

DEVELOPMENT AND INITIAL GROWTH OF CASTOR BEAN (*Ricinus communis*) CROP SUBMITTED TO DIFFERENT SOIL WATER TENSIONS

DESARROLLO Y CRECIMIENTO INICIAL DE LA HIGUERILLA (*Ricinus communis*) SOMETIDA A DIFERENTES TENSIONES DE AGUA EN EL SUELO

Marília A. Brito-Pinto^{1*}, Carlos Reisser-Júnior², L. Carlos-Timm³, Gabriel Franke-Brixner⁴, S. Delmar dos Anjos e Silva⁴, Letiane Helwig-Penning⁵

¹Postgraduate Program in Agronomy, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Campus Universitário s/n, Caixa Postal 354, CEP: 96010- 900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. (ma.agro@gmail.com). ²Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. ³Department of Rural Engineering, Faculty of Agronomy, Federal University of Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. ⁴Postgraduate Program in Agronomy, Federal University of Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. ⁵Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Federal University of Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.

ABSTRACT

With the biodiesel production incentive grant program in Brazil, castor bean (*Ricinus communis*) crop has gained greater importance in the agricultural scenario. Therefore, the objective of this study was to evaluate the castor bean response to different levels of soil water tension. A greenhouse study was carried out with castor bean plants, cv. Al Guarany 2002, cultivated in pots, and a tensiometer was installed at 0.15 m deep to monitor soil water tension. The experimental design was completely randomized with three treatments (T) and four replicates: T1, water tension maintained at 0.01 MPa; T2, when soil water tension reached 0.03 MPa, water was added to restore it to 0.01 MPa; T3, when soil water tension reached 0.06 MPa, water was added to restore it to 0.01 MPa. Between 30 and 105 d after plant emergence, the leaf area, plant height, stem diameter and transpiration rates were measured every two weeks. The time of initial flowering and height of insertion of the first raceme were also determined. Results show that the castor bean is sensitive to the increase in water soil tension, and higher stress conditions lead to decreased growth, and lower transpiration rates and vegetative period.

Keywords: *Ricinus communis* L., transpiration, water stress.

RESUMEN

Con el programa de becas de incentivo de producción de biodiesel en Brasil, el cultivo de la higuera (*Ricinus communis*) adquirió mayor importancia en el escenario agrícola. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de la higuera a diferentes tensiones de agua en el suelo. El estudio se realizó en invernadero con plantas de higuera, cv. Al Guarany 2002, cultivadas en macetas, y se instaló un tensiómetro a 0.15 m de profundidad para controlar la tensión de agua en el suelo. El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos (T) y cuatro repeticiones: T1, tensión de agua mantenida a 0.01 MPa; T2, cuando la tensión de agua en el suelo alcanzó 0.03 MPa, se agregó agua para restaurarlo a 0.01 MPa; T3, cuando la tensión de agua en el suelo alcanzó 0.06 MPa, se agregó agua para restaurarlo a 0.01 MPa. Entre 30 y 105 d después de emerger la planta, se midieron el área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo y los índices de transpiración cada dos semanas. También se determinó el tiempo de la floración inicial y la altura de la inserción del primer racimo. Los resultados muestran que la higuera es sensible al aumento de la tensión de agua en el suelo y las condiciones de mayor estrés conducen a un crecimiento reducido, e índices de transpiración y período vegetativo menores.

Palabras clave: *Ricinus communis* L., transpiración, estrés hídrico.

INTRODUCCIÓN

Brasil es el tercer mayor productor de higuera *Ricinus communis*, después de China y la India; sin embargo, teniendo en cuenta el

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: January, 2014. Approved: July, 2014.

Published as ARTICLE in *Agronomía* 48: 501-510. 2014.

INTRODUCTION

Brazil is the third largest producer of castor bean *Ricinus communis*, behind China and India; however, considering the present government program on biofuels, the country may, in the coming years, regain the first position held in 1980's. The average production of castor in the last three seasons was 61 000 t (IBGE, 2014).

In addition to the high potential of castor bean for oil production, which has a wide range of applications in the chemical and pharmaceutical industries, and the possibility of its usage as raw material for biofuel production (Savy Filho, 2005), castor bean by-products can also be used. Castor presscake, for instance, obtained from the crushing of seeds, can be employed as an organic fertilizer since it has nematicidal and fungicidal properties, presents all macro and micro nutrients, and is rich in organic matter and nitrogen (Silva *et al.*, 2007).

The cultivated area of castor beans in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, has increased driven by the Brazilian biofuel policy that promoted many oil and biofuel industries in the state. This generated a great demand for technical and scientific information about this crop (Silva *et al.*, 2007), among which is the effect of water deficit on castor bean development.

According to Beltrão *et al.* (2003), despite being drought resistant, the castor bean is very sensitive to changes in soil moisture in its initial phase, which may compromise its production of assimilates. By assessing the response of castor bean cv. BRS Energy to different irrigation levels, Silva *et al.* (2009) observed that as the water availability increased, the plant height, leaf area, and yield of castor bean also did so. Lacerda *et al.* (2009) studied castor bean cv. BRS 188-Paraguassu, and found that increasing soil water levels caused higher rates of growth and development, biomass production and photosynthetic efficiency of this cultivar.

As the soil dries, it becomes more difficult for plants to absorb water because the energy retention by the soil matrix (soil water tension) increases, thus decreasing its availability to plants. However, the greater the evaporative demand of the atmosphere, the higher the need for water flow in the Soil-Plant-Atmosphere system will be (Santos and Carlesso, 1998).

actual programa del gobierno en biocombustibles, el país podría, en los próximos años, recuperar el primer lugar que tuvo en la década de los años 80. La producción media de la higuera en las últimas tres temporadas fue de 61 000 t (IBGE, 2014).

Además del potencial alto de la higuera para la producción de aceite con una gama amplia de aplicaciones en las industrias química y farmacéutica, y la posibilidad de su uso como materia prima para la producción de biocombustibles (Savy Filho, 2005), también se pueden utilizar los productos derivados de esta planta. La higuera de prensado, por ejemplo, que se obtiene de la trituration de las semillas, se puede usar como fertilizante orgánico pues tiene propiedades nematocidas y fungicidas, posee todos los macro y micro nutrientes, y es rica en materia orgánica y nitrógeno (Silva *et al.*, 2007).

La superficie cultivada de higuera en el estado de Rio Grande do Sul, Brasil, ha aumentado impulsada por la política de biocombustibles de Brasil que promovió muchas industrias del aceite y los biocombustibles en el estado. Esto generó una gran demanda de información técnica y científica sobre este cultivo (Silva *et al.*, 2007), entre los cuales está el efecto del déficit hídrico sobre el desarrollo de la higuera.

Según Beltrão *et al.* (2003), a pesar de ser resistente a la sequía, la higuera es muy sensible a los cambios en la humedad del suelo en su fase inicial, lo que puede poner en riesgo su producción de asimilados. Mediante la evaluación de la respuesta de la higuera cv. BRS Energy a la aplicación de diferentes niveles de riego, Silva *et al.* (2009) observaron que a medida que la disponibilidad de agua aumentaba, la altura de la planta fue mayor, así como su área foliar y rendimiento. Lacerda *et al.* (2009) estudiaron la higuera cv. BRS 188 - Paraguassu, y encontraron que el aumento de los niveles de agua en el suelo causaron mayores índices de crecimiento y desarrollo de este cultivar, como también de producción de biomasa y eficiencia fotosintética del mismo.

A medida que el suelo se seca, es más difícil que las plantas absorban agua debido a que la retención de la energía por la matriz del suelo (tensión de agua del suelo) aumenta, lo cual disminuye su disponibilidad para las plantas. Sin embargo, cuanto mayor es la demanda evaporativa de la atmósfera, mayor es la necesidad de flujo de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera (Santos y Carlesso, 1998).

Knowledge of the castor bean water demand allows either to adapt the seeding to regions where rainfall is favorable to the crop or to use irrigation in order to meet the crop water needs when it is economically viable. The objective of this study was to evaluate the growth and development of the castor bean cv. Al Guarany 2002 submitted to three levels of soil water tension.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Clima Temperado, located in Pelotas, Rio Grande do Sul (32° 45' S and 52° 30' W), Brazil, from February to May 2010. The castor bean plants cv. Al Guarany 2002 were cultivated in pots of flexible polyethylene (30 dm³ volume), filling each pot with a substrate of 40 % soil, 40 % sand and 20 % cattle manure. Sowing was carried out in February 2010, soil fertilization (4.5 g NPK; 10-20-20) was applied in each plot, equivalent to 300 kg ha⁻¹, which was the recommendation based on the chemical analysis of the substrate and in accordance with the technical instructions described by (Silva *et al.*, 2007). To monitor the soil water tension in the substrate, a tensiometer with mechanic vacuum gauge was installed in each pot at 0.15 m deep. Tensiometer readings were performed every day early in the morning, during 75 d.

Solar radiation data was obtained from Embrapa weather station. Since it is a controlled environment, the values of solar radiation were reduced by 30 % due to losses caused by the covering material of the greenhouse. The value of 30 % was adopted in line with data reported by Farias *et al.* (1993), Camacho *et al.* (1995), and Beckmann *et al.* (2006).

The experimental design was completely randomized with three treatments (T) and four replicates: T1, soil water tension in the substrate maintained at 0.01 MPa; T2, when soil water tension in the substrate reached 0.03 MPa, water was added to restore it to 0.01 MPa; T3, when soil water tension in the substrate reached 0.06 MPa, water was added to restore it to 0.01 MPa.

The amount of water to be added in the substrate to restore the soil water tension to 0.01 MPa was calculated as proposed by Libardi (2005): $\Delta h = Z(\theta_f - \theta_i)$, where Δh is the amount of water to be added (mm), Z is the depth of the pot (mm), θ_f is the soil water content retained at the soil water tension of 0.01 MPa (m³ m⁻³), and θ_i is the soil water content at the moment of the tensiometer reading (m³ m⁻³). The θ values were obtained through the substrate water retention curve.

The evapotranspiration values were calculated every fortnight based on the water balance equation (Reichardt and Timm,

El conocimiento de la demanda de agua de la higuierilla permite adaptar la siembra a las regiones donde la lluvia es favorable para el cultivo o usar la irrigación para satisfacer las necesidades de agua del cultivo cuando es económicamente viable. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de la higuierilla cv. Al Guarany 2002 sometida a tres niveles de tensión de agua en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero en Embrapa Clima Temperado, ubicado en Pelotas, Rio Grande do Sul (32° 45' S y 52° 30' O), Brasil, de febrero a mayo de 2010. Las plantas de higuierilla cv. Al Guarany 2002 se cultivaron en macetas de polietileno flexible (30 dm³ de volumen), llenando cada maceta con un sustrato de 40 % de suelo, 40 % de arena y 20 % de estiércol de ganado. La siembra se efectuó en febrero de 2010; la fertilización del suelo (4.5 g NPK; 10-20-20) se aplicó en cada parcela, equivalente a 300 kg ha⁻¹, que fue la recomendación basada en el análisis químico del sustrato y de acuerdo con las instrucciones técnicas dadas por Silva *et al.*, 2007. Para controlar la tensión de agua en el suelo en el sustrato, se instaló un tensiómetro con manómetro mecánico de vacío en cada maceta a 0.15 m de profundidad. Las lecturas del tensiómetro se realizaron todos los días temprano en la mañana, durante 75 d.

Los datos de radiación solar se obtuvieron en la estación meteorológica Embrapa. Dado que es un ambiente controlado, los valores de radiación solar se redujeron en 30 % debido a las pérdidas causadas por el material de cubierta del invernadero. El valor de 30 % se adoptó en línea con los datos reportados por Farias *et al.* (1993), Camacho *et al.* (1995), y Beckmann *et al.* (2006).

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos (T) y cuatro repeticiones: T1, la tensión de agua en el suelo en el sustrato se mantuvo a 0.01 MPa; T2, cuando la tensión de agua en el suelo en el sustrato alcanzó 0.03 MPa, se añadió agua para restaurarlo a 0.01 MPa; T3, cuando la tensión de agua en el suelo en el sustrato alcanzó 0.06 MPa, se agregó agua para restaurarlo a 0.01 MPa.

La cantidad de agua a agregar en el sustrato para restaurar la tensión de agua en el suelo a 0.01 MPa, se calculó según lo propuesto por Libardi (2005): $\Delta h = Z(\theta_f - \theta_i)$, donde Δh es la cantidad de agua a ser agregada (mm), Z es la profundidad de la maceta (mm), θ_f es el contenido de agua en el suelo retenido en la tensión de agua en el suelo de 0.01 MPa (m³ m⁻³), y θ_i es el contenido de agua en el suelo en el momento de la lectura del tensiómetro (m³ m⁻³). Los valores de θ se obtuvieron a través de la curva de retención de agua del sustrato.

2012): $P+I-DP-ET=\Delta ARM$, where P is the precipitation (mm), I is the depth of irrigation (mm), DP is the depth of deep drainage (mm), ET is the actual evapotranspiration (mm), and ΔARM is the soil water storage changes (mm) in each period. Precipitation values were disregarded since the study was carried out in a greenhouse. Irrigation depth was quantified by using graduated cylinders and corresponded to the total amount of water added fortnightly; to measure deep drainage depth, after irrigating, the accumulated water collected in the trays installed under the pots was quantified by using a graduated cylinder. Due to the fact that the pots were covered with aluminum foil, soil water evaporation (E) was considered null and plant transpiration (T) calculated according to the water balance equation, as described above.

Measurements of leaf area (LA), plant height, and stem diameter were taken once every two weeks in a period from 30 to 105 d after plant emergence (DAE). To estimate LA a mathematical model was used (Severino *et al.*, 2005): $LA=0.2439(NP+NL)^{2.0598}$, where LA is the leaf area (m^2), NP is the length of the main rib (m), and NL is the average length of the side ribs (m). Plant height was measured from the substrate surface to the youngest leaf point of insertion, and also the stem diameter using a caliper ruler at 0.10 m above the substrate surface. The time of initial flowering and the height of insertion of the first cluster were also determined.

The growth curves for LA , plant height and stem diameter were adjusted based on the following logistic model: $y=a/1+(x/b)^c$, where y is the response variable; x is the number of days after plant emergence; and a , b and c are adjusted parameters of the logistic model, and a is the difference between the maximum and minimum point of the growth curve, b is the time consumed for reaching 50 % of the variable response, and c is the slope of the growth curve (Regazzi, 2003). The adjusted parameters of the logistic function for each replicate were analyzed using ANOVA and the Tukey test ($p \leq 0.05$) was used to compare treatment means. A correlation analysis between plant transpiration and radiation, LA and soil water tension was performed. Statistical analyses were carried out using SAS (SAS Institute, 1985).

RESULTS AND DISCUSSION

The LA growth curve was higher in T1, followed by T2 and T3 (Figure 1A), indicating that water availability in the substrate (T1 average tension was 0.01 MPa) affected the castor bean Al Guarany 2002 LA growth.

Besides, the LA growth curve in T1 stabilized after 75 DAE; however, with the increase in water average tension in the substrate to 0.03 MPa

Los valores de evapotranspiración se calcularon cada 15 d con base en la ecuación del balance hídrico (Reichardt y Timm, 2012): $P+I-DP-ET=\Delta ARM$, donde P es la precipitación (mm), I es la lámina de riego (mm), DP es el drenaje profundo (mm), ET es la evapotranspiración real (mm), y ΔARM son los cambios en el suelo para almacenar agua (mm) en cada período. Los valores de precipitación no se consideraron porque el estudio se realizó en un invernadero. La lámina de riego se cuantificó usando probetas graduadas y correspondió a la cantidad total de agua agregada quincenalmente; para medir la profundidad del drenaje profundo, después de regar, se cuantificó el agua acumulada en las bandejas instaladas debajo de las macetas usando un cilindro graduado. Debido a que las macetas estaban cubiertas con papel de aluminio, la evaporación de agua del suelo (E) se consideró nula y la transpiración de las plantas (T) se calculó según la ecuación de balance de agua, como ya se explicó.

Las mediciones del área foliar (LA), altura de la planta y diámetro del tallo se hicieron una vez cada dos semanas en un período de 30 a 105 d después de la emergencia de las plantas (DAE). Para estimar LA se utilizó un modelo matemático (Severino *et al.*, 2005.): $LA=0.2439(NP+NL)^{2.0598}$, donde LA es el área foliar (m^2), NP es la longitud de la nervadura principal (m), y NL es la longitud media de las nervaduras laterales (m). La altura de la planta se midió desde la superficie del sustrato hasta el punto más joven de inserción de la hoja, y también el diámetro del tallo, con una regla calibrador a 0.10 m por encima de la superficie del sustrato. También se determinaron el tiempo de la floración inicial y la altura de la inserción del primer racimo.

Las curvas de crecimiento para LA , altura de la planta y diámetro del tallo se ajustaron con base en el siguiente modelo logístico: $y=a/1+(x/b)^c$, donde y es la variable de respuesta; x es el número de días después de la emergencia de las plantas; y a , b y c son los parámetros ajustados del modelo logístico, y a es la diferencia entre el punto máximo y el mínimo de la curva de crecimiento, b es el tiempo consumido para alcanzar 50 % de la respuesta de la variable, y c es la pendiente de la curva de crecimiento (Regazzi, 2003). Los parámetros ajustados de la función logística para cada réplica se analizaron con ANDEVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) se usó para comparar las medias de los tratamientos. Un análisis de correlación se realizó entre la transpiración de las plantas y la radiación, LA y la tensión de agua en el suelo. Los análisis estadísticos se realizaron con SAS (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La curva de crecimiento de LA fue mayor en T1, seguido de T2 y T3 (Figura 1A), indicando que la disponibilidad de agua en el sustrato (tensión promedio

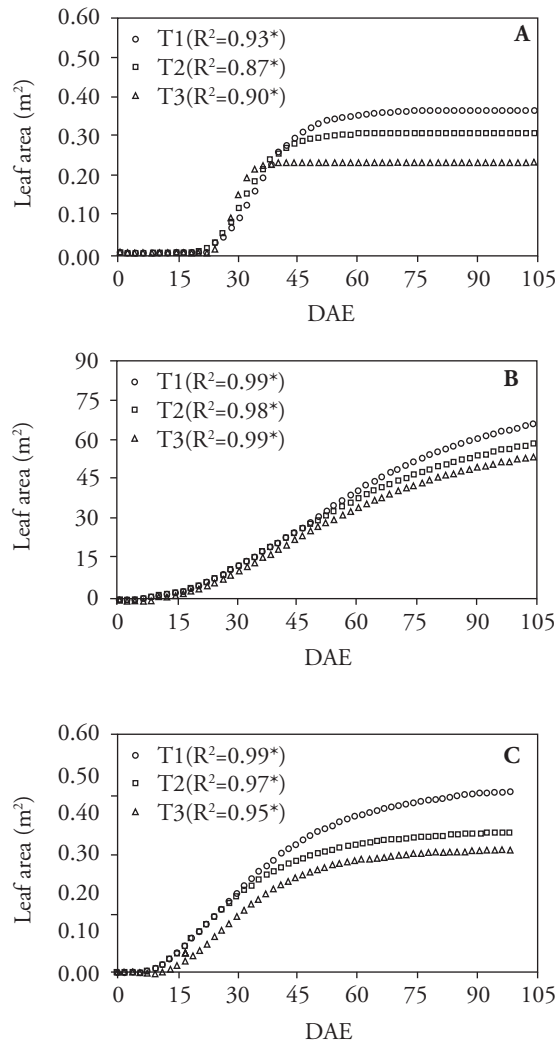


Figure 1. Growth curve of the leaf area (A), plant height (B), and stem diameter (C) of castor bean cv. Al Guarany 2002 as a function of soil water tension (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, and T3=0.06 MPa). * $p \leq 0.01$ of the regression.

Figura 1. Curva de crecimiento del área foliar (A), altura de la planta (B), y diámetro del tallo (C) de la higuierilla cv. Al Guarany 2002 como función de la tensión del agua en el suelo (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, y T3=0.06 MPa). * $p \leq 0.01$ de la regresión.

(T2) and 0.06 MPa (T3), the plants LA growth curve became stable after 30 DAE and 45 DAE, respectively (Figure 1A). The reduction in LA growth curve of plants in T2 and T3 might be the plants response in order to avoid water loss. In case of water deficit, most vegetables seek for alternatives to decrease evaporation, mainly reducing transpiration. Fageria (1989) reported a reduction in leaf area,

de T1 fue de 0.01 MPa) afectó el crecimiento de LA de la higuierilla Al Guarany 2002.

Además, la curva de crecimiento de LA en T1 se estabilizó después de 75 DAE; sin embargo, con el aumento de la tensión promedio de agua en el sustrato a 0.03 MPa (T2) y 0.06 MPa (T3), la curva de crecimiento de LA en las plantas se estabilizó después de 30 DAE y 45 DAE, respectivamente (Figura 1A). La reducción de la curva de crecimiento de LA en las plantas de T2 y T3 podría ser su respuesta para evitar la pérdida de agua. En el caso de déficit de agua, la mayoría de los vegetales busca alternativas para disminuir la evaporación, principalmente reduciendo la transpiración. Fageria (1989) reportó una reducción del área foliar que disminuyó la pérdida de agua por transpiración. Rodrigues *et al.* (2009) también observaron que en la higuierilla LA era la variable de crecimiento más afectada en cuanto a la reducción del contenido de agua del suelo.

En todos los tratamientos la curva de crecimiento en altura de las plantas de la higuierilla aumentó hasta alcanzar 105 DAE. Sin embargo, a partir de 40 DAE de tensión del agua en el sustrato, la altura de la planta disminuyó (Figura 1B). La tensión del agua en el sustrato también influyó en la curva de crecimiento del diámetro del tallo de la higuierilla (SD) (Figura 1C). En T1, con más disponibilidad de agua en el sustrato, la curva de crecimiento de SD aumentó hasta 105 DAE, mientras que en T2 y T3 la curva de crecimiento de SD se volvió estable a partir de 75 DAE, ya que la tensión promedio del agua aumentó en el sustrato.

Los valores de los parámetros de ajuste (a, b y c) de los modelos logísticos para las curvas de crecimiento de LA, altura de la planta y el diámetro del tallo en cada tratamiento se presentan en el Cuadro 1. El parámetro de la curva de crecimiento LA b, que es 50 % del tiempo que la planta necesita para alcanzar el valor máximo de LA, estuvo influenciado por el aumento de la tensión de agua en el sustrato ($p \leq 0.05$). El parámetro a, que es el valor máximo de LA en la curva de crecimiento de la planta de higuierilla, fue significativamente mayor en T1 seguido por T2 y T3, destacándose por lo tanto la reducción del valor máximo de LA de la higuierilla por el aumento en la tensión del agua en el sustrato. Silva *et al.* (2009) observaron una reducción en los valores máximos (un parámetro en este estudio) de la curva de crecimiento de LA de la higuierilla cv. BRS Energy, debido a la disminución

thereby decreasing water loss through transpiration. Rodrigues *et al.* (2009) also observed that in castor beans the LA was the most affected growth variable regarding the reduction of soil water content.

In all treatments the castor bean plant height growth curve increased up to 105 DAE. However, from 40 DAE as the substrate water tension, the plant height decreased (Figure 1B). The water tension in the substrate also influenced the castor bean plant stem diameter (SD) growth curve (Figure 1C). In T1, with more water availability in the substrate, SD growth curve increased up to 105 DAE, whereas in T2 and T3 SD growth curve became stable from 75 DAE as water average tension increased in the substrate.

Adjustment parameter values (a, b and c) of logistic models for LA growth curves, plant height and stem diameter in each treatment, are presented in Table 1. LA growth curve b parameter, which is 50 % of the time the plant takes to reach the maximum LA value, was influenced by the increase in water tension in the substrate ($p \leq 0.05$). The a parameter, which is the LA maximum value in the castor bean plant growth curve, was significantly higher in T1 followed by T2 and T3, highlighting, therefore, reduction in the castor bean LA maximum value as a function of the increase in substrate water tension. Silva *et al.* (2009) observed reduction in the maximum peak values (a parameter in this study) of the LA growth curve of the castor bean cv. BRS Energy, as a function of the decrease of the total depth irrigation. The castor bean plant LA growth rate is expressed by the c parameter, in which the higher the c value the faster the plant reaches the maximum LA, and the higher c value was observed in T3.

Based on the tree parameters of logistic function, it was observed that as the soil water tension increased, the LA development was decreases. This may be due to the fact that cell growth is the most sensitive process to low water availability in the soil (Kräme and Boyer, 1995); both cell division and expansion are directly inhibited by water stress (Zhu, 2002). In a study with castor bean plants under water stress, Heckenberger *et al.* (1998) observed that cell division and expansion were affected, causing maturation of the leaves into smaller sizes.

Parameters b and c of the castor bean plant height growth curve were not influenced by the increase in water tension in the substrate, whereas, parameter a was affected (Table 1).

Table 1. Mean values of the parameters of the logistic function fitted to the growth curves of leaf area, plant height and stem diameter of castor bean cv. Al Guarany 2002, for three soil water tension (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, and T3=0.06 MPa).

Cuadro 1. Valores medios de los parámetros de la función logística ajustados a las curvas de crecimiento del área foliar, altura de la planta y diámetro del tallo de la higuierilla cv. Al Guarany 2002, para tres tensiones del agua en el suelo (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, y T3=0.06 MPa).

Treatments	Parameters		
	a	b	c
		Leaf area	
T1	0.37 a	35.37 a	-6.55 b
T2	0.31 b	32.16 ab	-7.45 b
T3	0.23 c	28.74 b	-15.31 a
		Plant height	
T1	80.30 a	59.3 a	-2.2 a
T2	72.60 ab	57.5 a	-2.4 a
T3	65.35 b	56.7 a	-2.8 a
		Stem diameter	
T1	3.30 a	36.50 a	-2.5 b
T2	2.50 b	30.50 b	-2.6 b
T3	2.10 b	33.70 b	-3.3 a

Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$) ♦ Las medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

de la lámina total de riego. La tasa de crecimiento de LA de la higuierilla se expresa con el parámetro c, donde en la medida en que éste sea más alto, más rápido alcanzará la planta el nivel máximo de LA; y un mayor valor de c se observó en T3.

Sobre la base de los parámetros de la función logística, se observó que a medida que la tensión de agua en el suelo aumentó, el desarrollo de LA disminuyó. Esto se puede deber a que el crecimiento celular es el proceso más sensible a una baja disponibilidad de agua en el suelo (Kräme y Boyer, 1995); tanto la división celular como la expansión se inhiben directamente por el estrés hídrico (Zhu, 2002). En un estudio con plantas de higuierilla bajo estrés hídrico, Heckenberger *et al.* (1998) observaron que la división celular y la expansión se vieron afectadas, causando que las hojas en su maduración alcanzaran tamaños más pequeños.

Los parámetros b y c de la curva de crecimiento en altura de la higuierilla no fueron afectados por el

Parameters a and b of stem diameter growth curve were not statistically different between T2 and T3, but they were significantly lower than those in T1 (Table 1). Parameter c values were not different between T1 and T2, indicating that increasing substrate water tension from 0.01 MPa to 0.03 MPa did not affect the castor bean cv. Al Guarany 2002 stem diameter growth curve slope. These results agree with those reported by Xavier *et al.* (2009), who observed higher castor bean BRS Nordestina stem diameter growth with 80 and 100 % available water levels, as compared to 70 % available water level.

Castor bean plant transpiration rate, as a function of time, was reduced significantly in the three treatments (Figure 2). The effect of time on the castor bean plant transpiration may be due its strong relation with solar radiation. During the experiment from March to May 2010, days become shorter and there was a reduction in the radiation rates, decreasing the availability of daily energy, and, consequently, the plant transpiration rate. Besides, in T1, plants presented larger LA leaf area and higher water availability, causing the highest transpiration rate values (Figure 2).

The correlation between plant transpiration and radiation, and the LA and soil water tension, shows that the solar radiation is the variable with the highest correlation with transpiration ($r=0.746$, $p\leq 0.001$), followed by the soil water tension ($r=-0.512$,

aumento de la tensión de agua en el sustrato, mientras que el parámetro a sí fue afectado (Cuadro 1).

Los parámetros a y b de la curva de crecimiento del diámetro del tallo no fueron estadísticamente diferentes entre T2 y T3, pero fueron significativamente más bajos que en T1 (Cuadro 1). Los valores del parámetro c no fueron diferentes entre T1 y T2, lo cual indica que el aumento de la tensión de agua del sustrato de 0.01 MPa a 0.03 MPa no afectó la pendiente de la curva de crecimiento del diámetro del tallo de la higerilla cv. Al Guarany 2002. Estos resultados coinciden con los reportados por Xavier *et al.* (2009), quienes observaron un mayor crecimiento del diámetro del tallo de la higerilla BRS Nordestina con 80 y 100 % de los niveles de agua disponibles, en comparación con 70 % del nivel de agua disponible.

El índice de transpiración de la planta de higerilla en relación al tiempo se redujo significativamente en los tres tratamientos (Figura 2). El efecto del tiempo sobre la transpiración de las plantas de higerilla puede deberse a su fuerte relación con la radiación solar. Durante el experimento, de marzo a mayo de 2010, los días fueron más cortos y se redujeron los índices de radiación, disminuyendo la disponibilidad de energía diaria y, por tanto, el índice de transpiración de las plantas. Además, en el T1, las plantas presentaron una mayor área foliar y mayor disponibilidad de agua, por lo cual la tasa de transpiración fue más alta (Figura 2).

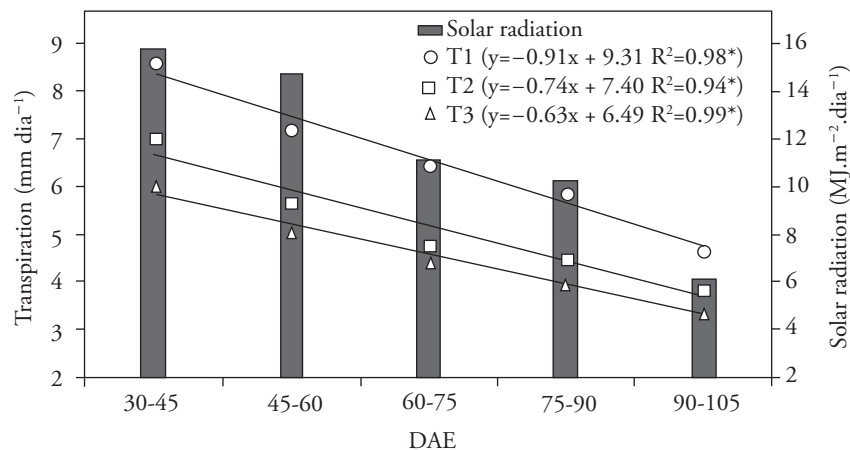


Figure 2. Bi-weekly values of mean solar radiation and transpiration rate of castor bean cv. Al Guarany 2002 as a function of days after emergence (DAE) for tres soil water tension (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, and T3=0.06 MPa). * $p\leq 0.01$ of the regression.

Figura 2. Valores quincenales de la radiación solar media y el índice de transpiración de la higerilla cv. Al Guarany 2002 en función de días después de la emergencia (DAE) para tres tensiones de agua en el suelo (T1= 0.01 MPa, T2= 0.03 MPa, y T3= 0.06 MPa). * $p\leq 0.01$ de la regresión.

$p \leq 0.001$) and leaf area ($r=0.485$, $p \leq 0.001$). Thus, the castor bean plant transpiration rate increases when soil water tension is reduced, and also when LA and incidence of solar radiation are increased, being, therefore, a result of the interaction soil-plant-atmosphere system.

The time for flowering onset and the primary raceme insertion height were significantly influenced by the soil water tension (Table 2). The castor beans plant in T1 presented higher primary raceme insertion height (66.75 cm) and flowered later (75.25 d). The opposite was seen in plants of T3, which presented lower primary raceme insertion height (31.75 cm) and earlier flowering onset (51 d). Aires *et al.* (2011) found a positive and significant correlation between precipitation and length of the castor bean cv. BRS Energy vegetative period, indicating that the greater the water availability, the longest this cycle period will be. According to Zuchi *et al.* (2010), in the season with more water availability, the height of insertion of the primary raceme was 20 cm higher compared to castor bean plants growing in drier seasons.

In our study there was a close relation between decrease in castor beans vegetative growth and flowering time, once the lowest values of LA, plant height and stem diameter were found in treatment T3, where plants flowered earlier (Figure 1, Tables 1 and 2). Larcher (2000) pointed out that interruption in the vegetative growth as a function of production acceleration occur due to the energy canalization and

La correlación entre la transpiración de las plantas y la radiación, y LA y la tensión de agua en el suelo, muestra que la radiación solar es la variable con la correlación más alta con la transpiración ($r=0.746$, $p \leq 0.001$), seguida por la tensión de agua en el suelo ($r=-0.512$, $p \leq 0.001$) y el área foliar ($r=0.485$, $p \leq 0.001$). Por lo tanto, el índice de transpiración de las plantas de higuierilla aumenta cuando la tensión de agua en el suelo se reduce, y también cuando LA y la incidencia de la radiación solar se incrementan, siendo, por lo tanto, una consecuencia de la interacción del sistema suelo-planta-atmósfera.

El tiempo de inicio de la floración y la altura de la inserción del primer racimo fueron afectados significativamente por la tensión de agua en el suelo (Cuadro 2). La planta de la higuierilla en T1 presentó una mayor altura en la inserción del primer racimo (66.75 cm) y floreció más tarde (75.25 d). Lo contrario se observó en las plantas de T3, que presentaron menor altura en la inserción del primer racimo (31.75 cm) y una floración más temprana (51 d). Aires *et al.* (2011) encontraron una correlación positiva y significativa entre la precipitación y la duración del período vegetativo de la higuierilla cv. BRS Energy, lo que indica que mientras mayor es la disponibilidad de agua, más largo será este ciclo. Según Zuchi *et al.* (2010), en la estación con más disponibilidad de agua, la inserción del primer racimo fue 20 cm más alta en comparación con las plantas de higuierilla que crecen en las estaciones más secas.

En el presente estudio hubo una estrecha relación entre la disminución del crecimiento vegetativo de la higuierilla y el tiempo de floración, después que se encontraron los valores más bajos de LA, altura de la planta y diámetro del tallo en T3, donde las plantas florecieron antes (Figura 1, Cuadros 1 y 2). Larcher (2000) señala que la interrupción en el crecimiento vegetativo como una función de la aceleración de la producción ocurre debido a la canalización de la energía y materiales destinados a la floración y producción de frutos, que a su vez se originan en el proceso de fotosíntesis, la incorporación de sustancias minerales y la movilización de reservas para la producción de frutos.

CONCLUSIONES

El crecimiento inicial y desarrollo de la higuierilla cv. Al Guarany 2002 se redujeron por la escasez de

Table 2. Time to onset of flowering (TF) and height of insertion of primary raceme (HIR) for castor bean cv. Al 2002 Guarany for three soil water tension (T1=0.01 MPa, T2=0.03 MPa, and T3=0.06 MPa).

Cuadro 2. Tiempo de inicio de la floración (TF) y altura de la inserción del primer racimo (HIR) de la higuierilla cv. Al Guarany 2002 para tres niveles de tensión del agua en el suelo (T1= 0.01 MPa, T2= 0.03 MPa, y T3= 0.06 MPa).

Treatment	TF (d)	HIR (cm)
T1	75.25 a	66.75 a
T2	66.25 b	53.00 b
T3	51.00 c	31.75 c

Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$) ♦ Las medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

materials destined to flowering and fruit production, which in turn are originated in the photosynthetic process, incorporation of mineral substances and mobilization of reserves to produce fruits.

CONCLUSIONS

Initial growth and development of castor beans cv. Al Guarany 2002 were reduced by the water stress caused by the increase in soil water tension.

The increase in soil water tension reduces the vegetative period of castor beans cv. Al Guarany 2002, indicated by the lower time necessary to its reproductive phase onset and lower primary raceme insertion height.

Castor bean is a species sensitive to drought whose values, vegetative growth behavior, and flowering are altered by lack of water. Maintaining soil moisture at the initial stage of its growth is essential, as restrictions at this stage will possibly impact the plant development.

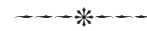
ACKNOWLEDGMENTS

To CNPq for the scholarship, to Embrapa Clima Temperado for the experimental infrastructure needed for this work and to FAPERGS for the financial support.

LITERATURE CITED

- Aires, R. F., D. A. Silva S., D. Eicholz E. 2011. Análise de crescimento de mamona semeada em diferentes épocas. *Ciência Rural* 41:1347-1353.
- Beckmann, M. Z., G. R. Duarte B., V. De Paula A., M. E. Mendez G., R. M. Peil N. 2006. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural* 36:86-92.
- Beltrão, N. E. M., G. Souza J., W. Santos J., F. Jerônimo J., X. Costa F., M. A. Lucena A., C., Queiroz, U. 2003. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. *Rev. Bras. Ol. Fibras* 7: 659-664.
- Camacho, M. J., F. Assis N., S. Martins R., M. E. Mendez G. 1995. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Rev. Bras. Agromet.* 3: 19-24.
- Fageria, N. K. 1989. Solos Tropicais e Aspectos Fisiológicos das Culturas. Embrapa/DPU. Brasília. 425 p.
- Farias, J. R., B. Bergamaschi H., S. Martins, R., M. Berlato A. 1993. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Rev. Bras. Agromet.* 1:31-36.
- Heckenberger, U., U. Roggatz, and U. Schurr. 1998. Effect of drought stress on the cytological status in *Ricinus communis*. *J. Exp. Bot.* 49:181-189.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014 <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa.htm>> (Acesso: mai 2014).
- Kramer, P. J., and J. Boyer S. 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, San Diego. 495 p.
- Lacerda, R. D., H. O. Guerra C., B. Júnior. G. 2009. Influência do déficit hídrico e da matéria orgânica do solo no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS 188-Paraguáçu. *Rev. Bras. Ciencia Agrar.* 4: 440-447.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. Rima. São Carlos. 531 p.
- Libardi, P. L. 2005. *Dinâmica da Água no Solo*. Edusp. Piracicaba. 497 p.
- Regazzi, A. J. 2003. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. *Ceres* 50: 9-26.
- Reichardt, K., C. Timm L. 2012. *Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações*. 2. ed. Manole, Barueri. 500 p.
- Rodrigues, L. N., R. Nery A., D. Fernandes P., E. M. Beltrão N., R. Gheyi H. 2009. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 13: 825-835.
- Santos, R. F., R. Carlesso. 1998. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 2: 287-294.
- SAS-Statistical Analysis System. 1985. User's Guide. 5th ed. Cary, N. C.: SAS Institute Inc.
- Savy Filho, A. 2005. *Mamona Tecnologia Agrícola*. EMOPI. Campinas. 105 p.
- Severino, L. S., D. Cardoso G., S. Vale L., W. Santos J. 2005. Método para determinação da área foliar da mamoneira. Embrapa Algodão. Campina Grande. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

—Fin de la versión en Español—



- Silva, S. D. A., G. Casagrande Jr. J., B. Scivittaro W. 2007. A cultura da mamona no Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado. Pelotas. 115 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 11).
- Silva, S. M. S., R. Gheyi H., E. M. Beltrão N., W. Santos J., A. L. Soares F. 2009. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. Rev. Bras. Cienc. Agrar. 4: 338-348.
- Xavier, J. F., A. V. Azevedo C., E. M. Beltrão N., R. S. Andrade A., L. A. Lima V. 2009. Crescimento da mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e níveis de água no solo. Rev. Amb. Água 4: 196-210.
- Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Ann. Rev. Plant Bio. 53: 247-273.
- Zuchi, J., A. P. Bevilaqua G., C. Zanuncio J., T. Peske S., D. A. Silva S., S. Sedyama C. 2010. Características agronômicas de cultivares de mamona em função do local de cultivo e da época de semeadura no Rio Grande do Sul. Ciência Rural 40: 501-506.