas das plantas.

### CONCLUSÕES

1. A utilização de sensoriamento remoto termal é um meio eficiente de diferenciação de cultivares de soja sob condições de estresse hídrico.

2. Abre-se um amplo campo de possíveis utilizações da técnica em melhoramento genético visando resistência à seca, na avaliação de estresse no campo, na irrigação e em outras áreas da Agricultura. Entretanto, são necessárias mais pesquisas sobre o comportamento fisiológico das cultivares e sobre a importância dos diversos fatores condicionantes do comportamento térmico diferenciado das culturas.

### REFERÊNCIAS

- BARNES ENGINEERING. Instruction manual for precision radiation thermometer model PRT-5. Stanford, CT, 1970.
- CHOUDHURY, B.J. & IDSO, S.B. Evaluating plant and canopy resistances of field - grown wheat from concurrent diurnal observations of leaf water potential, stomatal resistance, canopy temperature, and evapotranspiration flux. *Agric. For. Meteorol.*, 34:67-76, 1985.
- CLAWSON, K.L. & BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agron. J.*, 74(2): 311-6, 1982.
- DIAZ, R.A.; MATHIAS, A.D.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield estimation of spring wheat from canopy temperature. *Agron. J.*, 75(4):805-10, 1983.
- EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. *Agron. J.*, 70(2):251-6, 1978.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília, DF. Relatório técnico do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Brasília, EMBRAPA, 1976.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS, Rio de Janeiro, RJ. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1978. 455p. (Boletim técnico, 53)
- EPIPHANIO, J.C.N. Avaliação da condição hídrica de milho (*Zea mays* L.) através de sensoriamento remoto termal. *Pesq. agropec. bras.*, 18(11):1233-41, nov. 1983.
- GATES, D.M. Biophysical ecology. New York, Springer, 1980. 611p.
- GATES, D.M. Leaf temperature and transpiration. *Agron. J.*, 56(3):273-7, 1964.
- HARRIS, D.S.; SCHAPAUGH JUNIOR, W.T.; KANEMASU, E.T. Genetic diversity in soybeans for leaf canopy temperature and the association of leaf canopy temperature and yield. *Crop Sci.*, 24(5): 839-42, 1984.

- HATFIELD, J.L.; PERRIER, A.; JACKSON, R.D. Estimation of evapotranspiration at one time-of-day using remotely sensed surface temperature. *Agric. Water Manage.*, 7:341-50, 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. *J. Appl. Meteorol.*, 15(8):811-7, 1976.
- JACKSON, R.D.; HATFIELD, R.J.; IDSO, S.B.; PINTER JUNIOR, P.J. Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. *Agric. Water Manage.*, 7:351-62, 1983.
- MTUI, T.A.; KANEMASU, E.T. & WASSOM, C. Canopy temperatures, water use, and water use efficiency of corn genotypes. *Agron. J.*, 73:639-43, 1981.
- REGINATO, R.J. Field quantification of crop water stress. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 26(3):772-6, 1983.
- REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E.; PARSONS, J.E. Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybean. *Agric. Meteorol.*, 21(1): 21-35, 1980.
- SAHA, S.K.; GOPALAN, A.K.S.; KAMAT, D.S. Relations between remotely sensed canopy temperature, crop water stress, air vapour pressure deficit and evapotranspiration in chickpea. *Agr. For. Meteorol.*, 38(1):17-26, 1986.
- 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 alfalfa. *Agron. J.*, 75(6):891-5, 1983.
- STONE, L.R. & HORTON, M.L. Estimating evapotranspiration using canopy temperatures: field evaluation. *Agron. J.*, 66(3):450-4, 1974.
- TANNER, C.B. Plant temperatures. *Agron. J.*, 55:210-11, 1963.
- ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1974. 620p.