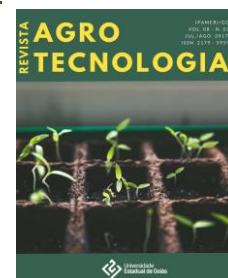


ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE *Eucalyptus urocam* SOB DÉFICIT HÍDRICO E DOSES DE SILÍCIO

ANALYSIS OF GROWTH OF PLANTS OF *Eucalyptus urocam* UNDER WATER DEFICIT AND SILICON DOSES

Ivan Carneiro Custódio¹, Ricardo Felício¹, Alainy Carla Souza Nascente¹, Priscilla Gomes de Freitas Santos², Patrícia Souza da Silveira³, Fábio Santos Matos⁴



Resumo: O objetivo com o presente estudo foi identificar o efeito da adubação silicatada no crescimento de plantas de *Eucalyptus urocam* sob déficit hídrico. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação coberta com plástico transparente e laterais de sombrite com 50% de interceptação da radiação solar sobre bancada no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás. As mudas foram transplantadas em vasos de doze litros contendo uma mistura de solo, areia e esterco na proporção de 3:1:0,5, respectivamente. Seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (50 e 100% de água equivalente a evapotranspiração diária e aplicação de Silício foliar na concentração de 0 e 1 g L⁻¹) seis repetições. As doses de Si utilizadas não apresentaram interação com o déficit hídrico. Os *Eucalyptus urocam* não são acumuladoras de Si e a adubação silicatada não interferiu no crescimento vegetativo e relações hídricas desta espécie de Eucalipto. As plantas de *Eucalyptus urocam* apresentam como estratégia de tolerância a seca a maximização da absorção e minimização da perda de água pela maior alocação de biomassa para o sistema radicular e redução da transpiração e, soma-se a isto as alterações nas concentrações foliares de pigmentos fotossintéticos como mecanismo de fotoproteção.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrição mineral, seca, silvicultura.

Abstract: The present study had as objective to identify the effect of silicate fertilization on the growth of *Eucalyptus urocam* plants under water deficit. The work was conducted in a greenhouse covered with clear plastic and sombrite sides with 50% interception of the solar radiation on bench in the experimental field of the State University of Goiás. The seedlings were transplanted in twelve-liter pots containing a mixture Of soil, sand and manure in the ratio of 3: 1: 0,5 , respectively. The design was completely randomized, in a 2x2 factorial scheme (50 and 100% water equivalent to daily evapotranspiration and foliar silicon application at 0 and 1 g L⁻¹ concentration), six replicates. The doses of Si used did not show interaction with the water deficit. The *Eucalyptus urocam* are not Si accumulators and silicate fertilization did not interfere in the vegetative growth and water relations of this species of Eucalyptus. The *Eucalyptus urocam* plants present as a drought tolerance strategy the maximization of the absorption and minimization of water loss due to the greater allocation of biomass to the root system and reduction of transpiration and, in addition, changes in the foliar concentrations of photosynthetic pigments As a photoprotection mechanism.

KEY WORDS: Mineral nutrition, drought, forestry.

¹Acadêmicos do curso de Bacharel em Agronomia da Universidade Estadual de Goiás.

²Engenheira agrônoma, MSc. Produção vegetal.

³Engenheira agrônoma, Pós-Doutorado em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás.

⁴Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Universidade Estadual de Goiás, UEG/Ipameri-GO.

Recebido: 12/02/2017 - Aprovado: 11/09/2017

INTRODUÇÃO

Os impactos causados pelos combustíveis fósseis têm chamado a atenção de pesquisadores por novas fontes alternativas e limpas para minimizar a emissão de poluentes. O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de madeira e o quarto na produção de celulose para papel e, assim, o eucalipto torna-se a principal espécie florestal da silvicultura nacional, contribuindo na produção de lenha com 84,8% e com 68,8% para a produção de madeira (SILVA et al., 2014).

O eucalipto possui grande importância na atividade econômica do país e, por isso, tem aumentado a produção consideravelmente nos últimos anos. O setor de florestas plantadas significativa importância na economia brasileira com 7,6 milhões de hectares de florestas plantadas e participação de 24% no BIP agropecuário, o que representa 1,2% de toda riqueza produzida pelo país (AMAZÔNIA, 2016). O uso de áreas tidas como impróprias pode aumentar ainda mais a produtividade de florestas plantadas, aumentando a economia industrial, com o desenvolvimento de culturas com maior resistência a estresses abióticos (LOPES et al., 2015).

O eucalipto pertence à família Myrtaceae, originária da Austrália (PRYOR et al., 1995) e cultivada em diversos países do mundo. Em território brasileiro a produtividade é superior à países tradicionais de origem das espécies (Austrália), isto faz com que o Brasil seja considerado uma das grandes potências na indústria florestal mundial. Por ser cultivada em áreas propícias a deficiências hídricas (OTTO et al., 2013), as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e nos seus processos fisiológicos e morfológicos (CHAVES et al., 2004) influenciando a capacidade de tolerar as condições de déficit hídrico.

A água é o recurso essencial mais abundante e limitante para a produção agrícola. A restrição hídrica é um dos tipos de estresse abióticos mais críticos e o que mais restringe o crescimento do eucalipto. Os efeitos da restrição

hídrica podem variar conforme a severidade e duração do estresse (DIAZ-LÓPEZ et al., 2012; FAROOQ et al., 2009). As mudanças climáticas intensificaram os períodos de seca em diversas regiões do planeta e, por isso, para melhor produção de plantas submetidas ao déficit hídrico, o desenvolvimento de novas práticas de manejo torna-se necessário (MATOS et al., 2014).

No Brasil, os plantios de eucalipto estão sendo realizados com grande frequência em áreas sujeitas a restrição hídrica, aumentando a necessidade de estratégias para melhorar a tolerância a seca com minimização dos efeitos promovidos pelo déficit hídrico (ABRAF, 2011). A aplicação de silício tem sido estudado como alternativa para diminuir os efeitos causados pela baixa disponibilidade hídrica (SHI et al., 2014; KARMOLLACHAAB et al., 2013).

O silício (Si) é o segundo elemento em maior abundância na crosta terrestre. Apesar de não ser um componente essencial, a utilização tem contribuído para minimizar os efeitos deletérios ocasionados pela restrição hídrica em diversos trabalhos (MA; YAMAJI, 2008; BERNI; PRABHU, 2003), pois promove o enrijecimento da parede celular das folhas e reduz a perda de água por transpiração (SHI et al., 2014). Em adição, o Si aumenta a resistência a pragas e doenças e confere tolerância ao estresse hídrico e salino (DEMATTÊ et al., 2011). A ausência de elucidação a respeito do papel do Si na tolerância a seca em plantas de eucalipto fomenta a realização de trabalhos científicos no sentido de gerar informações pertinentes e confiáveis. A aplicação de silício em mudas de eucaliptos pode representar importante e promissora prática de manejo para a planta de Eucalipto. Objetivou-se com o presente estudo, identificar o efeito da adubação silicatada no crescimento inicial de plantas de *Eucalyptus urocam* sob déficit hídrico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material vegetal

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação coberta com plástico transparente e

laterais de sombrite com 50% de interceptação da radiação solar sobre bancada no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri (Lat. 17° 43' 19" S, Long. 48° 09' 35" W, Alt. 773 m), Ipameri, Goiás. Esta região possui clima tropical com inverno seco e verão úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen. As mudas de *Eucalyptus urocam* foram transplantadas em vasos de doze litros contendo uma mistura de solo, areia e esterco na proporção de 3:1:0,5, respectivamente.

O experimento foi montado seguindo o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (50 e 100% de água equivalente a evapotranspiração diária e aplicação de Silício foliar na concentração de 0 e 1g L⁻¹) seis repetições e parcela de uma planta útil. O Si foi pulverizado nas folhas em volume de 30 mL/planta em três aplicações com intervalos de 10 dias iniciadas juntamente com o tratamento hídrico quando as plantas possuíam 130 dias de idade. Como o coeficiente da cultura (kc) para *Eucalyptus urocam* ainda não foi determinado nas condições de Ipameri, Goiás, utilizamos o kc igual a 1,00 seguindo estimativa da FAO 56 (ALLEN et al., 1998) para um grupo de culturas em estágio de crescimento inicial.

O volume de água fornecido foi estimado determinando a evapotranspiração de referência e o coeficiente da cultura. Para determinar a evapotranspiração da cultura, utilizou-se a equação:

$$ET_c = ETo \times kc$$

em que, ET_c = evapotranspiração da cultura;

kc = coeficiente da cultura e

ETo = Evapotranspiração de referência

O cálculo da ETo diária foi feito pelo método de Penman-Monteith recomendado pela FAO (SMITH et al., 1991) utilizando os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento obtidos na Estação Meteorológica do INMET localizado no município de Ipameri, GO a 1200 m do campo experimental.

Aos 50 dias após implantação dos tratamentos as seguintes variáveis foram analisadas: Altura de planta, diâmetro do caule, nº de folhas, comprimento da raiz principal, biomassa e razões de massa radicular, caulinar e foliar, extravasamento de membrana, percentual de Si na folha e raiz, teor relativo de água, transpiração, concentrações foliares de clorofilas e carotenoides totais.

Variáveis de Crescimento

O número de folhas, altura de planta, comprimento de raiz e diâmetro do caule foram mensurados utilizando régua graduada e paquímetro. As análises destrutivas foram realizadas em seguida, quando folhas, raízes e caules foram destacados e colocados para secar em estufa a 72 °C até atingir massa seca constante e em seguida pesados separadamente. Com os dados de massa seca foram calculados a razão de massa da folha (RMF), razão de massa da raiz (RMR), razão de massa do caule (RMC) e biomassa total.

Variáveis Fisiológicas

A transpiração diária total da planta foi mensurada pela diferença de peso dos vasos. Inicialmente cada vaso foi inserido dentro de um saco plástico fixado com borracha no caule da planta, ficando apenas a parte aérea (folhas e caule) externa ao saco, em seguida, o conjunto vaso com planta e saco plástico foram pesados às 18:00 h (massa 01) e 24 horas depois novamente pesados (massa 02). A transpiração total foi estimada pela diferença entre a massa 01 e massa 02. Para obtenção do teor relativo de água, foram retirados vinte discos foliares de 12 mm de diâmetro cada, os quais foram pesados e colocados por 6 h para saturar em placas de petri com água destilada. Em seguida, os discos foram novamente pesados e colocados para secar à temperatura de 70 °C por 72 h, sendo posteriormente obtido o peso de matéria seca.

Para a determinação da concentração de clorofilas e carotenoides totais foram retirados três discos foliares (14 mm de diâmetro) de área conhecida, colocados em almofariz com uma

pitada de CaCO_3 e outra de areia com cerca de 5 mL de acetona 80% sendo conduzido e macerado sob luz verde. O extrato foi filtrado diretamente em um balão de 25 mL encapado com papel alumínio completando-se o volume com solução de acetona. Foram retiradas as alíquotas para leitura espectrofotométrica a 470, 646,8 e 663,2 nm. O conteúdo de clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b) e carotenoides foram determinados seguindo recomendações de Lichthenthaler, (1987).

A avaliação da permeabilidade de membrana do tecido foliar foi realizada segundo adaptação da metodologia descrita por Vasquez-tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002). Foram coletados de cada repetição 15 discos foliares das folhas totalmente expandidas, sendo colocados em frascos de vidro âmbar com 30 mL de água ultrapura Milli-Q, onde permaneceram imersos por 24 horas e mantidos no escuro, em temperatura ambiente. Após este período foi mensurado a condutividade livre (CL, $\mu\text{S}/\text{cm}$), utilizando um condutivímetro portátil CD-880. Posteriormente, os mesmos frascos foram colocados em estufa por uma hora sob temperatura de 100 °C e medida a condutividade total (CT, $\mu\text{S}/\text{cm}$). Com os resultados obtidos, foi calculada a taxa de liberação de eletrólitos, dada em porcentagem.

Procedimentos estatísticos

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas empregando-se o teste de Newman Keuls, ao nível 5% de probabilidade. Os efeitos dos tratamentos nas mudas de Eucaliptos sobre biomassa total foram mensurados utilizando a análise de regressão múltipla para avaliar a biomassa utilizando a seleção de modelo *forward stepwise* (SOKAL e ROLF, 1969). A análise de componentes principais foi realizada utilizando-se todas as variáveis analisadas adotando-se o critério de Broken stick para seleção dos eixos. Utilizou-se uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA - Anderson, 2001) para avaliar a diferença entre os grupos formados. Todas as análises estatísticas

foram realizadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A razão de área foliar, extravasamento de membrana, percentuais de Si na folha e raiz não apresentaram resultados significativos para os tratamentos de déficit hídrico, doses de Si e a interação foi não significativa (dados não mostrados). O resumo da análise de variância e teste de média para suprimento hídrico e doses de Si das variáveis: altura de planta, diâmetro do caule, nº de folhas, comprimento da raiz, concentrações foliares de clorofilas e carotenoides totais são mostrados na Tabela 1. Não houve interação significativa entre doses de Si e déficit hídrico para as variáveis analisadas. Nenhuma das variáveis analisadas apresentaram significância para a dose de Si, no entanto, o suprimento hídrico interferiu decisivamente nas variáveis analisadas. As plantas sob déficit hídrico apresentaram reduções de 16% da altura, 22% do diâmetro do caule, 26% do nº de folhas e 31% da concentração de clorofilas totais em relação às plantas irrigadas diariamente. O comprimento da raiz e concentração foliar de carotenoides totais foram menor 20% nas plantas irrigadas com 100% da evapotranspiração em relação às plantas sob déficit hídrico.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para altura de planta (Alt), diâmetro do caule (Diam), número de folhas, comprimento de raiz (CR), concentração foliar de clorofilas totais (Cl a+b) e carotenoides totais (Car) de plantas de *Eucalyptus urocam* submetidas a diferentes suprimentos hídricos (SH) e adubação silicatada (Si). Ipameri, 20 de dezembro de 2016.

Quadrados Médios							
Fonte de Variação	GL	Alt. (cm)	Diam. (cm)	Nº Folhas	CR (cm)	Cl a+b (mg g ⁻¹)	Car (mg g ⁻¹)
SH	1	1555,2**	75,1**	26934**	6016,6**	3,8**	0,07**
Si	1	3,5 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2281 ^{ns}	450,6 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,02 ^{ns}
SH x Si	1	185,9 ^{ns}	3,3 ^{ns}	4108 ^{ns}	620,2 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Erro	20	25,8	32,7	2217	467,4	0,38	0,007
CV (%)		5,3	8,9	21,3	15,1	25,2	15,8
Tratamentos		Médias					
50% SH		86,3b	12,4b	187,8b	158,8a	2,0b	0,59 ^a
100% SH		102,4a	15,9 ^a	254,8 ^a	127,1b	2,9 ^a	0,47b

** significativo ao nível de 1% de probabilidade. ^{ns} não significativo (p >= 0,05). Médias seguidas por uma mesma letra minúscula dentro da coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

A elucidação do papel do Si na tolerância a estresses abióticos em plantas de eucalipto pode viabilizar nova prática de manejo e incrementar a produtividade do setor florestal em áreas marginais, no entanto, o presente estudo demonstra que as plantas de *Eucalyptus urocam* não são acumuladoras de Si e, por isso, as doses de Si utilizadas não apresentaram interação com o déficit hídrico. Estes resultados corroboram com os encontrados por Carvalho et al. (2003) e Queiroz et al. (2016) que pesquisando o efeito de doses de Si em plantas de eucalipto verificaram a existência de um mecanismo de exclusão de Si pelo eucalipto não podendo atribuir um papel metabólico capaz de influir no desenvolvimento normal da planta.

Independentemente das doses de silício utilizadas, o suprimento hídrico exerceu influência significativa no crescimento vegetativo de plantas de eucalipto. Os menores valores de altura de planta, diâmetro do caule, nº de folhas, biomassa e razão de massa caulinar em plantas sob déficit hídrico se deve a necessidade indispensável de hidratação dos tecidos para o crescimento vegetal. A expansão celular é considerada o processo fisiológico mais

sensível à deficiência hídrica; cerca de 2/3 do crescimento vegetal é dependente da expansão celular causada pelo relaxamento das paredes celulares devido à pressão do protoplasto de células túrgidas (TAIZ; ZEIGER, 2013). O reduzido crescimento vegetativo de plantas de eucalipto sob déficit hídrico também tem sido relatado por Fernandes et al. (2015).

O resumo da análise de variância e teste de média para suprimento hídrico e doses de Si das variáveis: teor relativo de água, transpiração, percentual de Si nas folhas, biomassa e razões de massa radicular e caulinar são mostrados na Tabela 2. Não houve interação significativa entre doses de Si e déficit hídrico para as variáveis analisadas. Nenhuma das variáveis analisadas apresentaram significância para a dose de Si, no entanto, o suprimento hídrico interferiu decisivamente nas variáveis analisadas. As plantas sob déficit hídrico apresentaram reduções de 7% do teor relativo de água, 50% da transpiração, 36% da biomassa e 10% da razão de massa caulinar em relação às plantas irrigadas diariamente. O percentual de Si na folha não apresentou diferença significativa em função do suprimento hídrico e adubação silicatada. A

razão de massa radicular foi menor 11% nas plantas irrigadas com 100% da evapotranspiração em relação às plantas sob déficit hídrico.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para teor relativo de água (TRA), transpiração total (E), concentração foliar de silício (Si), biomassa total, razões de massa radicular (RMR) e caulinar (RMC) de plantas de *Eucalyptus urocam* submetidas a diferentes suprimentos hídricos (SH) e adubação silicatada (Si). Ipameri, 20 de dezembro de 2016.

Quadrados Médios							
Fonte de Variação	GL	TRA (%)	E (g dia ⁻¹)	Si (%)	Biom (g)	RMR	RMC
SH	1	200,2*	1,4x10 ^{6**}	0,004 ^{ns}	17332,2**	0,01**	0,007**
Si	1	80,3 ^{ns}	27676 ^{ns}	0,001 ^{ns}	95,5 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	4x10 ^{-5ns}
SH x Si	1	94,8 ^{ns}	4676 ^{ns}	0,007 ^{ns}	55,5 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Erro	20	44,4	16688	0,003	230,7	0,001	0,0005
CV (%)		8,9	19,9	19,2	12,3	11,4	8,4
Tratamentos		Médias					
50% SH		71,9b	404,6b	0,29 ^a	96,9b	0,38 ^a	0,27b
100% SH		77,7 ^a	889,2a	0,32 ^a	150,7 ^a	0,34b	0,30 ^a

* significativo ao nível de 5% e ** 1% de probabilidade. ^{ns} não significativo (p >= 0,05). Médias seguidas por uma mesma letra minúscula dentro da coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls

Apesar do reduzido crescimento vegetativo nas mudas sob déficit hídrico, as plantas de *Eucalyptus urocam* apresentaram tímido decréscimo do teor relativo de água e consequente manutenção de razoável hidratação dos tecidos suficiente para manutenção de crescimento mínimo. A pequena diferença nos teores relativos de água entre plantas sob déficit e supridas com volume adequado de água se deve as estratégias de maximização da absorção de água através de alocação de biomassa para maior crescimento do sistema radicular (CR) e minimização das perdas por transpiração (E) típicos de plantas isohídricas conforme relatado por Matos et al. (2016) estudando o déficit hídrico em mudas de *Eucalyptus urocam*.

A redução da concentração foliar de clorofilas totais em plantas sob déficit hídrico pode estar associada a menor absorção de energia radiante e juntamente com a maior

concentração de carotenoides concede fotoproteção a planta contra o estresse oxidativo, pois sob baixa condutância estomática é comum a ocorrência de excesso de energia fotoquímica e, nestas circunstâncias, a redução na absorção /ou dissipação do excesso de energia luminosa. Segundo Matos et al. (2016) alterações nas concentrações foliares de pigmentos fotossintéticos é importante estratégia de plantas de *Eucalyptus urocam* contra a fotoinibição da fotossíntese.

Pode-se observar pela análise dos componentes principais (PCA) que o eixo 1 explica 36,2% da variação dos dados e o eixo 2: 17,2%. As plantas dos tratamentos irrigados com crescimento vegetativo mais vigoroso localizaram-se à esquerda do eixo 1 formando um grupo enquanto sob déficit concentraram-se à direita do eixo 1 formando um segundo grupo. As variáveis determinantes para a obtenção dos

grupos distintos foram: biomassa e transpiração (Figura 1). A formação e distribuição dos grupos foi significativa a 1% de probabilidade pela análise PERMANOVA.

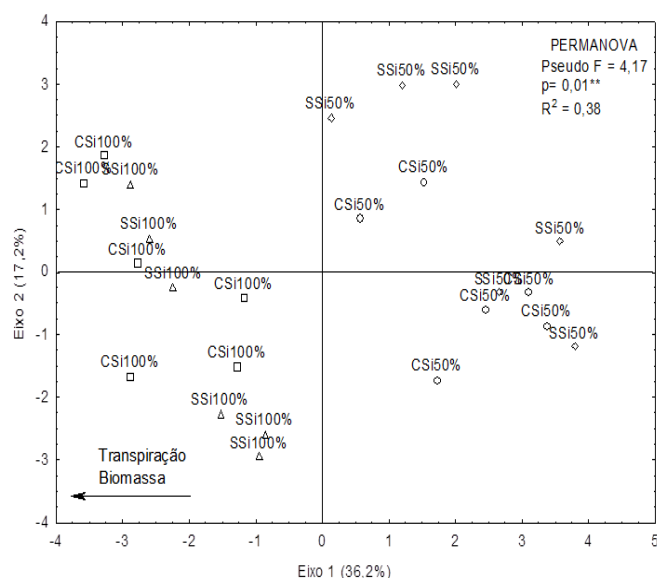


Figura 1. Análise de componentes principais para todas as variáveis analisadas em plantas de *Eucalyptus urocam* submetidas ao déficit hídrico e adubação silicatada. **Significativo a 1% de probabilidade. CSi50%: com Si e irrigadas com volume de água correspondente a 50% da evapotranspiração, CSi100%: com Si e 100% da evapotranspiração, SSi50%: Sem silício e 50% da evapotranspiração e SSi100%: sem silício e 100% da evapotranspiração. Ipameri, 20 de dezembro de 2016.

O Eixo 1 da análise de componentes principais ordenou os tratamentos em dois grupos separados em função do suprimento hídrico independente da dose de Si. As variáveis biomassa e transpiração foram determinantes para tal. O acúmulo de biomassa é uma importante variável representativa do crescimento vegetal e depende exclusivamente da taxa fotossintética ao longo do tempo. Em adição, limitação da abertura estomática que minimizou a transpiração limitou também a fotossíntese pelo menor influxo de CO₂.

CONCLUSÕES

1- As plantas de *Eucalyptus urocam* não são acumuladoras de Si e a adubação silicatada não interfere no crescimento vegetativo e nas relações hídricas desta espécie de Eucalipto.

2- As plantas de *Eucalyptus urocam* apresentam como estratégia de tolerância a seca a desidratação retardada e minimização da perda de água pela maior alocação de biomassa para o sistema radicular e redução da transpiração e, soma-se a isto as alterações nas concentrações foliares de pigmentos fotossintéticos como mecanismo de fotoproteção.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010** /ABRAF –Brasília:2011. 130
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMAZÔNIA. Amigos da Terra Amazônia Brasileira. PIB do setor florestal atinge US\$ 56 milhões de dólares. Versão Eletrônica Fev/2015. Disponível em: <http://amazonia.org.br/2015/02/pib-do-setor-florestal-atinge-uss-56-milhoes-de-dolares/> Acesso em: 15 jul. 2016.
- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v.26, p.32-46, 2001.
- BERNI, R.F.; PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.195-201, 2003.
- CARVALHO, R.; NETO, A. E. F.; CURI, N.; RESENDE, A. V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em latossolo e cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.3, p.491-500, 2003.
- CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo:

- relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p.333-341, 2004.
- DÍAZ-LÓPEZ, L.; GIMENO, V.; ISIMÓN, I.; MARTÍNEZ, V.; RODRÍGUEZ-ORTEGA, W. M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance, **Agricultural Water Management**, v.105, n.9, p.48-56, 2012.
- DEMATTÊ, J. L. I.; PAGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**, 2011. p.7-12.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; BASRA, S. M. A.; DIN, I. U. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**. v.195, n.4, p.262-269, 2009.
- FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, v.45, n.1, p.29-34, 2015.
- KARMOLLACHAAB, A.; BAKHSHANDEH, A.; GHARINEH, M. H.; MORADITELAVAT, M. R.; FATHI, G. Effect of Silicon application on Physiological characteristics and Grain Yield of Wheat under Drought stress condition. **International journal of Agronomy and Plant Production**, v.4, n.1, p.30-37, 2013.
- LICHTENTHALER, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v.148, p.350-382.
- LOPES, V. A.; SOUZA, B. R.; MOURA, D. R.; SILVA, D. Z.; SILVEIRA, P. S.; MATOS, F. S. Initial growth of eucalyptus plants treated with gibberellin. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.11, p.1251-1255, 2015.
- MATOS, F. S.; JUNIOR, H. D. T.; ROSA, V. R.; SANTOS, P. G. F.; BORGES, L. F. O.; RIBEIRO, R. P.; NEVES, T. G.; CRUVINEL, C. K. L. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, v.26, n.1, p.19-27, 2014.
- MATOS, F. S.; OLIVEIRA, P. R. C.; ANCIOTTI GIL, J. L. R.; SOUSA, P. V.; GONÇALVES, G. A.; SOUSA, M. P. B. L.; SILVEIRA, P. S.; SILVA, L. M. *Eucalyptus urocan* drought tolerance mechanisms. **African Journal of Agricultural**, v.11, p.1617-1622, 2016.
- MA, J.F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.65, p.3049-3057, 2008.
- OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v.36, v.37, n.3, p.431-439, 2013.
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABBOUD, A. C. S.; ROY-MACULEY, H. Tolerância Protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências da Vida. Rio de Janeiro, v.22, n.1, p.07-14, 2002.
- PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R.; GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany**, v.8, n.1, p.57-70, 1995.
- QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. C. N.; BURCKHARDT, D. H. Effect of silicon application to *Eucalyptus camaldulensis* on the population of *Glycaspis brimble combei* (Hemiptera: Aphalaridae). **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 86, p. 85-94, 2016.
- R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, Disponível em: <http://www.R-project.org/>, Acesso em: 30 outubro de 2016.

- SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N. C.; FERNANDES, H. C.; PAULA, M. O.; CARMO, F. C.; MOREIRA, G. R.; COELHO, F. E. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, v.24, n.3, p.741-748, 2014.
- SHI, Y.; ZHANG, Y.; YAO, H.; JIAWEN, W.; SUN, H.; GONG, H. Silicon Improves Seed Germination and Alleviates Oxidative Stress of Bud Seedlings in Tomato under Water Deficit Stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.78, p.27-36, 2014.
- SMITH, M. 1991. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. **Rome FAO**. 45p.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. 1969. **The principles and practice of statistics in biological research**. San Francisco: WH Freeman and company, Fourth edition, p. 222-223.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2013. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 5th ed. 918p.
- VASQUEZ-TELLO, A., Y. ZUILY-FODIL, A. T., PHAM THI; J VIEIRA DA SILVA. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, v.41, p.827-32, 1990.