

RELAÇÕES HÍDRICAS INTERNAS DA SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO EM CONDIÇÕES DE CAMPO¹

MARÍLIA LOBO BURLE² e GUSTAVO COSTA RODRIGUES³

RESUMO - Plantas de soja (*Glycine max*) cv. Doko foram submetidas a diferentes períodos de déficit hídrico e de reidratação. Utilizando-se a metodologia da curva pressão-volume obtiveram-se parâmetros comumente utilizados nos estudos das relações hídricas [potencial osmótico no máximo de turgescência ($\psi\pi^{100}$) e potencial hídrico no zero de turgescência (ψ^0)]. Foi também analisada a concentração de prolina foliar. Em um dos tratamentos (após 19 dias de suspensão da irrigação, correspondente a 102 dias após emergência) observou-se redução (valores mais negativos) do $\psi\pi^{100}$ e ψ^0 , indicando a existência do mecanismo de ajustamento osmótico. O acúmulo de prolina parece não estar envolvido nesse mecanismo. Em dois dos tratamentos houve redução da concentração de prolina, em função do déficit hídrico. Observaram-se também variações nos parâmetros das relações hídricas e concentração de prolina entre os tratamentos que não sofreram indução de déficit hídrico, nas diferentes épocas de amostragem.

Termos para indexação: *Glycine max*, reidratação, potencial osmótico, turgescência.

INTERNAL WATER-RELATIONS IN SOYBEAN UNDER WATER DEFICIT IN FIELD CONDITIONS

ABSTRACT - Soybean plants (*Glycine max*) cv. Doko were subjected to different soil drying cycles and rewetting. Using the pressure-volume curve method, the osmotic potential at full turgor ($\psi\pi^{100}$) and water potential at zero turgor (ψ^0) were measured. The leaf concentration of proline was also analysed. In one of the treatments (19 days without irrigation, which corresponds to 102 days after emergence) there was a decrease in $\psi\pi^{100}$ and ψ^0 , indicating the occurrence of osmotic adjustment. The proline accumulation does not seem to participate in this mechanism. In two of the treatments a decrease of its concentration in response to water deficit was found. On the other hand, variations among $\psi\pi^{100}$, ψ^0 and proline concentration between the treatments that were not subjected to a soil drying cycle at different sampling dates were observed.

Index terms: *Glycine max*, rehydration, osmotic potential, turgescence.

INTRODUÇÃO

A atividade agrícola de sequeiro, na região dos Cerrados, é sujeita a riscos climáticos, não tanto pela quantidade de chuvas, mas pela distribuição inadequada das mesmas (Carvalho et al. 1984). Os veranicos (períodos de estia-

gem que ocorrem durante a estação chuvosa) têm trazido grandes danos às culturas de sequeiro nessa região.

O estudo das relações hídricas internas das plantas e das alterações causadas pelo déficit hídrico temporário nos processos fisiológicos é de fundamental importância, não só para um trabalho de melhoramento genético, mas também para melhor compreensão do problema.

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas. Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das mesmas. Segundo Begg & Turner (1976),

¹ Aceito para publicação em 29 de janeiro de 1990.

² Enga. - Agra., IICA/EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 Planaltina, DF.

³ Eng. - Agra., EMBRAPA-CPAC.

o ajustamento osmótico é o mecanismo fisiológico mais importante para capacitar as plantas a tolerar o estresse hídrico. Esse mecanismo pode desempenhar importante papel na manutenção da turgescência de diversas espécies, inclusive de plantas cultivadas (Jones & Turner 1978). A turgescência possui papéis críticos em processos cruciais da planta, tais como abertura estomatal e crescimento via alongamento celular (Hsiao et al. 1976).

Entre os solutos envolvidos no ajustamento osmótico, a prolina tem sido considerada um agente osmorregulador compatível com muitas espécies (Tyree & Jarvis 1982), e o seu acúmulo nos tecidos foliares, em resposta ao déficit hídrico, foi relatado diversas vezes (Jager & Meyer 1977, Munns et al. 1979, Johnson et al. 1984 e Voetberg & Stewart 1984).

Os estudos das relações hídricas internas das plantas têm sido facilitados pelas análises da curva pressão-volume, através da qual pode-se obter o potencial hídrico do tecido e seus componentes (potencial osmótico e pressão de turgescência), além de parâmetros comumente utilizados como indicadores do ajustamento osmótico e das relações de turgescência (Parsons 1979). Decréscimos no potencial osmótico no máximo de turgescência ($\psi\pi^{100}$) em resposta ao déficit hídrico são considerados indicativos da ocorrência de ajustamento osmótico (Wilson et al. 1980). O potencial hídrico no zero de turgescência (ψ^0) é outro importante parâmetro fisiológico, comumente utilizado como indicador do ponto de perda de turgescência (Cutler et al. 1980 e Wilson et al. 1980), que está, portanto, altamente relacionado com o ponto de fechamento dos estômatos (Jones & Turner 1978).

O objetivo deste trabalho foi observar aspectos das relações hídricas da soja sob déficit hídrico, em campo, investigando principalmente o mecanismo de ajustamento osmótico e as alterações na concentração de prolina endógena dessa espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

A soja (*Glycine max*) cv. Doko, considerada to-

lerante à seca (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1985) e largamente utilizada na região dos Cerrados, foi plantada no início de maio de 1986, em um Latossolo Vermelho-Escuro, em área do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), da EMBRAPA. O espaçamento utilizado foi de 0,50 m entre fileiras, com 25 sementes viáveis por metro linear. A adubação de manutenção compreendeu 100 kg de K_2O , 30 kg de S e 100 kg de P_2O_5 . As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Aos 82 dias após a emergência das plantas (DAE 82), quando a cultura se encontrava em floração plena, iniciou-se a adubação do déficit hídrico. Parte da cultura foi mantida normalmente irrigada (controle). As amostragens foram feitas em diferentes períodos após a indução do déficit hídrico ou após a recuperação dos mesmos (retorno da irrigação). A quantidade de água aplicada em cada irrigação foi calculada em função da evaporação do tanque classe A, do coeficiente da cultura (K_c) e do coeficiente de tanque (K_p) e em função dos estádios de desenvolvimento. Utilizou-se a tabela de coeficientes ($K_p \times K_c$) proposta por Hargreaves (1956), citada por Azevedo & Caixeta (1986). Como esses valores não foram obtidos nas condições de cerrado, optou-se por corrigi-los com um acréscimo de 40%.

O critério de amostragem para seleção das plantas e obtenção das amostras no campo foi inteiramente casualizado.

As amostragens para análise da curva pressão-volume foram feitas 19 dias após a suspensão da irrigação (DAE 102); 42 dias após a suspensão da irrigação (DAE 125) e 7 dias após o retorno da irrigação, em parcelas que ficaram 42 dias com irrigação suspensa (DAE 132).

Para determinação de prolina, as amostragens foram feitas 11 dias após a suspensão da irrigação (DAE 94); 25 dias após a suspensão da irrigação (DAE 108); 5 dias após o retorno da irrigação, em parcelas que ficaram 21 dias com irrigação suspensa (DAE 108); 39 dias após a suspensão da irrigação (DAE 122) e 5 dias após o retorno da irrigação, em parcelas que ficaram 42 dias com irrigação suspensa (DAE 130).

Curva pressão-volume

Para obtenção dos parâmetros das relações hídricas, utilizou-se a metodologia adaptada da curva pressão-volume desenvolvida no CPAC (Warner & Carvalho 1986). Essa metodologia utiliza a transpiração da folha para reduzir o seu teor de água. Com

exceção dessa adaptação, essa metodologia é semelhante à descrita por Ike & Thurtell (1981a).

Para cada tratamento foi coletada a última folha completamente expandida do último nó, em oito plantas diferentes, no final da tarde do dia anterior à análise. As folhas foram colocadas em uma câmara úmida próxima à saturação, onde permaneceram até o dia seguinte (no escuro e à temperatura ambiente). A câmara era revestida com papel-filtro umedecido e possuía uma lâmina d'água no seu fundo, de forma que os pecíolos das folhas ficavam imersos na água. Após esse tratamento, com as folhas próximas da sua turgescência máxima (Ike & Thurtell 1981a), iniciou-se a análise, em grupos de oito folhas simultaneamente. Após retirada a primeira folha da câmara úmida, cortou-se seu folíolo terminal, deixando-se pelo menos 3 cm do seu pecíolo. A superfície foliar foi secada com papel absorvente, e a folha, pesada em balança analítica de 0,1 mg de precisão. O folíolo terminal foi, então, rapidamente transferido para uma bomba de pressão, onde obteve-se o potencial hídrico (ψ) do tecido foliar, que corresponde à pressão de equilíbrio (pressão aplicada que faz com que haja exsudação do suco celular). Utilizaram-se lupas para melhor visualização desse ponto.

O folíolo foi retirado da câmara de pressão e acondicionado entre dois papéis-filtro (o superior umedecido). O procedimento foi repetido para as folhas seguintes. Após as medições do último folíolo, o primeiro foi repesado e sua pressão de equilíbrio novamente medida, seguindo-se a mesma ordem de peso/pressão de equilíbrio para os folíolos seguintes. Esse procedimento foi repetido em torno de oito a doze vezes, ou até que a pressão de equilíbrio atingisse valores entre 1,6 e 2,0 MPa. O papel-filtro úmido era descartado após a obtenção de aproximadamente quatro medições de cada folíolo. Após o término das medições os folíolos eram secados em estufa a 70°C por 12 horas, para determinação dos pesos secos.

O teor relativo de água (TRA) foi calculado através da seguinte equação (Jones & Turner 1978):

$$TRA = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso túrgido} - \text{peso seco}}$$

O peso seco e o peso fresco do folíolo foram obtidos diretamente. O peso túrgido foi extraído da relação entre pressão de equilíbrio e peso fresco (Ladiges 1975). Utilizou-se uma regressão linear para essa estimativa.

Obtenção dos parâmetros através da análise da curva pressão-volume (P - V)

O potencial osmótico no máximo de turgescência ($\psi\pi^{100}$) pode ser estimado através da extrapolação da parte linear da curva P - V para o eixo das ordenadas (Ladiges 1975) (Fig. 1). A parte linear da curva P - V foi estimada através de regressão linear com três ou mais pontos (Cutler et al. 1979). Para se determinar até que ponto se deveria considerar a curva P - V como linear, aplicaram-se regressões lineares com diferentes números de pontos e selecionou-se aquela regressão com maior r^2 ajustado ($P < 0,05$).

O potencial osmótico ($\psi\pi$) do tecido foliar foi obtido da relação entre $\psi\pi^{100}$ e TRA (Ladiges 1975 e Jones & Turner 1978), segundo a seguinte equação:

$$\psi\pi = \frac{\psi\pi^{100}}{TRA}$$

A pressão de turgescência ($\psi\rho$) do tecido foliar foi obtida da equação que define os componentes do potencial hídrico (ψ) do tecido foliar, assumindo-se o potencial matricial da folha como zero (Jones & Turner 1978), segundo a equação:

$$\psi\rho = \psi - \psi\pi$$

O potencial hídrico no zero de turgescência (ψ^0) do tecido foliar foi obtido da relação entre ψ e $\psi\rho$ (Cutler et al. 1980). Foram utilizadas regressões lineares com o máximo de pontos possível, adotando-se apenas os pontos com $\psi\rho$ maior do que zero (r^2 ajustado $> 0,90$ e $P < 0,05$).

Análise da concentração de prolina foliar

Para essas estimativas utilizou-se o método de Ninhydrina Ácida, de acordo com metodologia proposta por Bates et al. (1973).

Na amostragem foi coletada a última folha do último nó da planta. As amostras eram coletadas no início da manhã e mantidas em baixa temperatura até o momento da análise.

Análise estatística

Utilizou-se o teste "t" de Student para comparar os efeitos de tratamentos. Devido ao fato de ter sido conduzido a nível de campo, onde as dificuldades de controle de variações ambientais se fazem presentes e podem influir em trabalhos dessa natureza, foram adotados como aceitáveis os níveis de 5 a 10% para distinção dos efeitos reais dos tratamentos.

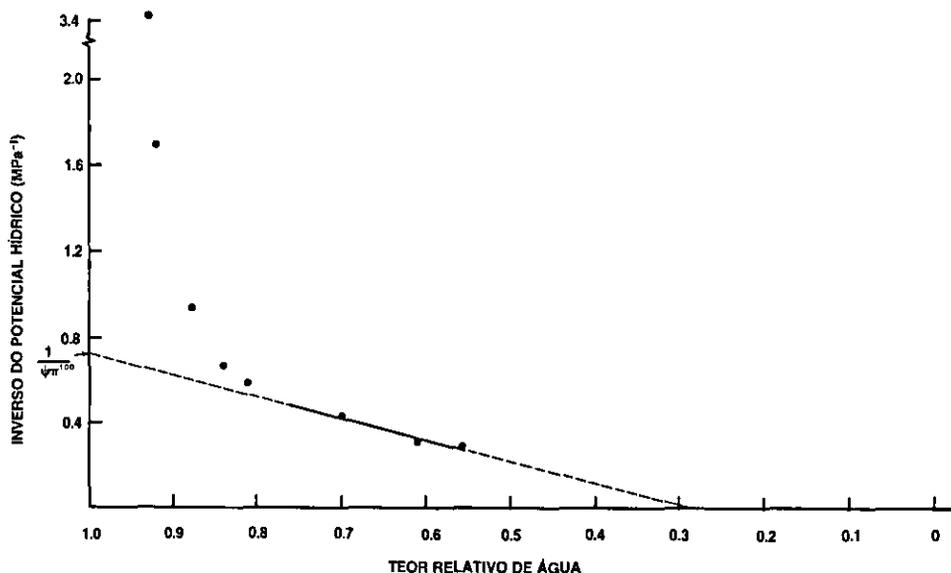


FIG. 1. Curva pressão-volume típica obtida com soja (*Glycine max*) cv. Doko.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial osmótico no máximo de turgescência ($\psi\pi^{100}$) e potencial hídrico no zero de turgescência (ψ^0)

A redução do $\psi\pi^{100}$ observada nas plantas cuja irrigação foi suspensa por 19 dias (Tabela 1) indica, de acordo com Wilson et al. (1980), a possível presença de ajustamento osmótico. Vale observar, no entanto, que, de

TABELA 1. Valores médios dos parâmetros potencial osmótico no máximo de turgescência ($\psi\pi^{100}$) e potencial hídrico no zero de turgescência (ψ^0) após diferentes períodos de suspensão ou retorno da irrigação.

Parâmetros	DAE ¹ 102			
	Controle ⁶	DAS ² 19	Diferença ⁸	
$\psi\pi^{100}$ ⁴	-0,918 ± 0,072A ⁷	-1,150 ± 0,075	+ 0,231	* ¹⁰
ψ^0	-1,035 ± 0,086a	-1,349 ± 0,116	+ 0,314	*
DAE 125				
	Controle	DAS 42		
$\psi\pi^{100}$	-1,145 ± 0,011AB	-1,128 ± 0,106	-0,017	NS ⁹
ψ^0	-1,358 ± 0,038ab	-1,316 ± 0,162	-0,042	NS
DAE 132				
	Controle DAR ³ 7	(após DAS 42)		
$\psi\pi^{100}$	-1,284 ± 0,057B	-1,467 ± 0,125	+ 0,183	NS
ψ^0	-1,588 ± 0,058b	-1,837 ± 0,151	+ 0,250	NS

¹ Dias após a emergência das plantas

² Dias após a suspensão da irrigação

³ Dias após o retorno da irrigação

⁴ Potencial osmótico no máximo de turgescência (MPa)

⁵ Potencial hídrico no zero de turgescência (MPa)

⁶ Parcelas normalmente irrigadas

⁷ Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste "t" (P > 0,05)

⁸ Diferença entre controle e tratamento (MPa)

⁹ Não significativo

¹⁰ Diferença significativa (P < 0,1)

acordo com Ludlow (1980), esse nível de ajustamento osmótico parece ser relativamente baixo, quando comparado com o de outras espécies.

A redução do ψ^0 nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico no DAE 102 (Tabela 1) indica que, provavelmente, as plantas que estavam sob déficit hídrico apresentariam inibição dos processos fisiológicos dependentes da turgescência em potenciais hídricos mais negativos, já que esse parâmetro é utilizado como um indicador do ponto de perda de turgescência (Cutler et al. 1980 e Wilson et al. 1980).

É interessante observar que, no tratamento onde a irrigação foi suspensa por 42 dias, sem reidratação (DAE 125), não foi observada sequer uma tendência à redução do $\psi\pi^{100}$ e do ψ^0 , em relação aos controles (Tabela 1). Segundo Turner & Jones (1980) o déficit hídrico muito severo pode reduzir ou mesmo inibir a capacidade de manutenção de turgescência de algumas espécies. Não podemos afirmar que nesse caso o déficit hídrico muito severo tenha sido a condicionante da diferença de comportamento observada entre os DAEs 102 e 125, já que outros fatores poderiam também ter influído, tais como diferentes estádios de desenvolvimento e aspectos climáticos. Observou-se do início da suspensão da irrigação até próximo ao DAE 102 uma tendência de elevação das temperaturas diárias. Entre os DAEs 102 e 125 observou-se uma tendência ao decréscimo desses valores. A umidade relativa se comportou de forma semelhante à temperatura.

Em contraste com as observações do DAE 125, após 7 dias de reidratação das plantas que também ficaram 42 dias com irrigação suspensa (DAE 132) houve uma tendência à redução dos parâmetros $\psi\pi^{100}$ e ψ^0 , em relação ao controle (Tabela 1). Constatou-se que a magnitude da tendência à redução nesses parâmetros foi observada, quando comparada numericamente com a de outras espécies que apresentaram ajustamento osmótico, foi maior que a encontrada na mandioca (Ike & Thurtell 1981b), e pouco menor do que a encontrada em laranja (Morgan 1984) e em

algumas leguminosas tropicais (Wilson et al. 1980 e Ludlow 1980). Acredita-se, portanto, que a tendência aqui observada não deva ser desprezada. Não foram encontradas na literatura consultada situações semelhantes ou justificativas para a aparente diferença de comportamento observada nesses parâmetros entre os DAEs 125 e 132. Além da reidratação, também nesse caso outros fatores poderiam ter contribuído para a aparente diferença observada entre esses DAEs, tais como diferentes estádios de desenvolvimento (Tabela 2) e aspectos climáticos. Observou-se, no curto período de 7 dias compreendido entre os DAEs 125 e 132, uma tendência à elevação da temperatura e umidade relativa. A tendência à redução desses parâmetros, observada no DAE 132, pode indicar que o mecanismo de ajustamento osmótico já comentado talvez possa permanecer ou ser reativado nas plantas após um período de reidratação, o que teria uma importância relevante em déficits hídricos posteriores.

Quando comparados os controles nos diferentes DAEs, observou-se uma tendência à redução do $\psi\pi^{100}$ e do ψ^0 , ao longo do desenvolvimento amostral, sendo que entre os DAEs 102 e 135 essa redução foi significativa ($P < 0,05$) (Tabela 1). Wenkert et al. (1978) também observaram, em soja, uma redução do $\psi\pi^{100}$ ao longo de uma estação, sendo que não

TABELA 2. Estádios de desenvolvimento da soja nas diferentes épocas de amostragem¹.

Amostragem (DAE ²)	Estádios de desenvolvimento
94	Início da formação da vagem (R ₃)
102	Início do enchimento do grão (R ₅)
108 e 109	Enchimento do grão (R ₅)
122 e 125	Semente desenvolvida (R ₆)
130 e 132	Maturação (R ₇)

¹ Segundo a classificação de Fehr & Caviness (1977)

² Dias após a emergência

concluíram se essa redução ocorreu devido a um déficit hídrico ou a um efeito da idade da planta. No presente trabalho também não foi possível concluir acerca das causas da variação observada. Variações no potencial osmótico caracterizadas como de origem ontogenética já foram observadas em diferentes espécies (Hsiao et al. 1976 e Tyree et al. 1978). Segundo Tyree et al. (1978), parece coerente que tais variações ocorram durante o crescimento foliar, devido à constante modificação nas taxas de fotossíntese, respiração, translocação e expansão foliar. Apesar da correção feita nos coeficientes usados no cálculo das irrigações ($K_p \times K_c$), esses ainda poderiam não estar adequados às condições experimentais, subestimando a evapotranspiração da cultura. Portanto, deve-se levantar também a possibilidade de que a soja estivesse sendo submetida a um certo nível de estresse e, conseqüentemente, respondendo com a redução do $\psi\pi^{100}$ e do ψ^0 . Apesar das diferentes tendências no comportamento da temperatura e umidade relativa observados entre os DAEs 102 e 132, verifica-se, neste período, uma única tendência de

comportamento (redução) nos parâmetros $\psi\pi^{100}$ e ψ^0 (Tabela 1), dos controles.

Concentração de prolina

Pode-se observar, através da Tabela 3, que não foi detectado um acúmulo de prolina na soja cv. Doko em resposta aos déficits hídricos induzidos. Comportamento semelhante foi relatado em certas espécies, entre as quais algumas leguminosas tropicais (Palfi et al. 1973, Ford & Wilson 1981 e Ford 1984). É interessante lembrar que existem trabalhos relatando o acúmulo de prolina na soja em resposta ao déficit hídrico (Waldren et al. 1974 e Waldren & Teare 1974). É possível que o comportamento observado seja uma característica da cultivar Doko, já que, segundo Johnson et al. (1984), há variabilidade dessa característica entre cultivares de uma mesma espécie. Há também os que sugerem um limite mínimo de estresse que deva ser atingido pela planta antes de ser detectado o acúmulo de prolina (Waldren et al. 1974, Waldren & Teare 1974 e McMichael & Elmore 1977). O potencial hí-

TABELA 3. Valores médios da concentração de prolina ($\mu\text{mol/g}$ peso verde) nos diferentes tratamentos.

Controle ⁴ 0,720 \pm 0,030a ⁵	DAE ¹ 94	DAS ² 11 0,768 \pm 0,019	NS ⁶
Controle 0,770 \pm 0,023a	DAE 108	DAS 25 0,708 \pm 0,007	* ⁷
Controle 0,770 \pm 0,023a		DAR ³ 5 (após DAS 21) 0,699 \pm 0,004	*
Controle 0,579 \pm 0,018b	DAE 122	DAS 39 0,581 \pm 0,030	NS
Controle 0,718 \pm 0,031a	DAE 130	DAR 5 (após DAS 42) 0,678 \pm 0,035	NS

¹ Dias após a emergência das plantas

² Dias após a suspensão da irrigação

³ Dias após o retorno da irrigação

⁴ Parcelas normalmente irrigadas

⁵ Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste "t" ($P > 0,05$)

⁶ Não significativo

⁷ Diferença significativa ($P < 0,05$)

drico foliar máximo para que esse acúmulo seja detectável parece variar de acordo com a metodologia e, para soja, foi relatado um valor máximo de -1,2 MPa, em ambiente controlado, e -2,0 MPa, em condições de campo (Waldren et al. 1974 e Waldren & Teare 1974). As curvas diurnas de potencial hídrico revelaram valores mínimos em torno de -1,8 MPa. Não foi possível concluir se a ausência do acúmulo de prolina observada se deveu a uma característica da cultivar Doko ou ao nível de déficit hídrico atingido dentro da metodologia utilizada.

É importante observar que, em relação aos controles, no DAE 108, houve uma redução da concentração de prolina das plantas que permaneceram 25 dias sem irrigação e nas que tinham 5 dias de reidratação após 21 dias sem irrigação (Tabela 3). Um efeito semelhante do déficit hídrico sobre a concentração de prolina foi observado nas folhas superiores de sorgo (Waldren et al. 1974). De acordo com Tyree & Jarvis (1982), a prolina funciona também como um composto armazenador de C e N e, segundo Munns et al. (1979), o seu acúmulo parece estar intimamente ligado à redução do crescimento ou da síntese protéica. É possível que, através de algum mecanismo de resposta ao déficit hídrico, a planta tenha utilizado compostos como a prolina para síntese protéica ou utilização dos elementos neles armazenados.

Ao serem comparados os controles nos diferentes DAEs, observou-se que a concentração de prolina no DAE 122 foi menor ($P < 0,05$) do que nos demais. Essa data coincidiu com o período onde as menores temperaturas foram observadas. Observe-se que a redução no teor de prolina se deu entre o início de formação da semente e o seu completo desenvolvimento, e que na fase seguinte (início da maturação da semente) houve um aumento nesse teor (Tabelas 2 e 3). Variações na concentração de prolina em tecidos foliares ao longo do tempo têm sido relatadas (Aspinall & Paleg 1981).

CONCLUSÕES

1. A soja cv. Doko aparentemente possui o mecanismo de ajustamento osmótico em resposta ao déficit hídrico, embora em pequeno grau.
2. Através do mecanismo de ajustamento osmótico, a soja cv. Doko parece possuir uma relativa manutenção da turgescência durante o desenvolvimento do déficit hídrico, pois, conseqüentemente, a perda da turgescência parece ocorrer em valores de potencial hídrico mais negativos.
3. A prolina aparentemente não participa como osmorregulador no ajustamento osmótico da soja cv. Doko, já que não foi observado o seu acúmulo em resposta aos déficits hídricos aqui induzidos.

REFERÊNCIAS

- ASPINALL, D. & PALEG, L.G. Proline accumulation: physiological aspects. In: PALEG, L.G. & ASPINALL, D. ed. **The physiology and biochemistry of drought resistance in plants**. Sydney, Academic Press, 1981. p.206-40.
- AZEVEDO, J.A. de & CAIXETA, T.J. **Irrigação do feijoeiro**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1986. 60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23).
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant Soil**, 39:205-7, 1973.
- BEGG, J.E. & TURNER, N.C. Crop water deficits. **Adv. Agron.**, 28:161-217, 1976.
- CARVALHO, L.J.C.B.; GOMIDE, R.L.; URBEN FILHO, G.; LUCHIARI JUNIOR, A.; WARNER, T.J.; FREITAS JUNIOR, E. de; WADA, M.; NASSER, L.C.B.; SOUSA, D.M.G. de. **Fisiologia de déficit hídrico em soja e trigo**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1984. 3p. (EMBRAPA-CPAC. Pesquisa em Andamento, 17).
- CUTLER, J.M.; SHAHAN, K.W.; STEPONKUS, P.L. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. **Crop. Sci.**, 20(3):307-10, 1980.

- CUTLER, J.M.; SHAHAN, K.W.; STEPONKUS, P.L. Characterization of internal water relations of rice by a pressure-volume method. *Crop Sci.*, 19(5):681-5, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, DF. *Relatório Técnico Anual*, 1981-1982. Planaltina, 1985. 177p.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. *Stages of soybean development*. s.l., Iowa Agricultural and Home Economics Experimental Station, 1977. (Report, 80).
- FORD, C.W. Accumulation of low molecular weight solutes in water-stressed tropical legumes. *Phytochemistry*, 23(5):1007-15, 1984.
- FORD, C.W. & WILSON, J.R. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 8:77-91, 1981.
- HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E.; FERERES, E.; HENDERSON, D.W. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 273:479-500, 1976.
- IKE, I.F. & THURTELL, G.W. Water relations of cassava: water content, water, osmotic and turgor potential relationships. *Can. J. Bot.*, 59(6):956-64, 1981a.
- IKE, I.F. & THURTELL, G.W. Osmotic adjustment in indoor grown cassava in response to water stress. *Physiol. Plant.*, 52(2):257-62, 1981b.
- JAGER, H.J. & MEYER, H.R. Effect of water stress on growth and proline metabolism of *Phaseolus vulgaris* L. *Oecologia*, Berlin, 30:83-96, 1977.
- JOHNSON, R.C.; NGUYEN, H.T.; CROY, L.I. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.*, 24(5):957-62, 1984.
- JONES, M.M. & TURNER, N.C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant Physiol.*, 61(1):122-6, 1978.
- LADIGES, P.Y. Some aspects of tissue water relations in three populations of *Eucalyptus viminalis* Labill. *New Phytol.*, 75:53-62, 1975.
- LUDLOW, M.M. Stress physiology of tropical pasture plants. *Trop. Grass.*, 14(3):136-45, 1980.
- MCMICHAEL, B.L. & ELMORE, C.D. Proline accumulation in water stressed cotton leaves. *Crop Sci.*, 17(6):905-8, 1977.
- MORGAN, J.M. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 35:299-319, 1984.
- MUNNS, R.; BRADY, C.J.; BARLOW, W.R. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 6:379-89, 1979.
- PALFI, G.; BITO, M.; PALFI, Z. Free proline and water deficits in plant tissues. *Sov. Plant Physiol.*, 20:189-93, 1973.
- PARSONS, L.R. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impart resistance? *Hort. Sci.*, 14(5):590-3, 1979.
- TURNER, N.C. & JONES, M.M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: TURNER, N.C. & KRAMER, P.J., ed. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York, John Wiley, 1980. p.87-103.
- TYREE, M.T.; CHEUNG, Y.N.S.; MCGREGOR, M.E.; TALBOT, A.J.B. The characteristics of seasonal and ontogenetic changes in the tissue water-relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga* and *Picea*. *Can. J. Bot.*, 56:635-47, 1978.
- TYREE, M.T. & JARVIS, P.G. Water in tissues and cells. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B. & ZIEGLER, H. ed. *Physiological Plant Ecology II: water relations and carbon assimilation*. Berlin, Springer-Verlag, 1982. v.12B. p.35-77.
- VOETBERG, G. & STEWART, C.R. Steady state proline levels in salt-shocked barley leaves. *Plant Physiol.*, 76(3):567-70, 1984.
- WALDREN, R.P. & TEARE, I.D. Free proline accumulation in drought stressed plants under laboratory conditions. *Plant Soil*, 40(3): 689-92, 1974.
- WALDREN, R.P.; TEARE, I.D.; EHLER, S.W. Changes in free proline concentration in sorghum and soybean plants under field conditions. *Crop Sci.*, 14:447-50, 1974.

- WARNER, T.J. & CARVALHO, L.J.C.B. **A curva pressão-volume para avaliar parâmetros das relações hídricas nas plantas.** Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1986. 31p.
- WENKERT, W.; LEMON, E.R.; SINCLAIR, T.R. Water content-potential relationship in soybean: changes in component potentials for mature and immature leaves under field conditions. **Ann. Bot.**, 42:295-307, 1978.
- WILSON, J.R.; LUDLOW, M.M.; FISHER, M.J.; SCHULZE, E.D. Adaptation to water stress of the leaf water relations of four tropical forage species. **Aust. J. Plant Physiol.**, 7:207-20, 1980.