

Nutrición potásica y relaciones hídricas en plantas de *Eucalyptus* spp.

Potassium nutrition and water relations in seedlings of *Eucalyptus* spp.

C.D.O.: 181.31

PAULO CESAR TEIXEIRA, PEDRO G. LELIS LEAL, NAIRAM FELIX DE BARROS,
ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS

Departamento de Solos/UFV, 36571-000, Viçosa (MG), Brasil

SUMMARY

Water relations in eucalypt seedlings as affected by potassium levels and water stress were studied under controlled conditions. In a first trial, two levels of K (0 and 150 mg L⁻¹) and two levels of soil moisture (field capacity and cyclic water stress) were tested on seedlings of eucalypt hybrids grown in plastic bags containing 9 L of a red-yellow latosol. The hybrids reacted differently according to K and soil moisture level combinations.

In a second trial, the effect of K level of a nutrient solution on water relations of eight eucalypt species was investigated. It was observed that a greater K level (70 mg L⁻¹) in the nutrient solution increased the efficiency of water use (EWU) of all eucalypt species, particularly of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. citriodora* which when supplied with less K (7 mg L⁻¹) showed lower EWU and a higher transpiration rate than *E. tereticornis*, *E. grandis* and *E. pellita*.

In a third trial, polyethylene glycol (PEG) was added to the nutrient solution in order to obtain three osmotic potentials (that corresponding to the original nutrient solution; -0.25 MPa; -0.50 MPa). The results allowed the placement the eucalypt species into three groups according to the stomatal resistance (r): 1) *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, and *E. citriodora* which showed the smallest r-values, ranging from 2.94 to 3.99 s*cm⁻¹; 2) *E. pellita*, *E. cloeziana*, and *E. grandis* with intermediate r-values ranging from 5.65 to 11.09 s*cm⁻¹; and 3) *E. urophylla* and *E. saligna* with r-values of 20.70 and 26.98 s*cm⁻¹.

RESUMEN

Fueron llevados a cabo experimentos para evaluar relaciones hídricas, afectadas o no por la nutrición potásica en varios genotipos de *Eucalyptus* bajo condiciones controladas. En un primer ensayo fue evaluado el efecto de la aplicación (150 mg K/kg) o no de K de un Oxisol y de dos niveles de irrigación (capacidad de campo o stress hídrico cíclico) sobre el crecimiento de plantas de híbridos de *Eucalyptus* spp. El crecimiento y la composición mineral de los hídricos fueron determinados por los tenores de humedad y de K del suelo y sus interacciones. Los hídricos reaccionaron con diferentes intensidades a las combinaciones de los niveles de agua y de K en el suelo. En el segundo experimento fue evaluado el efecto del K en la absorción y utilización del agua en plantas de *Eucalyptus* spp., crecidas en solución nutritiva. Fue observado que el mayor nivel de K aumentó la eficiencia de utilización del agua (g. de materia seca/l de agua absorbida) de todas las especies, particularmente de *E. citriodora* y *E. camaldulensis* que presentaron menor EUA cuando fueron hechas crecer en solución con menor tenor de K, y fueron menos eficientes que *E. tereticornis*, *E. grandis* y *E. pellita*. Eso indica que *E. citriodora* y *E. camaldulensis* tienen una transpiración bastante mayor cuando son suplidas con menos K.

En el tercer ensayo fue aplicado o no polietilen-glicol a la solución nutritiva, obteniéndose tres potenciales: el de la solución, de -0.25 MPa y de -0.50 MPa. Las especies de eucalipto pudieron ser situadas en tres grupos en relación a la resistencia estomática: 1) *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. citriodora* con menores valores de resistencia, situados entre 2.94 a 3.99 s*cm⁻¹; 2) *E. pellita*, *E. cloeziana*, y *E. grandis* con valores intermedios, situados entre 5.65 a 11.09 s*cm⁻¹; y 3) *E. urophylla* y *E. saligna* con los mayores valores, situados entre 20.70 y 26.98 s*cm⁻¹.

INTRODUCCION

Una parte considerable de la reforestación con eucalipto en el Estado de Minas Gerais se sitúa en la región del Cerrado. Climáticamente esta región, en general, se caracteriza por períodos de sequía prolongada, lo que somete a las plantas a un estrés hídrico relativamente fuerte. En una primera fase de la reforestación, Golfari (1975) indicó una serie de especies de eucalipto potencialmente aptas para el cultivo en esa región. Subsecuentemente, algunas empresas forestales introdujeron varias especies y procedencias con el objetivo de identificar las que mejor se adaptan a aquellas condiciones. Pasados casi 25 años desde el trabajo pionero de Golfari (1975), varias empresas, en sus programas de mejorías, seleccionaron, para ciertas especies, matrices superiores que dieron origen a clones y/o híbridos de buena productividad.

El buen crecimiento de esos genotipos en las condiciones de Cerrado sería, posiblemente, debido a una mayor eficiencia nutricional, en fase de la baja fertilidad del suelo y/o de la mayor habilidad para soportar el déficit hídrico. Por otro lado, genotipos que no presentan esas características corren el riesgo de ser descartados del programa de selección o mejoramiento forestal.

En lo que se refiere al aspecto de nutrición de agua en la planta, hay un extenso registro en la literatura (Mengel y Kirkby, 1978; Marschner, 1986) sobre la influencia del potasio en el estado hídrico de la planta. La acumulación de potasio en los vasos traqueanos (xilema) reduce el potencial osmótico de la savia traqueana (reduce el potencial del agua) y por eso eleva la absorción de agua y la presión de las raíces de las plantas (Baker y Weatherley, 1969). En las células, elevadas concentraciones de potasio en el mesófilo también provocan reducción en el potencial osmótico. Esto también tiene un efecto benéfico en el consumo de agua, ya que el bajo potencial osmótico mejora la retención de agua. Esta sería una de las razones por las cuales plantas bien suplidas de potasio requieren relativamente menos cantidad de agua en relación a la síntesis de materiales orgánicos (Mengel y Kirkby, 1978). En plantas bien suplidas de potasio, la tasa de transpiración no depende sólo del potencial osmótico del mesófilo de la célula, sino que también del control que él ejerce sobre la abertura y cierre de los estomas. El flujo de potasio en las células guardianas eleva el nivel de ácido abscísico que causa el cierre de los

estomas (Mac Robbic, 1981; citado por Marschner, 1986).

Otra relación entre la nutrición potásica y aspectos hídricos de la planta es el posible papel de la prolina en la tolerancia a la sequía, visto que su nivel es, en general, elevado en plantas bien suplidas con potasio (Marschner, 1986).

No hay un estudio sistematizado específicamente sobre eucaliptos para evaluar la relación potasio-aspectos hídricos de la planta. Sin embargo, se pueden encontrar informaciones u observaciones casuales, como el elevado tenor de potasio en suelos donde naturalmente crecen especies conocidas como tolerantes a la sequía, como ejemplo, *E. camaldulensis* (Barros *et al.*, 1990), o la frecuente observación sobre la deficiencia de potasio en plantas de esta especie creciendo en invernadero y campo.

En experimentos llevados a cabo en el campo, en condiciones de Cerrado, han sido constatados apreciables logros de crecimiento de eucalipto en respuesta al abono potásico (Barros *et al.*, 1984, 1988). Ante el estrés hídrico al que esas plantas son sometidas en esas condiciones, la pregunta que surge es: ¿hasta qué punto el efecto del abono contribuyó para la mejoría del estado hídrico de la planta? Y más, ¿estaría el mejor crecimiento de algunos clones o híbridos del Cerrado relacionado a una mayor eficiencia de absorción de potasio?

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el crecimiento y las relaciones hídricas en especies e híbridos de eucalipto afectados por niveles de potasio y estrés hídrico.

MATERIAL Y METODOS

Ensayo 1. Niveles de potasio y de agua en el suelo x híbridos de eucalipto.

Semillas obtenidas por el cruce de varias especies de eucalipto fueron puestas para germinar en tubitos plásticos con sustrato constituido por una mezcla de turba y vermiculita, en la relación 1:1 en volumen. Este sustrato fue abonado con una mezcla NPK 6-28-6 en la base de 0.5 g por tubito, siendo este total dividido en tres porciones, en que la primera fue mezclada antes de llenar el tubo y las otras dos aplicadas vía agua de irrigación.

Cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 20 cm, fueron transferidas a bolsas plásticas conteniendo cerca de 8 kg de un suelo cuyo tenor de potasio estaba bajo el nivel crítico esta-

blecido por Novais *et al.* (1980) para la producción de plantas de eucalipto.

El suelo utilizado para llenar las bolsas plásticas fue pasado por colador de malla con 4 mm de abertura y recibió el siguiente abono básico: 1.0 meq/100g de Ca + Mg vía cal con relación Ca:Mg de 4:1, 300 mg/kg de P en la forma de $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, 100 mg de N en la forma de $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ y $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$, 50 mg/kg de S en la forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y/o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, micronutrientes, según lo recomendado por Alvarez (1974), siendo la mitad mezclada con el suelo y la otra mitad aplicada en cobertura. Fueron considerados dos niveles de potasio, o sea, 0 y 150 mg K/kg aplicados en mezcla con el suelo, en la forma de KCl.

Cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 40 cm, fue hecha una diferenciación en el nivel de humedad del suelo, de modo que la mitad de las plantas, en cada nivel de potasio, continuaron creciendo en el suelo con humedad correspondiente a la capacidad de campo y la otra mitad fue sometida a un estrés hídrico cíclico, cuya duración fue definida por el genotipo más sensible a la falta de agua.

Para cada hídrico fueron necesarias 16 plantas, es decir, 2 niveles de K x 2 niveles de humedad del suelo x 4 repeticiones. En el invernadero los tratamientos fueron distribuidos en bloques al azar. La evaluación de los efectos de los tratamientos fue hecha por la medición del crecimiento en altura de las plantas, medición del área de las hojas, determinación del peso de materia seca de la parte aérea y raíces, determinación del estado hídrico de la planta y análisis químico del material vegetal.

Ensayos 2 y 3. Niveles de potasio y de polietilenglicol en especies de eucalipto.

Fueron realizados dos ensayos involucrando *Eucalyptus camaldulensis*, *E. citriodora* y *E. urophylla*. En ambas las plantas fueron cultivadas en solución nutritiva, en invernadero. En el primer ensayo las plantas crecieron en solución nutritiva de Clark en macetas con capacidad de 4.0 litros, consistiendo los tratamientos en dos niveles de K, uno correspondiente a la concentración usual del elemento en la solución de Clark y el otro a un décimo de esta concentración. Las plantas de las especies, germinadas en banco de arena, fueron trasplantadas a los maceteros, en número de dos por maceta. Para cada especie fueron utilizadas cuatro repeticiones. Toda la cantidad de agua o solución nutritiva adicionada (en las ocasiones de

cambio de solución) fue anotada. Al final de 60 días de crecimiento se evaluaron el peso de materia seca de hojas, ramas, tallo y raíces de las plantas, área de las hojas y tenor de K de las plantas. En base al consumo de agua y a la producción de materia seca total de la planta y área de las hojas se estimaron la eficiencia de utilización de agua para cada especie y el consumo de agua por unidad de área de las hojas.

En el segundo ensayo las plantas crecieron en invernadero, de la misma forma ya descrita, en solución de Clark completa. Después de 60 días, fueron transferidas a una cámara climática, en condiciones controladas de luz y temperatura. Pasado un día de aclimatación en ella, se aplicaron a cada especie tres niveles de estrés hídrico, por la adición de polietilenglicol (PEG) a la solución nutritiva, en cantidades suficientes para alcanzar los potenciales de 0 y -0.25 MPa. Una semana después, a la mitad de las plantas que crecían con -0.25 MPa se les adicionó más PEG para elevar el potencial a -0.5 MPa. Diariamente, con el uso de porómetro (Modelo LI-Cor MK-3), se determinó la resistencia estomática de las plantas bajo esos tratamientos. Al final de 14 días de inicio del estrés, las plantas fueron muestreadas para determinar el potencial osmótico de las hojas y de las raíces, determinándose, además, el peso de la materia seca de la parte aérea y de las raíces. Los datos de resistencia estomática presentados son aquellos obtenidos cuatro días después de la aplicación del PEG.

RESULTADOS Y DISCUSION

Respuestas de híbridos de eucalipto a potasio y agua en el suelo. El crecimiento de las plantas, expresado por el incremento de la altura (Alt) y por el peso de la materia seca total (PST), fue significativamente afectado por el nivel de agua y por el nivel de potasio del suelo (cuadro 1). La variación en el valor absoluto de esas características en términos de los híbridos refleja la carga genética de cada material, de tal forma que la amplitud de variación promedio fue de 71.2 a 96.4 cm para la altura y de 31.3 a 35.0 g para la materia seca. La variación del incremento de altura varió significativamente con el híbrido, en cuestión, no ocurriendo lo mismo con la materia seca. El crecimiento fue muy reducido cuando se aplicó el estrés hídrico y cuando no se aplicó potasio al suelo, habiendo una doble interacción de esos factores

en el incremento de altura y en el peso de la materia seca. Así, en nivel de potasio, la diferencia de peso seco entre los híbridos con y sin estrés hídrico fue de 48%, mientras que en el nivel 150 ppm de potasio esa diferencia fue de 100%. Esto demuestra que, efectivamente, el potasio fue un factor principal del crecimiento de las plantas. Por otro lado, la diferencia entre aplicar o no potasio bajo estrés hídrico representó una diferencia de materia seca de 157% y de 253% cuando el suelo fue mantenido en la capacidad de campo.

Considerándose el crecimiento relativo en materia seca de cada híbrido, en función de los dos factores en estudio (cuadro 2), se observa una variación considerable en el comportamiento de los híbridos. Así, por ejemplo, el híbrido P x U sufrió fuerte reducción de materia seca cuando fue sometida al estrés hídrico, mientras que la combinación G x T fue menos afectada, principalmente en el nivel cero de potasio. El híbrido P x U mostró menos sensibilidad a la falta de potasio en cualquier condición de humedad del suelo. En ese particular, la combinación U x P, o sea, el cruce inverso, fue la más sensible. Esto demuestra que,

de acuerdo con el objetivo del cruce, si es hecho para elevar la tolerancia a la sequía o a la deficiencia de potasio, la especie que provee el polen es de extrema importancia.

El área de las hojas de las plantas también fue afectada por los tratamientos, o sea, genotipo, nivel de agua y nivel de potasio (cuadro 3). Como ejemplo de lo acontecido con la producción de materia seca total, en promedio, el estrés hídrico redujo el área de las hojas en 78% en la ausencia de abono potásico y en 116% en su presencia. Por otro lado, la ausencia de potasio bajo condiciones de estrés hídrico no afectó tanto (173%) el área de las hojas como en su condición de capacidad de campo (279%). La correlación entre el área de las hojas y el peso de materia seca total fue elevada ($r = 0.98$), mostrando, por lo tanto, que esta característica, que es más fácilmente determinada, puede ser adaptada en estudios de ese tipo.

El contenido de potasio en la planta, muestra básicamente, las mismas tendencias del área de las hojas ($r = 0.93$) y peso total ($r = 0.95$).

La concentración relativa de agua (CRA) de las hojas, muestra la importancia del tenor de potasio

CUADRO 1

Altura (Alt.) y producción de materia seca total (MS) de plantas de híbridos de eucalipto en condiciones variables de potasio y de agua en el suelo.

Height (Alt.) and total production of dry material (MS) of eucalypt hybrids in various conditions of potassium and soil water.

HIB	Niveles de K (mg kg ⁻¹)									
	0				150				Promedio	
	EH		CC		EH		CC		Alt.	MS
	Alt.	MS	Alt.	MS	Alt.	MS	Alt.	MS		
cm	g/mac.	cm	g/mac.	cm	g/mac.	cm	g/mac.	cm	g/mac.	
G x T	55.5	13.8	76.7	15.7	92.2	33.3	135.2	63.3	89.9	31.5
T x G	61.5	11.6	67.5	20.4	83.5	32.9	127.2	60.3	84.9	31.3
U x P	42.0	10.3	53.2	15.2	81.2	34.4	113.5	77.0	72.5	34.2
P x U	53.0	12.2	56.7	23.8	62.0	24.2	113.2	69.9	71.2	32.5
U x G	43.5	12.4	51.8	18.6	70.0	29.5	126.2	72.6	72.9	33.2
G x U	53.7	11.2	61.5	20.0	81.7	38.2	122.5	70.1	79.8	34.9
C x U	69.7	15.8	89.7	21.9	89.0	36.2	137.0	66.2	96.4	35.0
U x C	64.5	15.1	82.7	18.0	93.5	34.9	131.2	66.0	93.0	33.5
G x C	64.5	13.3	79.2	17.8	90.0	35.2	137.7	65.0	92.9	32.8
Prom.	56.4	12.9	68.8	19.0	82.6	33.2	127.1	67.8		

HIB = híbrido, CC = capacidad de campo, EH = estrés hídrico, G = *E. grandis*, T = *E. tereticornis*, U = *E. Urophylla*, P = *E. pellita*, C = *E. camaldulensis*.

CUADRO 2

Relación entre la producción de materia seca total de plantas de híbridos de eucalipto en condiciones variables de potasio y de agua en el suelo.
Relation between total production of dry material of eucalypt hybrids in various conditions of potassium and soil water.

HIB	Niveles de K (mg kg ⁻¹)			
	0		150	
	EH/CC		EH	CC
	%			
G x T	87.9	52.6	41.4	24.8
T x G	56.8	54.6	35.2	33.8
U x P	67.8	44.6	29.9	19.7
P x U	51.2	34.6	50.4	34.0
U x G	66.6	40.6	42.0	25.6
G x U	56.0	54.5	29.3	28.5
C x U	72.2	54.6	43.6	33.1
U x C	83.8	52.8	43.2	27.2
G x C	74.7	54.2	37.8	27.4

HIB = híbrido, CC = capacidad de campo, EH = estrés hídrico, G = *E. grandis*, T = *E. tereticornis*, U = *E. urophylla*, P = *E. pellita*, C = *E. camaldulensis*.

del suelo en la mantención de la turgencia de las plantas (cuadro 4). En el nivel cero de potasio, la turgencia de las hojas fue menor en plantas bajo estrés hídrico que en plantas crecidas en suelo en la capacidad de campo, ya que en el nivel más alto de potasio prácticamente no hubo diferencia en la turgencia de las hojas. El CRA mostró correlación significativa con las diversas características de las plantas, principalmente las de crecimiento ($r = 0.64$ para producción de materia seca total o área de las hojas).

Los datos de este trabajo demuestran que el crecimiento y la composición mineral de híbridos de eucalipto fueron determinados por el tenor de humedad, por el tenor de potasio del suelo y por sus interacciones.

Los híbridos reaccionaron con diferentes intensidades a las combinaciones de nivel de agua y de potasio en el suelo, siendo de gran importancia la elección de especies que serán hibridadas, según el comportamiento que se desea obtener, si tolerancia al estrés hídrico o exigencia potasio.

Niveles de potasio, consumo y eficiencia de utilización de agua por especies de eucalipto. El mayor nivel de K aumentó la eficiencia de utilización de agua (g de materia seca/l de agua absorbi-

CUADRO 3

Area foliar y contenido de potasio de plantas de híbridos de eucalipto en condiciones variables de potasio y de agua en el suelo.
Leaf area and potassium content of eucalypt hybrids in various conditions of potassium and soil water.

HIB	Niveles de K (mg kg ⁻¹)							
	0				150			
	EH		CC		EH		CC	
	Area cm ²	K g/mac.	Area cm ²	K g/mac.	Area cm ²	K g/mac.	Area cm ²	K g/mac.
G x T	1802	35.4	1897	45.0	3369	440	7035	768
T x G	1195	40.0	1947	46.9	3203	412	6531	799
U x P	1568	41.2	2035	45.4	3568	503	7771	773
P x U	1394	43.7	2811	54.8	3016	314	8010	772
U x G	1628	50.9	2272	46.9	3904	394	7920	744
G x U	889	33.4	2405	50.4	3271	545	9498	783
C x U	1337	52.0	2394	46.9	3826	435	7684	733
U x C	1272	42.2	2576	49.6	3672	455	6281	776
T x G	1195	40.0	1947	46.9	3203	412	6531	799
Promedio	1364	42.1	2254	48.0	3448	434	7473	771

HIB = híbrido, CC = capacidad de campo, EH = estrés hídrico, G = *E. grandis*, T = *E. tereticornis*, U = *E. urophylla*, P = *E. pellita*, C = *E. camaldulensis*.

CUADRO 4

Concentración relativa de agua (CRA) de las hojas¹ de híbridos de eucalipto influenciadas por los niveles de potasio y de la humedad del suelo.

Relative concentration of water in leaves (CRA) of eucalypt hybrids influenced by potassium levels and soil moisture.

HIB	Niveles de K (mg kg ⁻¹)			
	0		150	
	EH	CC	EH	CC
	%			
G x T	68.1	80.5	78.8	89.7
T x G	61.2	87.3	79.5	90.2
U x P	84.7	79.5	69.8	91.3
P x U	49.8	85.5	82.6	87.6
U x G	62.4	82.2	76.6	93.1
G x U	72.3	87.1	90.6	92.5
C x U	72.1	89.9	83.8	92.3
U x C	74.5	88.9	89.0	91.2
G x C	60.5	86.8	84.8	95.7

HIB = híbrido, CC = capacidad de campo, EH = estrés hídrico, G = *E. grandis*, T = *E. tereticornis*, U = *E. urophylla*, P = *E. pellita*, C = *E. camaldulensis*.

$$1. \text{ CRA} = \frac{\text{Hoja fresca} - \text{hoja seca}}{\text{Hoja embebida (24 h)} - \text{hoja seca}} \times 100$$

da) de manera más marcada para *E. citriodora* y *E. camaldulensis* (cuadro 5). Esas especies que fueron menos eficientes que *E. tereticornis*, *E. saligna*, *E. urophylla* y *E. grandis* cuando fueron suplidas con menor dosis de K, fueron expresivamente más eficientes cuando fueron suplidas con mayor dosis de K.

Es evidente la necesidad de mayor suplemento de K para aquellas dos especies, para que aumenten su eficiencia en el uso del agua. Y, de manera semejante, más intensamente, *E. citriodora* y *E. camaldulensis* tuvieron la transpiración bastante aumentada cuando fueron suplidas con menos K (cuadro 1). *E. cloeziana* presenta una tendencia semejante a esas dos especies, *E. saligna* presenta un efecto contrario (mayor transpiración en la presencia de una dosis mayor de K) y las demás especies con pequeñas diferencias entre las dosis de ese nutriente.

Es ampliamente comprobado por la literatura el efecto del K en el control de la abertura estomática, alterando la turgencia de las células guardianas. Aparentemente, para *E. citriodora* y *E. camaldulensis* ese efecto parece ser más expresivo que para las demás especies. Para el promedio de todas las especies (cuadro 5,) se observa que más K aumenta la eficiencia de utilización de agua y disminuye su transpiración.

CUADRO 5

Eficiencia de utilización y consumo de agua por unidad de área de las hojas de diferentes especies de eucalipto, sometidas a dos dosis de potasio en solución nutritiva.

Utilization efficiency and water consumption per unit area of leaves from various eucalypt species subjected to two doses of potassium in nutrient solution.

Especie	Eficiencia de utilización de agua		Consumo de agua/ área de las hojas	
	70 mg kg ⁻¹	7 mg kg ⁻¹	70 mg kg ⁻¹	7 mg kg ⁻¹
	g L ⁻¹		ml cm ⁻²	
<i>E. urophylla</i>	2.643	2.827	1.267	1.185
<i>E. pellita</i>	3.068	2.335	1.317	1.731
<i>E. grandis</i>	3.384	2.804	1.124	1.357
<i>E. tereticornis</i>	3.041	3.200	1.253	1.562
<i>E. cloeziana</i>	2.003	1.560	2.370	3.040
<i>E. citriodora</i>	4.764	2.652	0.944	1.695
<i>E. camaldulensis</i>	4.458	2.705	1.610	2.543
<i>E. saligna</i>	1.938	2.916	2.609	0.871
Promedio	3.162	2.629	1.561	1.748

Una mayor preocupación con el K debe ser tomada en cuenta, principalmente en regiones que, además de baja disponibilidad de K en los suelos, presentan un elevado déficit hídrico.

Tolerancia de las especies de eucalipto al estrés hídrico. Se observa (cuadro 6 y 7) que hay tres grupos de especies en relación a la resistencia estomática: *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E.*

citriodora, constituyendo las especies con menor resistencia; *E. pellita*, el *E. cloeziana* y el *E. grandis* en un grupo intermedio y *E. urophylla* y *E. saligna* con los mayores valores observados. *Eucalyptus citriodora* y *E. camaldulensis*, como también fue observado en el experimento anterior, presentan un comportamiento que difiere de las otras especies.

CUADRO 6

Producción de materia seca de la parte aérea (MSPA), de raíces (MSR) y total (MST) y resistencia estomática (Rs), potencial hídrico (W), potencial osmótico de raíz (S(r)) y de hoja (S(f)), de diferentes especies de eucalipto sometidas a tres niveles de estrés hídrico, en solución nutritiva.

Production of aboveground dry material (MSPA), root dry material (MSR), total dry material (MST), stomatal resistance (Rs), hydric potential (W), root osmotic potential (S(r)), and leaf osmotic potential (S(f)) of various eucalypt species subjected to three levels of hydric stress in nutrient solution.

Especie	Trat. MPa	VISPA	MSR g maceta ⁻¹	MST	Rs s cm ⁻¹	W	S(f) MPa	S(r)
<i>E. urophylla</i>	0.00	10.37	2.54	12.91	10.82	-0.23	-1.00	-0.37
	-0.25	8.09	2.22	10.31	13.73	-0.57	-1.48	-0.57
	-0.50	8.91	2.82	11.73	37.56	-0.84	-1.51	-0.63
<i>E. pellita</i>	0.00	8.91	1.49	10.41	3.19	-0.55	-0.98	-0.43
	-0.25	4.28	1.64	5.92	6.99	-0.39	-1.28	-0.58
	-0.50	6.80	2.13	8.92	6.78	-0.78	-1.54	-0.64
<i>E. grandis</i>	0.00	6.38	2.59	8.97	6.32	-0.60	-0.90	-0.44
	-0.25	6.62	2.47	9.09	13.51	-0.58	-1.26	-0.62
	-0.50	6.15	2.30	8.44	13.52	-0.34	-1.43	-0.65
<i>E. tereticornis</i>	0.00	6.94	2.12	9.06	1.30	-0.49	-1.03	-0.53
	-0.25	5.69	1.53	7.22	1.67	-0.60	-0.64	-0.59
	-0.50	4.98	1.34	6.32	5.85	-0.95	-1.58	-0.67
<i>E. cloeziana</i>	0.00	2.16	0.68	2.84	5.89	-0.46	-0.95	-0.47
	-0.25	1.65	0.53	2.18	10.55	-0.46	-1.27	-0.59
	-0.50	1.91	0.61	2.52	12.50	-0.41	-1.48	
<i>E. citriodora</i>	0.00	5.04	1.19	6.23	1.18	-0.30	-1.03	-0.51
	-0.25	4.42	1.19	5.61	1.41	-0.76	-1.38	-0.63
	-0.50	3.72	1.31	5.03	5.14	-0.70	-1.37	-0.74
<i>E. camaldulensis</i>	0.00	5.09	1.38	6.47	3.01	-0.51	-1.06	-0.68
	-0.25	3.77	1.05	4.82	5.19	-0.63	-1.40	-0.94
	-0.50	2.28	0.75	3.03	3.76	-0.61	-1.66	-0.79
<i>E. saligna</i>	0.00	3.89	1.09	4.98	23.94	-0.49	-0.97	-0.52
	-0.25	5.13	1.32	6.45	18.47	-0.47	-1.33	-0.63
	-0.50	3.54	0.99	4.53	38.52	-0.62	-1.71	-0.93

- = La cantidad de raíces fue insuficiente para precederse a la determinación.

CUADRO 7

Valores promedio para los tres niveles de estrés de producción de materia seca de la parte aérea (MSPA), raíces (MSR) y total (MST), resistencia estomática (Rs), potencial hídrico (W), potencial osmótico de raíz (S(r)) y de hoja (S(f)) de diferentes especies de eucalipto.

Average values for the three levels of stress for aboveground dry material (MSPA), root dry material (MSR), total dry material (MST), stomatal resistance (Rs), hydric potential (W), root osmotic potential (S(r)), and leaf osmotic potential (S(f)) of various eucalypt species.

Especie	MSPA	MSR	MST	Rs	W	S(r)	S(f)
	g maceta ⁻¹			s cm ⁻¹	MPa		
<i>E. urophylla</i>	9.12	2.53	11.65	20.70	-0.55	-0.52	-1.33
<i>E. pellita</i>	6.66	1.75	8.41	5.65	-0.57	-0.55	-1.27
<i>E. grandis</i>	6.38	2.45	8.83	11.09	-0.51	-0.57	-1.20
<i>E. tereticornis</i>	5.87	1.66	7.53	2.94	-0.68	-0.60	-1.08
<i>E. cloeziana</i>	1.91	0.61	2.52	9.65	-0.44	-0.53	-1.23
<i>E. citriodora</i>	4.39	1.23	5.62	2.58	-0.59	-0.63	-1.26
<i>E. camaldulensis</i>	3.71	1.06	4.77	3.99	-0.58	-0.80	-1.37
<i>E. saligna</i>	4.19	1.13	5.32	26.98	-0.53	-0.69	-1.34

Lo curioso es la baja resistencia estomática del *E. camaldulensis*, bastante utilizado en las reforestaciones más recientes por su supuesta gran tolerancia a mayores déficit hídricos. Si esto fuera verdad, esa tolerancia no está ligada a una esperada alta resistencia estomática. Sin embargo, el experimento anterior muestra que, en condiciones de mayor disponibilidad de K, su comportamiento en relación a la utilización de agua es bastante mejorado. Esa baja resistencia estomática de *E. camaldulensis* contrasta, por ejemplo, con la alta resistencia de *E. grandis* o *E. urophylla*.

Los menores potenciales osmóticos en las raíces de *E. citriodora*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (además de *E. saligna*) (cuadro 7), tal vez pudieran sugerir, para esas especies, un mayor gradiente de potencial entre el suelo y las raíces, en el sentido de favorecer una mayor absorción de agua.

Todo esto, en verdad, son hipótesis que futuros trabajos, particularmente aquellos conducidos en campos, deberán comprobar dilucidando los mecanismos involucrados.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, V., V.H. 1974. *Equilibrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais*. Viçosa, Tesis M.S., Universidade Federal de Viçosa, 125 pp.
- BAKER, D.A., P.E. WEATHERLEY. 1969. "Water and solute transport by exuding root systems of *Ricinus communis*", *J. Exp. Bot.* 20: 485-496.
- BARROS, N.F., J.C.L. NEVES, R.F. NOVAIS, J.L. TEIXEIRA. 1988. Produção e nutrição mineral de eucalipto cultivado no cerrado influenciadas por níveis de potássio. En: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Programa e Resumos. Guarapari. SPCS. pp. 121 s.d.
- BARROS, N.F., O.M. SILVA, A.R. PEREIRA, J.M. BRAGA, A. LUDWIG. 1984. "Análise de crescimento de *E. saligna* em solo do cerrado sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG", *IPEF* 26: 13-17.
- BARROS, N.F., R.F. NOVAIS, J.R. CARDOSO, P.R.O. MACEDO. 1990. Algumas relações solo-espécie de eucalipto em suas condições naturais. En: BARROS, N.F., R.F. NOVAIS (eds.). *Relação Solo-Eucalipto Viçosa*, Ed. Folha de Viçosa (1-24).
- MARSCHNER, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. New York, Academic Press, 674 pp.
- MENGEL, K., E.A. KIRKBY. 1978. *Principles of plant nutrition*. Berne, International Potash Institute, 593 pp.
- NOVAIS, R.F., A.K. REGO, J.M. GOMES. 1980. "Nível crítico de potássio no solo e na planta para o crescimento de plantas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de *Eucalyptus cloeziana* F. Muel", *Rev. Arvore* 4: 14-23.