

Muerte apical en eucalipto y manejo nutritivo de plantaciones forestales: aspectos fisiológicos del problema

Eucalypt dieback and nutritional management of plantation forest: physiological aspects

C.D.O.: 161.4 - 181.3

MARCO ANTONIO OLIVA, NAIRAM FELIX DE BARROS, MARIA MERCÊS DE MOUZA GOMES

Departamento de Biología Vegetal, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa,
36570000 Viçosa, MG, Brasil.

SUMMARY

In order to investigate the effects of P and Ca under water stress conditions on the development of die-back symptoms, seedlings of eucalypt were cultivated in soils fertilized with P and Ca and submitted to water stress. The increase of Ca and P in the medium with a simultaneous water deficit caused a decrease in stomatal resistance and an increase in the P content of the plants. An increase in the levels of P and Ca in the soil caused significant increases in leaf area and the accumulation of total dry matter effects, that were overridden by the water deficit. In general, P concentrations were higher in stressed plants; the opposite was observed for Ca, which was found to be higher in irrigated plants. It could be concluded that the development of die-back symptoms was more closely associated with high P doses and water stress than with Ca doses.

RESUMEN

Plantas jóvenes de eucalipto fueron cultivadas en suelo con distintos niveles de P y Ca y sometidas a estrés hídrico con la finalidad de determinar el efecto de estos factores sobre la sintomatología de la muerte apical. El aumento de Ca y P en el suelo, aplicado simultáneamente con el estrés hídrico, redujo la resistencia estomática y aumentó en el tenor de P en la planta. Un mayor nivel de P y un menor grado de Ca, en el suelo, causaron significativos aumentos del área foliar y producción de materia seca, efectos que fueron anulados en condiciones de déficit hídrico. La concentración de P fue mayor en las plantas estresadas, al contrario del Ca, que fue mayor en el control irrigado. Los resultados permiten concluir que la sintomatología de la muerte apical está más asociada con altas dosis de P y el estrés hídrico que con las dosis de Ca.

INTRODUCCION

El cultivo de eucalipto en regiones sujetas a déficit hídricos prolongados, como el caso de la región conocida como Cerrados en el Brasil Central, puede favorecer la incidencia de la muerte apical durante los períodos de restricción hídrica. La incidencia, como un todo y el grado de severidad del problema, varían con la especie y el sitio (Althoff *et al.*, 1991).

Eucalyptus camaldulensis es una de las especies más cultivadas en el Cerrados y la que, frecuentemente, presenta muerte apical. Esta sintomatología ha sido detectada en plantas fertilizadas, sea bajo condiciones de campo o condicio-

nes experimentales controladas. Según Oliva *et al.* (1989) los síntomas pueden ser consecuencia de un desfase entre las tasas de crecimiento y de lignificación de los vasos conductores apicales. Algunos elementos nutricionales, como boro y calcio, han sido relacionados con la muerte apical. Fertilizaciones con boro redujeron la sintomatología (Balloni, 1980; Fonseca *et al.*, 1990; Althoff *et al.*, 1991) y la deficiencia de calcio también induce síntomas semejantes (Novais *et al.*, 1990). En la región de Cerrados parte de los problemas observados pueden ser consecuencia de la pobreza en nutrientes del suelo y no siempre esa deficiencia es corregida vía fertilización. A estas condiciones deben ser agregados los períodos de sequía

que afectan tanto el transporte de nutrientes en el suelo como su absorción por la raíz. Oliva *et al.* (1989) observaron que plantas de *E. camaldulensis*, bajo estrés hídrico, presentaron menor contenido de calcio en las regiones más nuevas de la parte aérea y en las raíces. Las altas tasas de crecimiento de la especie en respuesta a dosis elevadas de fósforo, usadas en la fase de implantación, demandan también un transporte eficiente de calcio hasta los tejidos en crecimiento para la síntesis y formación de pared celular. Debido a que la translocación y distribución del calcio dependen del potencial hídrico de la planta, se podría levantar la hipótesis de que la muerte de los brotes, en parte, sería resultado de una deficiencia en el transporte del calcio hacia los ápices en crecimiento, por falta de elementos conductores hacia esos tejidos. Es posible además que las correcciones de calcio en el suelo no disminuyan ni la frecuencia ni la severidad del problema.

El objetivo de este estudio fue establecer correlaciones entre la muerte apical, la disponibilidad de fósforo y calcio en la fase de implantación y el papel de la deficiencia hídrica en la sintomatología.

MATERIAL Y METODOS

Plantas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn, cultivadas en cuatro niveles de fósforo (25, 75, 225 y 675 mg P/kg de suelo) y tres niveles de calcio, definidos según la necesidad de encalar (0, 63 y 315 mg Ca/kg de suelo), fueron sometidas a un estrés hídrico de $\Psi_w = -1.2$ Mpa durante 30 días consecutivos. Las plantas crecieron en tubos de PVC de 0.15 m de diámetro y 0.60 m de altura, con aproximadamente 9 kg de un latisol rojo-amarillo, de textura arcillosa, pobre en elementos nutritivos con 0.48 mg/kg de P, colectado en el Cerrado del Municipio de Lassance, Minas Gerais. La fertilización básica consistió en 150 mg/kg de K, en las formas de KH_2PO_4 y KNO_3 ; 100/kg de N, en las formas de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ y NH_4NO_3 ; 40 mg/kg de S en la forma de Na_2SO_4 y 24.3 mg/kg de Mg en la forma de MgSO_4 . Como fuentes adicionales de P y Ca fueron aplicados NaH_2PO_4 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, respectivamente. A los 30 días después de la emergencia se aplicaron 0.41 mg/kg de B, en la forma de H_3BO_3 ; 2 mg/kg de Zn en la forma de ZnCl_2 ; 0.66 mg/kg de Cu, en la forma de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 0.08 mg/kg de Mo en la forma de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

La selección final de las plantas fue realizada 20 días después de la emergencia, dejándose una planta por recipiente. Las plantas fueron mantenidas en suelo con humedad próxima a la capacidad de campo (CC) hasta 90 días después de la emergencia, época en que se inició la inducción del estrés hídrico. Con este fin, la mitad de las plantas de cada tratamiento, consideradas control, permaneció en suelo con humedad próxima a la capacidad de campo. Otro grupo fue sometido a un estrés hídrico (DH) con un $Y_{w \text{ suelo}} = -1.2$ Mpa. El contenido de agua del suelo fue mantenido mediante irrigación, controlada gravimétricamente y $Y_{w \text{ suelo}}$ relacionado con la curva correspondiente de retención de agua en el suelo (figura 1).

Los tratamientos, en esquema factorial 4 x 3 x 2 (cuatro niveles de P x 3 de Ca y 2 de agua) fueron aplicados a las plantas en invernadero en un delineamiento enteramente al azar con cuatro repeticiones. El potencial hídrico de las plantas (Y_w) fue determinado mediante la bomba de presión (Scholander *et al.*, 1965) y la resistencia estomática (R_{st}) por un porómetro de difusión provisto de un sensor horizontal (Kanemasu *et al.*, 1969). El área foliar de las plantas fue determinada mediante un medidor automático de bancada. Muestras de material seco fueron sometidas a digestión nitroperclórica para mineralización del material vegetal. El fósforo fue determinado colorimétricamente (Lindeman, 1958), el calcio y el magnesio mediante espectrometría de absorción

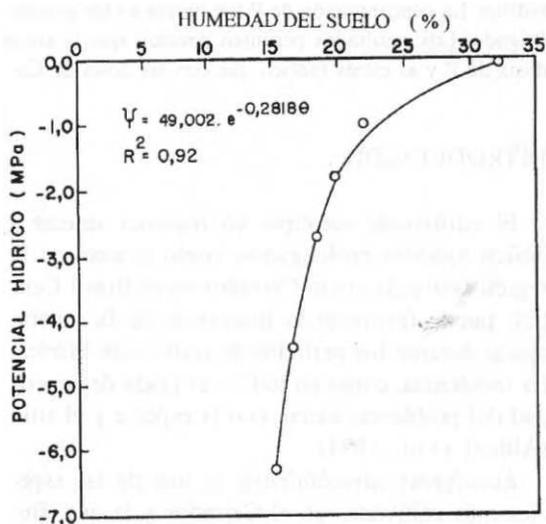


Figura 1. Capacidad de retención de agua por el suelo. Relation between soil moisture retention and matric potential.

CUADRO 1

Efecto de un déficit hídrico y cuatro niveles de fósforo en la altura de las plantas (m) en función de la edad, de *Eucalyptus camaldulensis*.
Height of eucalypt seedlings at different ages, as affected by soil P levels and moisture regimes.

Niveles de P mg/kg	Días después de la emergencia													
	30		45		60		75		90		105		120	
	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH
25	0.02	0.02	0.05	0.05	0.17	0.17	0.44	0.45	0.68	0.67	1.05	0.82	1.31	0.84
75	0.03	0.03	0.11	0.13	0.28	0.32	0.60	0.63	0.83	0.87	1.26	1.03	1.52	1.04
225	0.05	0.05	0.17	0.17	0.41	0.42	0.71	0.71	0.93	0.89	1.38	1.03	1.67	1.03
675	0.07	0.06	0.19	0.19	0.46	0.47	0.77	0.79	0.99	1.01	1.40	1.12	1.67	1.11

atómica y el potasio por fotometría de llama. Los valores R_{st} , materia seca y nutrientes minerales fueron sometidos a análisis de varianza y las medias comparadas por Tukey al nivel de 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Todas las plantas sometidas a deficiencia hídrica perdieron las hojas en las partes próximas al tallo y las hojas de las partes distantes mostraron desecamiento en forma de una "V" invertida. Porcentualmente, el 10% de las plantas podrían ser consideradas en condiciones óptimas, 50% en buenas condiciones, 8% en pésimo estado y 32% con síntomas típicos de muerte apical. Entre las plantas con síntomas, 47% habían sido fertilizadas con la dosis mayor de P (675 mg de P), 33% con la dosis intermedia (225 mg de P) y 20% con la dosis menor (75 mg/kg de P). Los resultados, entretanto, no mostraron una tendencia clara en relación al Ca.

Con la elevación del nivel de P en el suelo hubo un incremento sensible en el crecimiento en altura, principalmente de las plantas fertilizadas con 75 mg de P en relación con 25 mg de P (figura 2). El beneficio en altura de las plantas de *E. camaldulensis* por la aplicación adicional de P ya fue observado por Cameron *et al.* (1986) y Oliva *et al.* (1989). Sin embargo, después de 105 días de edad, las plantas presentaron un incremento menor en ambos tratamientos hídricos.

El déficit hídrico, impuesto a los 90 días después de la emergencia, redujo en promedio un 35%

la altura de las plantas en comparación con el control irrigado (cuadro 1). El aumento de las dosis de calcio no influyó la altura de las plantas.

El comportamiento de los estomas en relación a

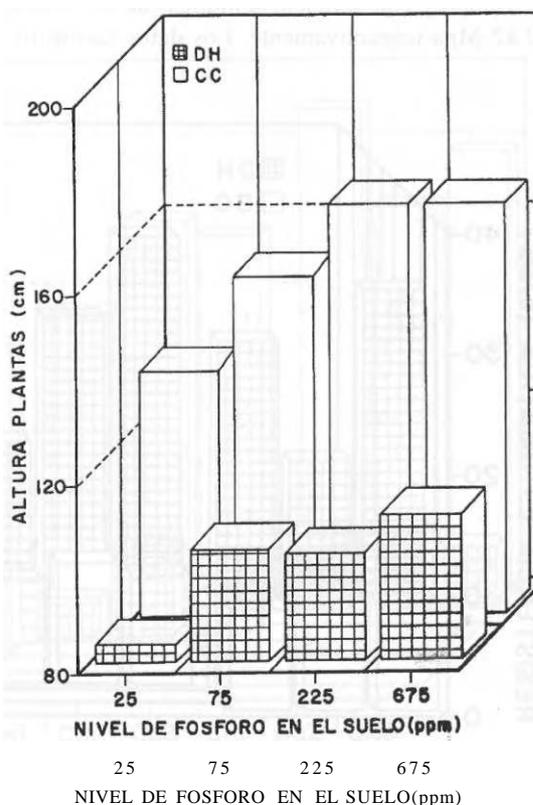


Figura 2. Efecto de diversos niveles de P sobre la altura de las plantas de eucalipto cultivadas en suelos con humedad próxima a la capacidad de campo (DH = déficit hídrico, CC = capacidad de campo).

Height of eucalypt seedlings as affected by soil P levels and moisture regimes (DH = water deficit, CC = field capacity).

la fertilización del suelo no mostró tendencias definitivas (figura 3 - DMS (Diferencia Mínima Significativa): 5.55, 5.04 y 4.2 para los niveles de P, Ca y agua respectivamente). Mediciones de R_{st} presentan, normalmente, altos coeficientes de variación debido a la sensibilidad de los estomas frente a factores primarios del ambiente. En las plantas cultivadas con humedad próxima a la capacidad de campo, R_{st} fue, en promedio, de 9.5 s/m, no indicando ningún efecto de P o Ca. Por otro lado, las plantas cultivadas con déficit hídrico presentaron R_{st} mayores que aquellas con riego. En plantas fertilizadas con P y con deficiencia hídrica, fueron encontrados aumentos de R_{st} de 265, 295, 143 y 106% para los diferentes niveles de fertilización fosfatada. No fue encontrada, en cambio, una tendencia clara cuando Ca fue adicionado al suelo.

El cierre rápido de los estomas parece estar ligado a un nivel crítico de potencial hídrico (Sinclair, 1980). La oscilación del Ψ_w en las plantas cultivadas en suelos próximos a la capacidad de campo y con deficiencia hídrica fue de -0.66 a -2.82 Mpa respectivamente. Los datos fueron in-

suficientes para determinar exactamente un Y_w crítico. El aumento de R en plantas con deficiencia hídrica, muestra que realmente existe un nivel no afectado por las fertilizaciones de P y Ca. Algunos autores como Connor *et al.* (1977) y Sinclair (1980) no encontraron una relación entre Y_w y R_{st} en plantas de eucalipto. Otros, como Gollan *et al.* (1985) y Schulze *et al.* (1987) afirman que es más importante para el cierre de los estomas el tenor de agua en el suelo que un Ψ_w crítico en la hoja. Sin embargo, existen datos para muchas especies que demuestran que la disminución del Ψ_w de la hoja es consecuencia directa de la falta de agua en el suelo y que el cierre de los estomas, en todas las plantas, obedece a un Ψ_w crítico específico. Los efectos de este cierre son una reducción de la asimilación de CO_2 , desequilibrio en el balance térmico de la hoja con el consecuente daño metabólico causado por temperaturas supraóptimas (Berry y Bjorkman, 1980) y disminución del crecimiento (Sand y Mulligan, 1990), entre otros.

El número de hojas en las plantas cultivadas en capacidad de campo aumentó con los niveles de P en el suelo, pero no con el de Ca. La restricción de

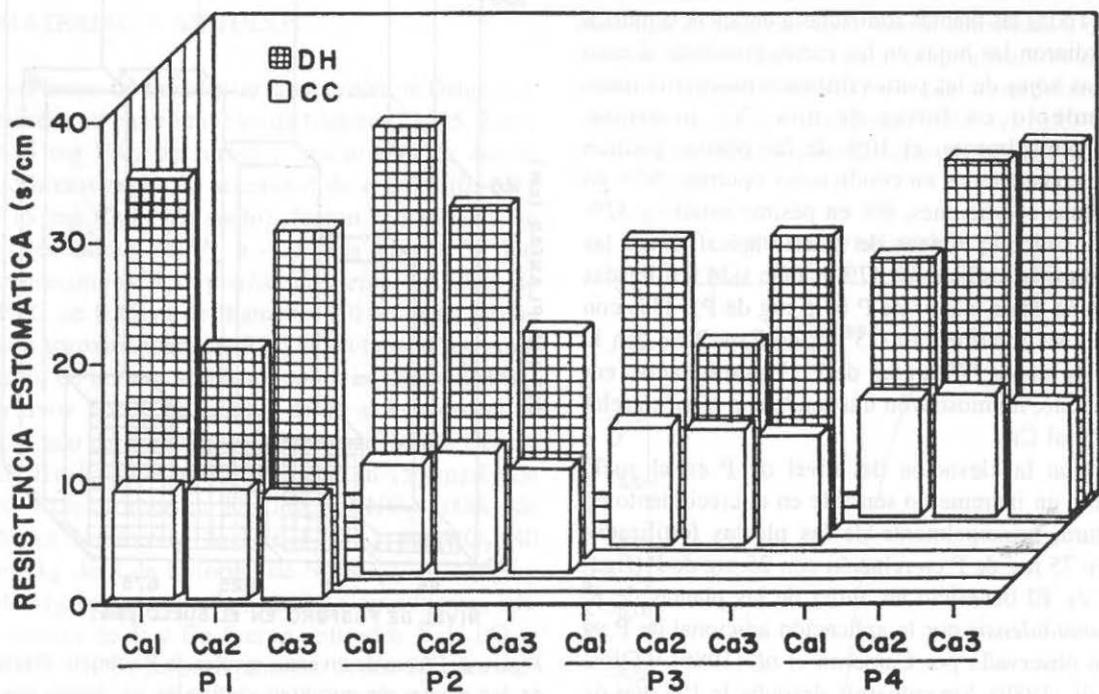


Figura 3. Resistencia estomática de plantas de eucalipto fertilizadas con diversos niveles de P y Ca en suelo con humedad próxima a la capacidad de campo y deficiencia hídrica (DH = déficit hídrico, CC = capacidad de campo). Stomatal resistance of eucalypt seedling as affected by rates of P and Ca applied to the soil under two moisture regimes (DH = water deficit, CC = field capacity).

agua en el suelo afectó acentuadamente el número de hojas de las plantas cultivadas con 225 y 675 mg de P (figura 4). También la adición de Ca parece haber aumentado el número de hojas en plantas con déficit hídrico. En el nivel de 63 mg de Ca, CC, hubo un aumento de cerca de 50% de hojas en las plantas fertilizadas con 25 mg de P y de 60% en los niveles correspondientes a 63 y 315 mg de Ca en plantas cultivadas en suelo con 75 mg de P. La tendencia de aumentar el número de hojas en plantas con déficit hídrico con relación al nivel de Ca fue más clara en plantas fertilizadas hasta 75 mg de P. Concentraciones superiores de P y Ca no producen un aumento significativo del número de hojas.

El déficit hídrico impuesto a las plantas por restricción de agua en el suelo afecta tanto el número de hojas como también el área foliar. En plantas sin déficit hídrico, el aumento en la disponibilidad de P en el suelo conduce a un aumento del área foliar (figura 5). Los mayores aumentos relativos de área foliar (68%) fueron obtenidos en plantas cultivadas con 75 mg de P. En cambio,

cuando fueron sometidas a déficit hídrico, todas las plantas disminuyeron el área foliar. Además, en general en las plantas cultivadas, las dosis de Ca no alteraron el área foliar del eucalipto (cuadro 4).

La producción de hojas por los cultivos representa la formación de superficie fotosintetizante. Bajos Y_w foliares influyen este proceso afectando no sólo la iniciación foliar como también la expansión de la hoja. Este último es el proceso más sensible al déficit hídrico y afecta en forma irreversible el área foliar (McCree y Davis, 1974; Meyer y Boyer, 1972). Los eucaliptos frecuentemente regulan la economía hídrica de los ecosistemas adaptando su superficie transpiratoria a la disponibilidad de agua en el suelo (Sand y Mulligan, 1990).

La fertilización fosfatada indujo un aumento de la materia seca de raíces, tallos y hojas (cuadro 2) en las plantas irrigadas, situación que no fue alterada por la adición de Ca. Los resultados muestran además que el aumento de la materia seca total con dosis crecientes de P no fue significativo. Esto

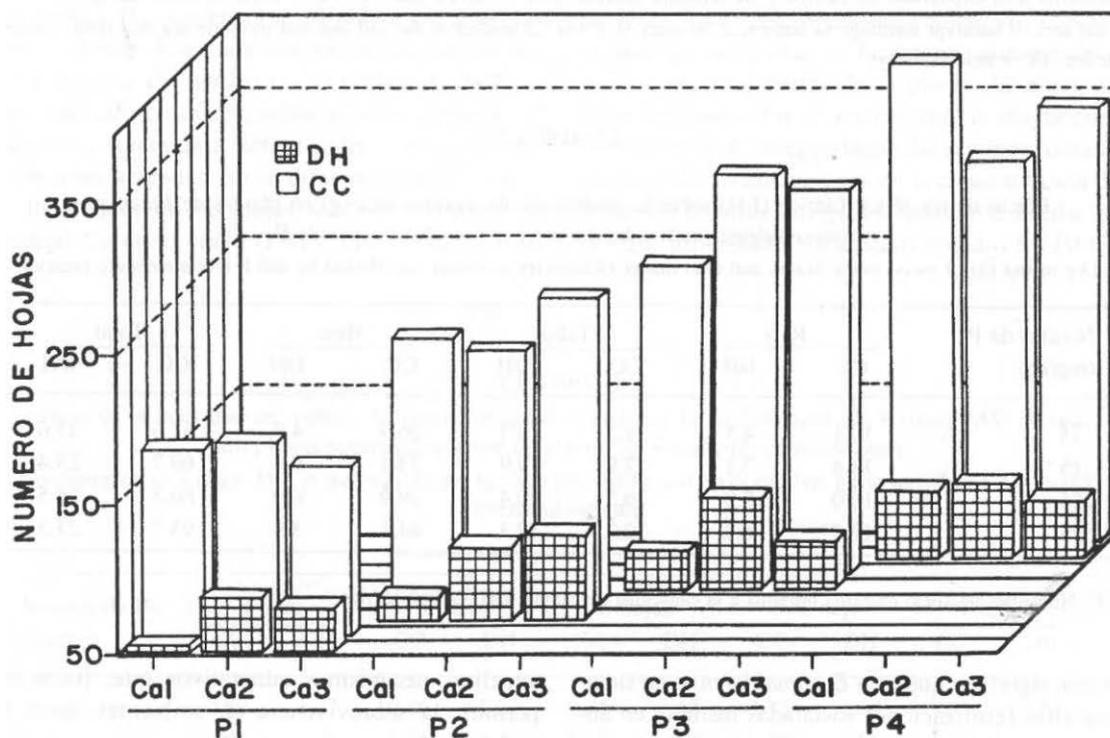


Figura 4. Número de hojas de plantas de eucalipto fertilizadas con diversos niveles de P y Ca en suelo con humedad próxima a la capacidad de campo y deficiencia hídrica (DH = déficit hídrico, CC = capacidad de campo).

Number of leaves of eucalypts seedlings as influenced by rates of P and Ca applied to the soil and soil moisture regimes (DH = water deficit, CC = field capacity).

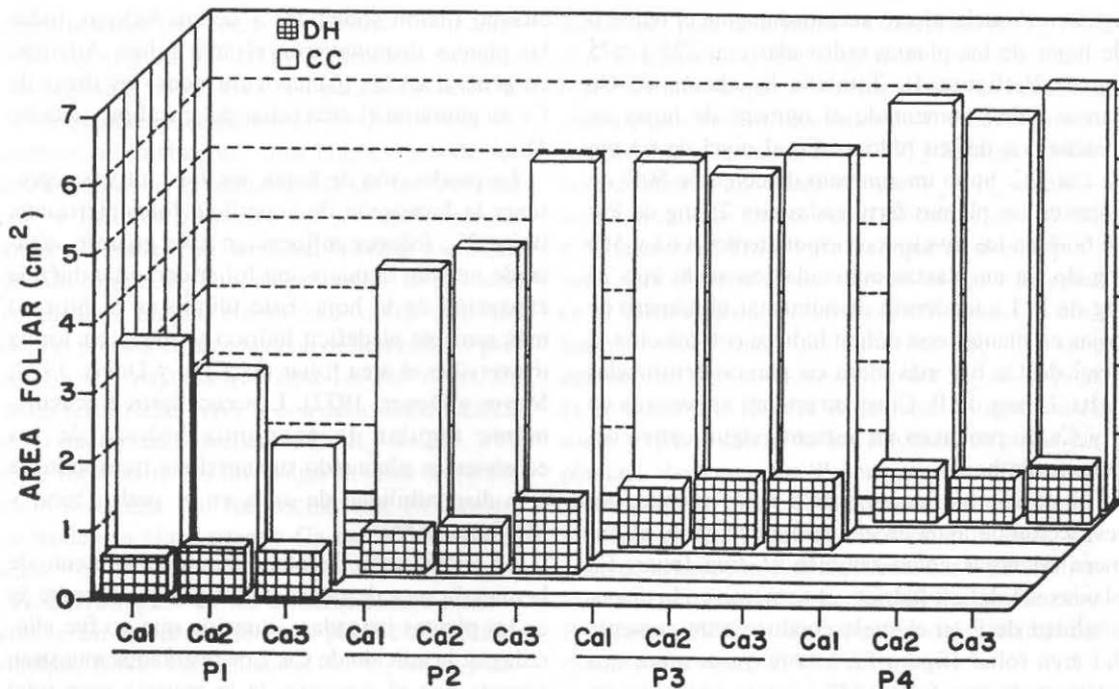


Figura 5. Area foliar de plantas de eucalipto fertilizadas con diversos niveles de P y Ca en suelos con humedad próxima a la capacidad de campo y deficiencia hídrica (DH = déficit hídrico, CC = capacidad de campo). Leaf area of eucalypt seedlings as influenced by rates of P and Ca applied to the soil and soil moisture regimes (DH = water deficit, CC = field capacity).

CUADRO 2

Efecto de un déficit hídrico (DH) sobre la producción de materia seca (g) en plantas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas en suelo con cuatro niveles de P.

Dry matter (g) of roots, stems, leaves and total matter of eucalypt seedlings, as affected by soil P levels moisture regimes.

Niveles de P (mg/kg)	Raíz		Tallo		Hoja		Total	
	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH
25	10.1	4.5	14.5	5.5	26.9	4.9	51.6	15.0
75	13.4	7.1	22.9	9.9	33.4	6.4	69.7	23.4
225	16.0	8.0	30.5	10.4	39.9	6.0	86.3	24.5
675	17.0	6.2	32.7	12.3	44.1	5.9	93.7	24.3

CC: Humedad del suelo regulada próxima a la capacidad de campo, DH: Déficit hídrico.

puede significar que para *E. camaldulensis* no siempre altas fertilizaciones fosfatadas resultan en aumento de materia seca. La inducción de un estrés hídrico produjo una reducción de la producción de materia seca alrededor de un 70% independiente del nivel de P o Ca en el suelo.

Para la producción forestal es deseable explorar

aquellos mecanismos adaptativos que, fuera de permitir la sobrevivencia en ambientes secos y deficientes en nutrientes, aumenten el crecimiento (Sand y Mulligan, 1990). La principal característica que hace de *E. camaldulensis* una especie de amplia distribución es su capacidad de sobrevivir a sequías largas y severas (Pook *et al.*, 1966;

Florence, 1981; Jacobs, 1981; Skolmen, 1983; Ngulube, 1988; Herwitz y Guttermann, 1990), lo que favorece su plantación en un amplio rango de condiciones ambientales (Awe *et al.*, 1976).

En muchos estudios de fertilización los nutrientes fueron aplicados apenas una vez (Cromer, 1984). En gran parte de las empresas, por razones técnicas, la aplicación del fertilizante es realizada sólo en la época de la plantación. Pero las respuestas de los árboles a los fertilizantes dependen de la edad o del estado de desarrollo de la plantación. En el período de cierre de la copa, la demanda por nutrientes de una plantación generalmente es mayor y es durante ese período inicial que los fertilizantes son más eficientes (Miller, 1981; Grove, 1988). Aplicaciones únicas de fertilizantes al momento de plantar pueden resultar en una reducción gradual de la disponibilidad de nutrientes para las plantas durante su ciclo vegetativo.

La concentración de P en las diferentes partes de la planta aumenta en general con la fertilización fosfatada (cuadro 3). Esto es más claro en las raíces, tallos, hojas superiores y ápices, pero no así en las hojas comunes. En las plantas con déficit hídrico, la tendencia a un mayor nivel en las hojas es más destacada que en las plantas sin déficit hídrico. Por otra parte, el contenido de P no fue más alto en raíces, tallos y hojas comunes en la planta sometida a déficit hídrico; en comparación a las irrigadas, no se diferenció en los ápices y fue menor en las hojas superiores cuando se agregó Ca en el suelo (DMS: raíz - 0.23 y 0.16

para nivel de P y agua respectivamente, tallo = 0.21 y 0.16, hojas = 0.28 y 0.21, hojas superiores = 0.33 y 0.25, ápice = 0.32 y 0.24).

La concentración de Ca, de un modo general, aumentó en las diversas partes de la planta con la adición de Ca al suelo, independiente del régimen hídrico aplicado (cuadro 4). Las plantas sometidas a deficiencia hídrica, en general, presentaron concentraciones menores de Ca. Con el aumento de la fertilización con P no hubo una tendencia definida de aumento o reducción en la concentración de Ca y las oscilaciones impiden un análisis más preciso. Sin embargo, con una oferta de 315 mg de Ca, la concentración de Ca tendió a aumentar en las raíces y ramas, y a reducirse en los ápices con el aumento de P en ambos regímenes hídricos (DMS: raíz = 0.88 y 0.83 para nivel de Ca y agua respectivamente, tallo = 0.79 y 0.66, hojas = 0.8 y 0.66, hojas superiores = 0.71 y 0.59, ápice - 0.28 y 0.23).

La fertilización del suelo con P y Ca no alteró la concentración de K en las diferentes partes de las plantas con déficit hídrico. En esas mismas plantas fue encontrada una mayor concentración de K en las hojas superiores comparado con las plantas irrigadas, mas no fueron encontradas diferencias en otras partes de la planta. El ápice de todas las plantas fue el que presentó la mayor concentración de K independiente del régimen hídrico. En general, las alteraciones en la concentración de K en los controles irrigados mostraron oscilaciones que dificultaron un análisis (cuadro 5 - DMS:

CUADRO 3

Efecto de la humedad del suelo y la disponibilidad de fósforo en la concentración de P (mg/g MS) en raíz, tallo, hojas superiores y ápice de plantas de *Eucalyptus camaldulensis*.
Concentration of P (mg/g MS) in the roots, stems, leaves, upper leaves, and tip of eucalypt plants as influenced by soil P levels and moisture.

Niveles de P (mg/kg)	P raíz		P tallo		P hojas		Ph. sup.		P ápice.	
	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH
25	0.80	1.27	0.46	1.20	1.45	1.67	2.43	1.64	1.85	1.87
75	0.81	1.25	0.51	1.17	0.96	1.38	2.37	2.06	1.97	1.85
225	0.98	1.41	0.88	1.23	1.14	1.49	2.65	2.06	2.14	2.12
675	1.50	2.17	1.31	2.06	1.36	1.96	2.59	2.55	2.52	2.74

CC: Capacidad de campo, DH: Déficit hídrico.

CUADRO 4

Efecto de humedad y la oferta de calcio del suelo en la concentración de Ca (mg/g MS) en raíz, tallo, hojas, hojas superiores y ápice de plantas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Concentration of Ca (mg/g MS) in the roots, stems, leaves, upper leaves, and tip of eucalypt plants as influenced by soil Ca levels and moisture.

Niveles de Ca (mg/kg)	Ca raíz		Ca tallo		Ca hojas		Ca h. sup.		Ca ápice	
	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH
0	1.90	2.26	1.51	1.40	2.58	2.16	2.04	1.53	2.85	2.26
63	4.37	3.34	2.21	2.53	4.12	3.26	3.48	2.53	2.89	2.83
315	7.93	5.22	4.26	3.91	6.03	4.87	4.16	2.39	5.59	3.06

CC: Capacidad de campo, DH: Déficit hídrico.

CUADRO 5

Concentración de K (mg/g MS) en raíz, tallo, hojas, hojas superiores y ápice de plantas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas en suelos con humedad próxima a la capacidad de campo (CC) y con déficit hídrico (DH).

Concentration of K (mg/g MS) in the roots, stems, leaves, upper leaves, and tip of eucalypt plants as influenced by different soil moisture.

Régimen hídrico	K raíz	K tallo	K hojas	K h. sup.	K ápice
CC	7.66	9.75	15.47	19.26	28.02
DH	6.46	11.04	22.77	19.89	27.61

CC: Capacidad de campo, DH: Déficit hídrico.

raíz = 0.14, tallo = 0.17, hojas = 0.32, hojas superiores = 0.32, ápice = 0.43).

Cuando agua y nutrientes limitan el crecimiento de árboles, éste puede ser mejorado aumentando la oferta de agua y nutrientes (Sand y Mulligan, 1990). Las deficiencias nutricionales son, en muchos casos, más fáciles de ser corregidas en las plantaciones forestales, donde la fertilización es parte de la prescripción silvicultural. La fertilización se ha mostrado eficiente para la obtención de altas tasas de crecimiento (Cremer *et al.*, 1978; Attiwill, 1979; Miller, 1981) y en las condiciones brasileñas particularmente por la adición de fósforo (Barros *et al.*, 1981). Aplicaciones de nitrógeno han dado respuestas altamente significativas en altura y diámetro con un beneficio adicional cuando se agrega P (Cameron *et al.*, 1986). Un déficit hídrico en el suelo afecta la absorción de nutrientes, ya que éstos se mueven desde la solución del suelo hacia la superficie radicular por flujo de masa y

difusión, ambos procesos son reducidos con la disminución de la transpiración (Richards y Wadleigh, 1952; Nye y Tinker, 1977; Sand y Mulligan, 1990). Existen diversas indicaciones de que una nutrición mineral alterada podría estar directamente involucrada en la decadencia de los bosques.

Existen diversos estudios que asocian estrés hídrico con concentración de nutrientes y muerte apical (White, 1976; Landsberg y Wylie, 1983), aunque el estrés hídrico no sea considerado como causa principal de la muerte apical (Landsberg y Wylie, 1983; Landsberg, 1985). Árboles con muerte apical tienden a tener concentraciones foliares más altas de N, P y K, comparado con árboles sanos. Las mismas observaciones son consistentes con el apareamiento de hojas epicórmicas en árboles con síntomas (Landsberg y Wylie, 1983; Crombie y Milburn, 1988). Los síntomas de muerte apical de alguna forma se asocian con la nutrición mineral, bajos potenciales hídricos en el sue-

lo y con una probable ineficiencia en la absorción/distribución del calcio (Shear, 1975) y del boro (Althoff *et al.*, 1991). Es conocido que altas tasas de crecimiento de tejidos susceptibles pueden contribuir al desarrollo de desórdenes por deficiencia de Ca en tejidos con baja tasa de crecimiento pero con alta demanda de fotoasimilados, como es el caso de estructuras foliares todavía cerradas (Bangerth, 1969; Bangerth y Mostafawi, 1969; Kretsinger, 1976).

Aunque la absorción del Ca no es afectada por la deficiencia hídrica y la movilidad del Ca libre dentro de la planta es relativamente baja (Ho y Adams, 1989), el agua es uno de los factores decisivos en la distribución del Ca en la parte aérea (Bangerth, 1979). El problema de la muerte apical es que cuando los síntomas aparecen, ningún tratamiento puede ser aplicado para revertir el daño. Es posible pensar, solamente, en una acción preventiva para evitar la pérdida económica, incorporando en los valores de los productos forestales los costos de la fertilización.

CONCLUSIONES

1. El estrés hídrico anula los efectos resultantes de la fertilización con Ca y P sobre el aumento del área foliar y la producción de materia seca en eucalipto.

2. Los tenores de Ca y P en eucalipto fertilizado mostraron que la deficiencia hídrica afectó, apenas, la absorción de Ca.

3. Los resultados permiten establecer una estrecha asociación entre la fertilización fosfatada y los síntomas de muerte apical en eucalipto sometido a estrés hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del CNPq y del Convenio Mannesmann-Agro-Florestal (MAFLA)/SIF/UFV.

BIBLIOGRAFIA

ALTHOFF, P., A.C. OLIVEIRA, E.J. MORAIS, S. FONSECA. 1991. "Eucalypt dieback in "Cerrado" areas in North-Northwest of Minas Gerais". En: SCHÖNAU, A.P.G. (ed.) *Symposium on Intensive Forestry: The Role of Eucalyptus*. Pretoria, Southern Afr., Inst. For., pp. 598-609.

ATTIWILL, P.M. 1979. "Nutrient cycling in a *Eucalyptus*

obliqua (L'Hérit) forest. III. Growth, biomass and net primary production", *Aust. J. Bot.* 27: 439-458.

AWE, J.O., K.R. SHEPHERD, R.G. FLORENCE. 1976. "Root development in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn", *Aust. For.* 39: 201-209.

BALLONI, E.A. 1980. "A utilização do boro em florestas plantadas", *J. Reflorestadores* 1: 1.3-16.

BANGERTH, F. 1969. "Untersuchungen zur Ursache der Entstehung der Stippigkeit bei Apfelfrüchte und Möglichkeiten zur Verhinderung", *Angew. Bot.* 42: 240-262.

BANGERTH F. 1979. "Calcium related physiological disorders of plants", *Ann. Rev. Phytopathol.* 17: 97-122.

BANGERTH, F., M. MOSTAFAWI. 1969. "Einfluss der Wasserversorgung und des Fruchtgewichtes auf den Mineralstoffgehalt und die Stippigkeit von Apfelfrüchten", *Der Erwerbsobstbau*, 11: 101-104.

BARROS, N.F., J.M. BRAGA, R.M. BRANDI, B.V. DEFILIPO. 1981. "Produção de eucalipto em solos de Cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn", *Revista Arvore.* 5: 90-103.

BERRY J., O. BJORKMAN. 1980. "Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants", *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 491-543.

CAMERON, D.M. O. RANCE, E.R. WILLIAMS. 1986. "Nutrition studies with irrigated *Eucalyptus camaldulensis* and *Anthocephalus chinensis* on a cracking clay in northern Australia", *Trop. Agric.* 63: 11-16.

CONNOR, D.J., N.J. LEGGE, N.C. TURNER. 1977. "Water relations of mountain ash (*Eucalyptus regnans* F. Muell) forest", *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 753-762.

CREMER, K.W., R.N. CROMER, R.G. FLORENCE. 1978. "Stand establishment". En: HILL, W.E., A.G. BROWN (eds.). *Eucalypts for wood production*. CSIRO, Melbourne, pp. 81-135.

CROMBIE, D.S., J.A. MILBURN. 1988. "Water relation of rural eucalypt dieback". *Aust. J. Bot.* 36: 233-237.

CROMER, R.N. 1984. "The influence of nutrition on growth and photosynthesis". En: *Eucalypts Proceedings IUFRO Symposium on "Site Productivity of fast growing Plantations"*. Vol. 2 Pretoria and Pitermaritzburg, South Africa, 30 April-11 May, pp. 669-678.

FLORENCE, R.G. 1981. "The biology of the eucalypt forest". En: PATE J.S., A.J. McCOMBA (eds.). *The Biology of Australian Plants*. University of Western Australian Press, pp. 147-180.

FONSECA, S., J.L. MALUF, A.C. OLIVEIRA. 1990. "Adução de *E. camaldulensis* com boro e zinco em solos de Cerrado na região de Brasília, MG". En: *Anais do VI Congresso Florestal Brasileiro*. Campos de Jordão, SP, Soc. Bras. Silv./Soc. Eng. Florestal, pp. 403-406.

GOLLAN, T., N.C. TURNER, E-D. SCHULZE. 1985. "The responses of stomata and leaf exchange to vapour pressure deficits and soil water content. III. In the sclerophyllous woody species *Nerium oleander*", *Oecologia*, 65: 356-362.

GROVE, T.S. 1988. "Growth responses of trees and understorey to applied nitrogen and phosphorus in kam (*Eucalyptus diversicolor*) forest", *Forest Ecology and Management*, 23: 87-103.

HERWITZ, S.R., Y. GUTTERMAN. 1990. "Biomass production and transpiration efficiencies of Eucalypts in the Negev desert", *Forest Ecology and Management*, 31:81-90.

HO, L.C., P. ADAMS, 1989. "Calcium deficiency - A matter of inadequate transport to rapidly growing organs", *Plants Today*. 2: 202-207.

JACOBS, M.R. 1981. *Eucalyptus for planting*. FAO, Rome, Forestry Series No. 11, 677 pp.

KANEMASU, E.T., G.W. THURTELL, C.B. TANNER. 1969. "Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer", *Plant Physiol.* 44: 881-885.

- KRETSINGER, R.H. 1976. "Calcium binding proteins", *Ann. Rev. Biochem.* 45: 239-266.
- LANDSBERG, G.J. 1985. "Drought and dieback of rural eucalypts", *Aust. J. Ecol.* 10: 87-90.
- LANDSBERG, J., F.R. WYLIE. 1983. "Water stress, leaf nutrients and defoliation: a model of dieback of rural eucalypts", *Aust. J. Ecol.* 8: 27-41.
- LINDEMAN, W. 1958. "Observation on the behaviour of phosphate compounds in Chlorella at the transition from dark to light". En: United Nations (ed.) *United Nations International Conference on the Peaceful uses of Atomic Energy*, 2. Geneva. 24: 8-15.
- McCREE, K.J., S.D. DAVIS. 1974. "Effect of water stress and temperature on leaf size and size and number of epidermal cells in grain sorghum", *Crop Sci.* 14: 751-755.
- MEYER, R.F., J.S. BOYER. 1972. "Sensitivity of cell division and cell elongation to low water potential in soybean hypocotyls", *Planta.* 108: 77-87.
- MILLER, H.G. 1981. "Forest fertilization: some guiding concepts", *Forestry*, 54: 157-167.
- NGULUBE, M.R. 1988. "Performance of height - classified *Eucalyptus camaldulensis* seedling after one year in the field", *New Forests*, 2: 275-280.
- NOVAIS, R.F., N.F. BARROS, J.C.C. NEVES. 1990. "Nutrição mineral de eucalipto". En: BARROS, N.F., R.F. NOVAIS (eds.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, pp. 25-98.
- NYE, P.H., P.B. TINKER. 1977. *Solute movement in the soil-root system*. Blackwell, Oxford, 342 pp.
- OLIVA, M.A., N.F. BARROS, M.M.S. GOMES, N.F. LOPES. 1989. "Seca de ponteiros" em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn em relação a estresse hídrico nutrição mineral", *Rev. Arvore*, 13: 19-33.
- POOK, E.W., A.B. COSTIN, C.W.E. MORE. 1966. "Water stress in native vegetation during the drought of 1965", *Australian Journal of Botany*, 14: 257-267.
- RICHARDS, L.A., C.H. WADLEIGH. 1952. "Soil water and plant growth". En: SCHAW, B.T. (ed.). *Soil Physical Conditions and Plant Growth*. Academic Press, New York, pp. 73-251.
- SAND, R., D.R. MULLIGAN. 1990. "Water and nutrient dynamics and tree growth", *Forest Ecology and Management* 30: 91-111.
- SHEAR, C.B. 1975. "Calcium related disorders of fruit and vegetables", *Hort. Science*, 10: 361-365.
- SCHOLANDER, P.F., H.T. HAMMEL, E.D. BRADSTREET, E.A. HEMMINESEN. 1965. "Sap pressure in vascular plants", *Science* 148: 339-346.
- SCHULZE, E.D., R.H. ROBICHAUX, J. GRACE, P.W. RUNDEL, J.R. EHLERINGER. 1987. "Plant water balance". *Bioscience*, 37: 30-37.
- SINCLAIR, R. 1980. "Water potential and stomatal conductance of three *Eucalyptus* species in the mount lofty range, South Australia: Responses to summer drought", *Aust. J. Bot.* 28: 499-510.
- SKOLMEN, R.G. 1983. "Growth and yield of some Eucalypts of interest to California". En: *Proceeding of a workshop on Eucalyptus in California*. June 14-16, Sacramento, California, 128 pp.
- WHITE, T.C.R. 1976. "Weather, food and plagues of locusts", *Oecologia* (Berl.) 22: 119-134.