

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE GUANANDI (*Calophyllum  
brasiliense* Cambess., Clusiaceae) EM SISTEMA SOB COBERTURA E A  
PLENO SOL**

**THAYANA CRISTINA REBELLO WANGINIAK**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Ciência  
Florestal.

BOTUCATU – SP

Março – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE GUANANDI (*Calophyllum  
brasiliense* Cambess., Clusiaceae) EM SISTEMA SOB COBERTURA E A  
PLENO SOL**

**THAYANA CRISTINA REBELLO WANGINIAK**

Orientadora: Profa. Dra. Vera Lex Engel

Co-orientadora: Profa Dra Magali Ribeiro da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Ciência  
Florestal.

BOTUCATU – SP

Março - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

W246d Wanginiak, Thayana Cristina Rebello, 1986-  
Desenvolvimento inicial de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess., Clusiaceae) em sistema sob cobertura e a pleno sol / Thayana Cristina Rebello Wanginiak. - Botucatu : [s.n.], 2016  
viii, 44 f. : fots. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Vera Lex Engel  
Coorientador: Magali Ribeiro da Silva  
Inclui bibliografia

1. *Calophyllum*. 2. Sistemas silviculturais. 3. Irrigação com déficit hídrico. 4. Plantio (Cultivo de plantas). I. Engel, Vera Lex. II. Silva, Magali Ribeiro da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** "DESENVOLVIMENTO INICIAL DE GUANANDI (*Calophyllum brasiliense* Cambess., Clusiaceae) EM SISTEMA SOB COBERTURA E A PLENO SOL"

**AUTORA:** THAYANA CRISTINA REBELLO WANGINIAK

**ORIENTADORA:** VERA LEX ENGEL

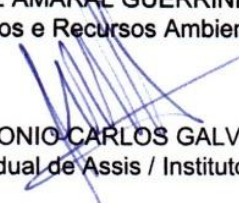
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. VERA LEX ENGEL

Depto. de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

  
Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI

Depto. de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

  
Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GALVÃO DE MELO

Floresta Estadual de Assis / Instituto Florestal / Secretaria do Meio Ambiente

Botucatu, 01 de março de 2016.

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela proteção e por guiar meu caminho;
- À Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, pelo conhecimento disponibilizado;
- À Tropical Flora Reflorestadora pela doação das mudas de guanandi utilizadas neste experimento;
- Às professoras Dras. Vera Lex Engel e Magali Ribeiro da Silva pela orientação e co-orientação, respectivamente. E também à professora Dra. Carmen Regina Marcati, pela orientação, quando a ausência da minha atual orientadora.
- À Miriam Tsunemi, pelo grande auxílio com as análises estatísticas;
- Aos professores do programa de Pós-graduação em Ciência Florestal da FCA/UNESP;
- Aos funcionários da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão, pela colaboração especialmente no trabalho de campo. Sem a ajuda deles, certamente esta pesquisa não seria possível;
- Aos colegas do LERF, pelo auxílio nos trabalhos de campo e trocas de conhecimento, especialmente ao Rodrigo pelas conversas, trocas de conhecimento e dicas, e pelas ajudas na coleta de dados e análises;
- Aos meus pais, Sergio e Deise, pelo apoio incondicional de sempre, ainda que a distância de casa fizesse a saudade apertar. E como aperta!! Por serem meus maiores incentivadores, meus exemplos, minha base e a razão de todas as minhas conquistas. Nós sabemos bem cada obstáculo que superamos juntos. Não posso deixar de agradecer infinitamente a minha mãe, que se mudou “de mala e cuia” de SC para SP nos últimos meses antes da entrega dos meus exemplares para defesa, onde eu mergulhei de cabeça e só fiz escrever a tese dia e noite, enquanto ela me ajudou a cuidar com todo zelo do meu filho Vicente.
- À minha irmã, Brunna pelo apoio quando decidi seguir esse caminho. Por ser presente, por estar ao lado dos meus pais e da nossa amada Vó Odette (*in memorian*), apoiando-os, enquanto eu precisei me ausentar.
- Ao meu marido, parceiro e companheiro Hugo por me incentivar a trilhar esta jornada e pela ajuda até mesmo no serviço de campo, especialmente nos meses da gestação dos nossos filhos. E aos meus filhos amados, Vicente e nossa pequena (ainda no meu ventre), presentes que recebemos em meio ao mestrado. Vocês vieram fazer parte das nossas vidas e nos possibilitar conhecer o significado da expressão “amor incondicional”. Vocês são a melhor parte de mim. Fazem nossos dias mais leves, mais alegres e me fazem mais forte!

## SUMÁRIO

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                    | 4  |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                                                                                         | 6  |
| 2.1 Guanandi: características, distribuição e importância .....                                                        | 6  |
| 2.2 Características e uso da madeira .....                                                                             | 7  |
| 2.3 Potencial para o reflorestamento comercial e restauração ecológica .....                                           | 9  |
| 2.4 Alteração dos parâmetros fisiológicos par avaliar o desempenho das plantas e adaptação a deficiência hídrica ..... | 11 |
| 2.4.1 Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e temperatura da folha ( $T^{\circ}f$ ) ...     | 12 |
| 2.4.2 A luminosidade no estabelecimento as plantas .....                                                               | 14 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                            | 16 |
| 3.1 Caracterização da área de estudo .....                                                                             | 16 |
| 1.2 Delineamento experimental .....                                                                                    | 18 |
| 3.3 Preparo da área, plantio e manutenção – ampliação das fotos, data de aplicação hidrogel .....                      | 20 |
| 3.4 Coleta e análise de dados .....                                                                                    | 21 |
| 4. RESULTADOS .....                                                                                                    | 25 |
| 4.1 Caracterização das parcelas de estudo .....                                                                        | 25 |
| 4.2 Diferenças de microclima e meio físico entre os tratamentos .....                                                  | 26 |
| a ) Temperatura máxima do ar, umidade relativa mínima do ar e temperatura média do solo .....                          | 26 |
| b) Umidade do solo .....                                                                                               | 27 |
| 4.3 Crescimento e sobrevivência das plantas .....                                                                      | 28 |
| 4.4 Parâmetros ecofisiológicos .....                                                                                   | 29 |
| b) Conteúdo relativo de água (CRA) e Potencial hídrico foliar ( $\Psi_{wf}$ ) .....                                    | 30 |
| 5. DISCUSSÃO .....                                                                                                     | 32 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                                                                                     | 36 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                    | 38 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Extrato do balanço hídrico normal mensal e temperaturas médias para ao período de estudo por Thornthwaite e Manther (1955), segundo dados meteorológicos fornecidos pela Estação Meteorológica da Fazenda Lageado – FCA/UNESP e dados meteorológicos mensais para o município de Botucatu, SP (CUNHA e MARTINS, 2009).....                                                            | 17 |
| <b>Figura 2.</b> Imagem aérea do arranjo dos sistemas de plantio sombreado (S) e a pleno sol (P.S) na Fazenda Edgardia. Fonte: Imagem do Google Earth, 2008. ....                                                                                                                                                                                                                                      | 18 |
| <b>Figura 3.</b> Vista dos sistemas de plantio sombreado (A) e a pleno sol (B). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Sequência de imagens do preparo das áreas ao plantio. Legenda: A: controle do mato para a instalação do experimento; B: perfuração do solo nas parcelas a pleno sol; C: perfuração do solo nas parcelas sombreadas; D: adubação pré-plantio; E: irrigação da .....20                                                                                                                  | 20 |
| <b>Figura 5.</b> Monitoramento da temperatura do solo (A) e microclima (B) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 21 |
| <b>Figura 6.</b> Medição da altura (A) e diâmetro do colo das plantas (B).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 22 |
| <b>Figura 7.</b> Gráficos com os valores médios e desvio padrão (barras) da temperatura média do solo (A), temperatura máxima do ar (B) e umidade relativa mínima do ar (C) nas parcelas sombreadas e pleno sol nas quatro épocas de coleta de dados. ....                                                                                                                                             | 27 |
| <b>Figura 8.</b> Média de umidade do solo nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B) dos tratamentos 6 e 12 meses após o plantio. Barras representam o desvio padrão .....                                                                                                                                                                                                                     | 28 |
| <b>Figura 9.</b> Crescimento médio das plantas em diâmetro na altura do colo (mm) (A) e em altura (m) (B) nos dois sistemas (pleno sol e sombreado), desvio padrão indicado pelas barras. ....                                                                                                                                                                                                         | 28 |
| <b>Figura 10.</b> Sobrevivência das plantas por tratamento aos 2, 6, 10, 14 e 18 meses após o plantio.....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 29 |
| <b>Figura 11.</b> Gráficos da condutância estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A) e da Temperatura da folha (B) dos tratamentos de sombra e pleno sol, no Teste de Mann-Whitney: mediana (quadrados grandes brancos); quartis (quadrados pequenos pretos); máximos-mínimos (indicado pelas barras), com $p\text{-valor}=0,005$ , indicando que há diferença entre os tratamentos. .... | 30 |
| <b>Figura 12.</b> Valores médios do potencial hídrico da folha ( $\psi_{hf}$ ) (A) e do Conteúdo relativo de água (CRA) (B) nos dois tratamentos e em dois horários de medição, barras                                                                                                                                                                                                                 |    |

representam o desvio padrão e as letras minúsculas (a,b) indicam diferenças estatísticas entre os horários de medição para cada tratamento. ....31



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Características químicas do solo por parcela na profundidade de 0-20 cm para o ano de 2013.....                                                                                                                | 18 |
| <b>Tabela 2.</b> Comparação entre as Médias da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA%) obtida em setembro de 2013 e março de 2014 para os tratamentos sombreado e pleno sol, pelo Teste de t para amostras independentes..... | 26 |
| <b>Tabela 3.</b> Valores obtidos pelo teste t e p-valor de cada parâmetro avaliado nos quatro meses de coleta de dados nos dois tratamentos .....                                                                               | 27 |
| <b>Tabela 4.</b> Comparação dos valores médios entre os horários de medição pelo teste t para amostras dependentes para os dois tratamentos. ....                                                                               | 30 |

### LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

|                                      |                                                                               |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> – Dióxido de carbono | Ψ <sub>wf</sub> – potencial hídrico foliar                                    |
| MPa – Mega pascal                    | IAF – Índice de área foliar                                                   |
| s – segundo                          | RFA – Radiação fotossinteticamente ativa                                      |
| min – minuto                         | mm - milímetro                                                                |
| h - hora                             | cm – centímetro                                                               |
| gs – condutância estomática          | m - metro                                                                     |
| DPV – déficit de pressão de vapor    | ha – hectare                                                                  |
| T <sub>f</sub> – temperatura foliar  | % - percentual                                                                |
| Pres – fósforo                       | H – altura                                                                    |
| Al- alumínio                         | DAC – diâmetro na altura do colo                                              |
| H- hidrogênio                        | T <sub>max</sub> – temperatura máxima do ar                                   |
| K – potássio                         | UR <sub>min</sub> – umidade relativa do ar mínima                             |
| Ca – cálcio                          | CRA – conteúdo relativo de água                                               |
| Mg – magnésio                        | EMET – estação Meteorológica                                                  |
| SB – soma de bases                   | FCA/UNESP – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista |
| CTC – capacidade de troca catiônica  | IMA – Incremento médio anual                                                  |
| °C – Graus Celsius                   |                                                                               |

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE GUANANDI (*Calophyllum brasiliense* Cambess., Clusiaceae) EM SISTEMA SOB COBERTURA E A PLENO SOL.**

Botucatu, 2016, 44p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: THAYANA CRISTINA REBELLO WANGINIAK

Orientadora: VERA LEX ENGEL

Co-orientadora: MAGALI RIBEIRO DA SILVA

**RESUMO**

A busca por espécies florestais nativas com potencial econômico tem sido crescente, assim como o aumento da demanda de madeiras nobres para fins comerciais. Todavia, muitas vezes pouco se sabe sobre o ciclo de desenvolvimento, tratamentos silviculturais e manejo adequados para cada espécie. Dentre as espécies que vêm se destacando na silvicultura de espécies nativas está o guanandi, *Calophyllum brasiliense* Cambess (Calophyllaceae), que apresenta características silviculturais e de qualidade de madeira favoráveis, além da produção de frutos e sementes o que incrementa a lucratividade e possuem propriedades medicinais. Embora a espécie seja capaz de se regenerar naturalmente no interior de florestas higrófilas, é cultivada usualmente em plantios puros a pleno sol, e as informações a respeito do melhor sistema de cultivo são escassas. Buscamos com este trabalho o conhecimento sobre o melhor sistema de plantio para a espécie: sombreado ou a pleno sol. A hipótese inicial da pesquisa era de que as plantas em sistema sombreado teriam melhor crescimento e maior sobrevivência do que as de pleno sol, assim como maior tolerância à seca, por este sistema se assemelhar mais às condições de seu habitat natural. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com dois tratamentos (pleno sol e sombreado) e três repetições, com parcelas compostas por 30 plantas. Para as análises, cada planta foi considerada uma medida repetida dentro do fator bloco. As variáveis analisadas foram: sobrevivência, crescimento em altura e em diâmetro da base do colo. Foram também feitas análises fisiológicas das plantas sobreviventes em ambos os sistemas, com estimativas da condutância estomática, potencial hídrico da folha e conteúdo relativo de água. O microclima foi monitorado durante o período de estudo e foram feitas também análises de fertilidade radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e umidade do solo. O verão de 2014 (janeiro a março) foi extremamente quente e seco, o que provocou uma alta mortalidade das plantas. Nossa hipótese não foi confirmada, uma vez que as plantas a

pleno sol demonstraram melhor sobrevivência, maior crescimento e maior condutância estomática do que as sombreadas, contrariando nossa predição inicial. Embora as condições microclimáticas do sistema sombreado tenham sido mais favoráveis (menores temperaturas máximas, maior umidade relativa do ar), a umidade do solo foi maior no sistema a pleno sol. A maior mortalidade e menor crescimento no sistema sombreado podem ser atribuídos à maior competição por água com as árvores já estabelecidas no sistema sombreado, já que neste ambiente a menor umidade do solo indicaram um maior consumo de água pelas plantas já estabelecidas.

**Palavras-chaves:** *Calophyllum brasiliense*, silvicultura de espécies nativas; sistema silvicultural; déficit hídrico, sistema de plantio, ecofisiologia.

**EARLY DEVELOPMENT OF GUANANDI (*Calophyllum brasiliense* Cambess., Clusiaceae) FULL-SUN AND UNDER CANOPY COVER PLANTING SYSTEMS.**

Botucatu, 2016, 44p . Dissertation (Master in Forest Science ) - College of Agricultural Sciences, São Paulo State University

Author: THAYANA CRISTINA REBELLO WANGINIÁK

Supervisor: VERA LEX ENGEL

Co -supervisor : MAGALI RIBEIRO DA SILVA

**ABSTRACT**

Recently there's a growing interest in native forest species with economic potential, due to an increasing demand for hardwood timber species. However, to date there is not enough information about developmental cycles, silvicultural treatments and management required by each species. "Guanandi", *Calophyllum brasiliense* Cambess (Calophyllaceae), is one of these high potential species due to its silvicultural and wood quality characteristics, besides providing fruits and seed with medicinal properties. Although the species usually regenerates naturally within hygrophylous forests, it has usually been cultivated as pure stands under full sun. We aimed at investigating the more adequate planting system for *C. brasiliense*: shaded (enrichment plantings) or under full-sun conditions. Our hypothesis was the plants in shaded system would have better growth and higher survival, as well as greater drought tolerance, as this system is more similar to the species' natural habitats. We used a randomized block design with two treatments (full-sun and under canopy cover) and three replicates, with 30 within-block repeated measures (plants per plot). The variables analyzed were survival, height and basal diameter growth; stomatal conductance and photosynthetic active radiation (PAR). The microclimate was monitored during all over the study period and soil samples were analyzed for fertility and moisture. The summer of 2014 (January-March) was extremely hot and dry, which caused high plant mortality rates. Our hypothesis was not confirmed, since plants under full-sun had better survival, higher growth and higher stomatal conductance, despite the drier and warmer microclimatic conditions. This shall be attributed to increased competition for water with the canopy trees in the shaded system, as soil moisture was higher in the full-sun plots, in spite of the hotter and drier microclimate.

**Keywords:** *Calophyllum brasiliense*, reforestation, tropical silviculture, silvicultural system, water deficit, ecophysiology.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui cobertura de 463 milhões de hectares de floresta, sendo que as florestas naturais totalizam 456 milhões de hectares (53,56%), ao passo que as florestas plantadas cobrem 7 milhões de hectares (0,84%), totalizando uma cobertura de 54,4% do território nacional, representando a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. Da área total de florestas plantadas 92,8 % corresponde a pinus e eucalipto, enquanto que outras espécies, como acácia (*Acacia mearnsii* / *Acacia mangium*), seringueira (*Hevea brasiliensis*), paricá (*Schizolobium amazonicum*), teca (*Tectona grandis*), araucária (*Araucaria angustifolia*), populus (*Populus* spp) e outras representam 7,2% (ABRAF, 2013).

As espécies brasileiras utilizadas em reflorestamentos podem auxiliar na redução dos impactos ambientais decorrentes do desmatamento. Muitas se adaptam bem a vários ambientes, o que potencializa sua utilização em áreas até então inóspitas e despertam o interesse dos pesquisadores pela importância econômica, silvicultural e ambiental. Algumas espécies nativas vêm se destacando pelo potencial em reflorestamentos comerciais, dentre elas o guanandi (*Calophyllum brasiliense*). Pertencente à família botânica Calophyllaceae, tem distribuição ampla, ocorrendo em todas as bacias hidrográficas brasileiras, e em vários tipos de habitats desde florestas higrófilas, cerradão, matas ciliares, Pantanal e restingas (MARQUES e JOLY, 2000; CARVALHO, 2003), desde que o solo apresente condições favoráveis de umidade (OLIVEIRA-FILHO e RATTER 1995). Suas sementes mesmo que submersas mantêm a viabilidade e as plantas apresentam bom crescimento nos solos alagados (MARQUES e JOLY, 2000).

Existem muitos indícios de que a espécie seja promissora e muito se especula sobre seu potencial econômico em consequência da elevada qualidade da sua madeira. Todavia, por ser uma espécie relativamente nova no mercado florestal e em especial no ramo de produção de madeira nobre os estudos científicos nessa área ainda são escassos.

Quanto às formas de plantio, os reflorestamentos podem ser realizados em sistemas a pleno sol ou sob cobertura do dossel pré-existente, como os plantios de enriquecimento ou de conversão (Lampreccht, 1990). Nos sistemas a pleno solo, plantam-se as mudas em áreas abertas, desprovidas de vegetação arbórea. Já no sistema de plantio sob cobertura, pode-se plantar as mudas em áreas onde já há algum tipo de vegetação capaz de proporcionar proteção permanente (enriquecimento) ou temporária (conversão). Ou ainda como em plantios mistos, onde plantam-se na mesma área mudas de uma ou mais espécies de crescimento mais rápido que façam o papel de sombreadoras às de crescimento mais lento.

No caso do guanandi, a maioria das empresas e produtores rurais têm dado preferência a plantios puros a pleno sol, pela facilidade de manejo, maior produtividade e aparente adaptação da espécie a estes sistemas. Entretanto, especula-se se esta condição seria mesmo a ideal para o plantio da espécie, considerando-se que em condições naturais a espécie se regenera e forma populações de plântulas no interior de florestas nativas e matas de brejo (Ivanauskas et al., 1997; Reis et. al, 2009), sendo que o habitat ideal para estabelecimento inicial das plântulas são áreas em início de sucessão (King, 2003).

## **1.1 Objetivos**

Nossa hipótese de estudo é de que mudas de guanandi, por ser espécie secundária, característica do interior da floresta higrófila, se desenvolvam melhor e tenham maior sobrevivência à sombra (em sistema sob cobertura) do que a pleno sol, pela maior semelhança de habitat com as condições naturais de regeneração da espécie.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Guanandi: características, distribuição e importância

O guanandi também é conhecido popularmente como olandi, jacareúba, gulande-carvalho, guanandi-carvalho, guanandi-cedro, landim, bálsamo jacareúba, cedro-do-pântano, guanandi amarelo, guanandi poca, olandi-Carvalho (CARVALHO, 2003). A árvore apresenta copa umbeliforme densa, podendo chegar a 45 m de altura e 180 cm de diâmetro. Seu tronco é cilíndrico e retilíneo, com casca grossa, acinzentada apresentando fissuras longitudinais (LORENZI, 1998; CARVALHO, 2003). As folhas são simples, coriáceas e glabras, com nervação secundária e variando de 7 a 18 cm de comprimento. As flores são masculinas (com muitos estames) e hermafroditas ou bissexuais (com poucos estames), reunidas em curtos racemos axilares de cor branca. O fruto é uma drupa globosa, de até 2 cm de diâmetro, indeiscente, verde amarelada, contendo uma semente (REITZ et al., 1978). *Calophyllum* significa “folha bonita”, e *brasiliense*, “do Brasil” (FERREIRA, 1975), enquanto que o seu nome popular guanandi significa “o que é grudento”, devido a uma gomo-resina de cor amarelo esverdeada, de cheiro forte e sabor amargo (CORREIA, 1984). É classificada como espécie secundária e intermediária tardia (Durigan e Nogueira, 1990).

A dispersão dos frutos e das sementes pode acontecer por três vetores: autocória, hidrocória e zoocória, sendo esta última a forma predominante (CARVALHO, 2003), uma vez que o fruto serve de alimento para diversos animais, muitos deles ameaçados de extinção como o papagaio da cara-roxa (*Amazona brasiliensis*) (MARQUES, 1994), entre outros animais.



Entre as espécies com potencial de desenvolvimento em áreas alagáveis, o guanandi é uma das espécies arbóreas de distribuição mais ampla, ocorrendo desde a América Central até o Litoral Sul do Brasil, na Floresta Amazônica, Floresta Atlântica e de Restinga e em Florestas de Galeria (REITZ et al. 1978, OLIVEIRA-FILHO e RATTER 1995), onde a espécie parece se desenvolver com maior sucesso (FISCHER e DOS SANTOS, 2001). Entretanto, é mais abundante na Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Sempre-Verde Aluvial (IBGE, 2012). O guanandi é encontrado desde 5 m de altitude, no litoral, até 1500m, em regimes de precipitação com intervalo de 1100 mm a 4000 mm, e tolerando estação seca de até três meses. Tolerar temperaturas médias anuais de 18,1 a 26°C, ocorrendo em locais que possuem geadas pouco frequentes. Ocorre espontaneamente em solos aluviais com drenagem deficiente, em locais úmidos periodicamente inundáveis e brejosos, com textura arenosa a franca, e ácidos (pH 4,5 a 6,0) (CARVALHO, 2003). Apesar da ampla distribuição, as populações de guanandi estão ameaçadas pela devastação, tanto pela extração ilegal de madeira, quanto pela influência da ocupação nas áreas de ocorrência. Segundo a Resolução SMA nº 08 de 2008, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, o guanandi está inserido na categoria de ameaça de extinção como espécie “Quase Ameaçada (QA)”.

Durigan e Nogueira (1990) classificaram o guanandi como uma espécie pertencente ao grupo sucessional das espécies secundárias intermediárias a tardia. As espécies secundárias tardias são aquelas que “se desenvolvem no subosque em condições de sombra leve ou densa, podendo aí permanecer toda a vida ou então crescer até alcançar o dossel ou a condição de emergente” (GANDOLFI et al., 1995).

## **2.2 Características e uso da madeira**

O interesse no uso do guanandi vem se destacando pelos diversos benefícios, sejam eles ambientais ou econômicos, a citar: o seu potencial na utilização para recuperação de áreas degradadas, especialmente áreas úmidas e o fato da semente ser um atrativo para a fauna que atua na dispersão da espécie. Além disso, quando estudado em áreas de restinga arbustiva, mostrou-se uma espécie com potencial de facilitação, ou seja,

propicia condições favoráveis ao estabelecimento de outras espécies contribuindo para o processo ecológico (SENDODA et al., 2007).

Melotto et al. (2007), avaliaram o desenvolvimento inicial de 11 espécies nativas arbóreas do Brasil Central, objetivando conhecer melhor as características das mesmas quando plantadas em pastagem de *Brachiaria brizantha*. Dessa forma, espécies nativas poderiam ser utilizadas na arborização de pastagens na região do Cerrado do Brasil Central, auxiliando no incremento da produção na pecuária extensiva, com o uso de sistemas silvipastoris. Nesta situação de plantio, após 12 meses de avaliação o guanandi apresentou uma taxa de crescimento relativo em altura de 3,72 cm e 0,098 cm em diâmetro do colo das plantas, destacando-se entre as espécies. Este trabalho indica mais uma possível aplicação e utilização do guanandi. Ao mesmo tempo em que contribui para a produtividade na pecuária extensiva, sua madeira e subprodutos podem ser explorados, agregando valor à propriedade.

Outro ponto de destaque são as características desejáveis da madeira para boa trabalhabilidade permitindo seu uso na construção civil, naval, confecção de móveis finos e nas indústrias em geral (KALIL FILHO, 2007), bem como a possibilidade do uso dos subprodutos, a citar: a casca e o látex empregados na medicina e na veterinária, as flores na apicultura e seu uso como planta ornamental (LORENZI, 1992).

A madeira apresenta grande semelhança estética ao cedro (CARVALHO, 2003), podendo substituí-la, com a vantagem da árvore não ser atacado pela praga chamada “broca do ponteiro” (*Hypsipyla grandella*), o que dificulta o manejo do cedro em plantios homogêneos. (CIRIELLO, 2010b). Apresenta boa durabilidade e resistência, o que permite seu uso na construção civil e naval, na produção de cabos de ferramentas, móveis finos, dormentes, pontes, postes, chapas, lâminas faqueadas decorativas e barris para depósito de vinhos e em trabalhos gerais de carpintaria e marcenaria (KALIL FILHO, 2007). A massa específica aparente da madeira pode variar de leve a moderadamente densa, dependendo da sua origem (0,45 a 0,65 g/cm<sup>3</sup>) entre 12 a 15% de umidade (CARVALHO, 2003).

Apresenta boa trabalhabilidade, mas quando a secagem é realizada ao ar livre deve ser feita com cautela, pois a madeira apresenta alta tendência ao surgimento de rachaduras e empenamentos. A secagem em estufa deve ser feita com precaução e somente para peças com pouca grã entrecruzada (IPT, 2003). Programas de secagem podem ser obtidos em CTFT/INPA (s.d.) e Jankowsky (1990).

### 2.3 Potencial para o reflorestamento comercial e restauração ecológica

Os plantios florestais tem sido uma das técnicas mais difundidas e mais bem sucedidas para superar a degradação ambiental (LAMB et al., 2005), uma vez que atuam como facilitadores do processo de regeneração natural que as florestas apresentam, promovendo a melhoria das condições de luminosidade, solos e microclima (PARROTA, 1997).

O guanandi é uma espécie com grande potencial silvicultural, cujo interesse no Brasil vem aumentando a cada ano. É plantado em países da América Central, como a Costa Rica, há mais de 15 anos, onde apresentou crescimento satisfatório em plantações puras. No Brasil, embora ocorra desde o estado do Amazonas até o Rio Grande do Sul, o seu plantio comercial ainda é recente. Embora seja plantada a pleno sol, as suas exigências em luz ainda não são bem conhecidas.

Loik e Holl (1999) avaliaram crescimento de mudas de quatro espécies da floresta tropical, dentre elas o guanandi. As mudas foram plantadas em floresta primária, em pastagem abandonada e à sombra de árvores remanescentes. A porcentagem de sobrevivência das mudas de guanandi foi maior nas parcelas de floresta e não diferiu entre as parcelas de sombra e pasto. Todavia, as mudas das parcelas de sombra tiveram maior crescimento em altura. A área foliar não diferiu entre os tratamentos e a temperatura da folha foi semelhante entre os tratamentos de pastagem e sombra das árvores remanescentes. Os autores observaram que a espécie é capaz de se aclimatar para os níveis mais elevados de luz da pastagem e à sombra das árvores remanescentes, em comparação com ambiente de baixa luminosidade da floresta primária.

Em plantações experimentais na Costa Rica apresentou altura de 1,36 m e diâmetro de 1,62 cm no primeiro ano após o estabelecimento (RUSSO e SANDÍ, 1995). Aos 3 anos de idade alcançou 4,2 m de altura e 3,9 cm de diâmetro (GONZÁLEZ *et al.*, 1990). Avaliações realizadas em plantações de 7 anos de idade mostraram a manutenção das taxas iniciais de crescimento, mantendo um incremento médio em altura de 1,4 m/ano e um incremento médio em diâmetro da ordem de 1,82 cm/ano (CIRIELLO, 2010a).

No planalto catarinense, Duffecky e Fossati (2009), avaliaram a adaptação de mudas de guanandi quanto ao crescimento inicial sob duas situações: a pleno

sol e sombreado (consórcio com eucalipto). No tratamento a pleno sol as mudas apresentaram crescimento maior em diâmetro, enquanto no tratamento sombreado, as plantas de guanandi competiram com o *Eucalyptus* sp., e para suprir a demanda de luz, apresentaram maior crescimento em altura do que em diâmetro. Os autores explicaram que isso pode ter ocorrido porque nas mudas a pleno sol havia maior disponibilidade de insolação, fazendo com que o crescimento cambial fosse maior.

No Paraná, o guanandi ocorre em solos com baixa fertilidade natural. Contudo, nos plantios experimentais desenvolvidos pela Embrapa Florestas, no Paraná – a espécie tem apresentado crescimento satisfatório, sem exibir limitação quanto à drenagem, desde que plantadas em solos com propriedades físicas adequadas, como de fertilidade química alta a média, bem drenados, de textura que varia de franca a argilosa (Carvalho, 2003). No cerrado, Durigan e Silveira (1999) estudando a recomposição da mata ciliar com lençol freático superficial a pouco profundo, em Assis/SP, observaram que dentre as espécies utilizadas no plantio e adaptadas a solos ácidos, com baixa fertilidade e elevado teor de alumínio, o guanandi se destacou dentre as espécies por apresentar 50% de sobrevivência nove anos após o plantio. Ainda na recuperação de mata ciliar do cerrado em Campo Grande/MS, Pregelli et al. (2008) também verificaram bom crescimento em altura e diâmetro para mudas de guanandi. As plantas apresentaram crescimento de 30 cm em altura e 0,08 cm em diâmetro, no período de 10 meses de estudo.

Cusack e Montagnini (2004) avaliaram o papel das plantações de espécies nativas na diversidade lenhosas no sub-bosque de pastagens degradadas na Costa Rica. Para tanto, compararam a regeneração do sub-bosque de plantas lenhosas por meio da avaliação de seis espécies madeireiras nativas em plantações tropicais nas terras baixas do Atlântico úmido da Costa Rica, dentre elas o guanandi. As espécies estudadas estavam presentes nas três áreas: uma plantação experimental e duas plantações pertencentes a agricultores da região. Os autores observaram que todas as áreas de plantio estudadas apresentaram níveis significativamente mais elevados de regeneração do sub-bosque quando comparadas as parcelas de controle sobre pastagens abandonadas. O guanandi foi uma espécie destaque quanto ao recrutamento da regeneração do sub-bosque nas parcelas do plantio experimental (com 69 indivíduos regenerantes por hectare). Quanto à abundância de espécies por altura (sendo classe 1: indivíduos com altura menor que 30 cm; classe 2: altura entre 30 cm e 2 metros e classe 3: altura maior que 2 metros), o guanandi teve maior regeneração de altura na classe 2 do que as outras espécies estudadas. Os

autores relatam que a biomassa da serapilheira, a abertura do dossel e as plantações são fatores explicativos para as diferenças de regeneração sub-bosque. Além disso, os resultados dessa pesquisa demonstram que a influência de regimes de desbaste em condições de luz do sub-bosque são importantes para a regeneração e substituir a estrutura do dossel, quanto à composição das espécies.

#### **2.4 Alteração dos parâmetros fisiológicos par avaliar o desempenho das plantas e adaptação a deficiência hídrica**

O contato entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes, uma vez que aumenta o volume de solo explorado. Os pelos radiculares aumentam essa superfície de contato com o solo e maximizam a capacidade de absorção de água. Além disso, a falta de água disponível para a planta estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas do solo, na busca por maior umidade (SANTOS e CARLESSO, 1998).

Assim, o alongamento da raiz juntamente com a expansão foliar são os aspectos primeiramente afetados pelo déficit hídrico (TAIZ e ZAIGER, 2009). Muitos processos fisiológicos são influenciados pela deficiência hídrica das plantas em períodos de seca. Em geral, observa-se o decréscimo na biomassa total e o aumento na razão sistema radicular e parte aérea, visando reduzir perdas de água por transpiração (KOZLOWSKI e PALLARDY, 2002). Dessa forma, a absorção da água do solo durante um período sem chuva acarreta um maior crescimento radicular, devido a busca das raízes por locais de maior umidade. Esse crescimento tem sido atribuído ao genótipo (O'TOOLE e BLAND, 1987) e ao ambiente (NOBEL e LEE, 1991).

As raízes apresentam mecanismos que permitem a manutenção do turgor celular e crescimento (SHARP e LENOBLE, 2002), além das alterações na arquitetura radicular pela emissão de ramificações lateral e hidrotropismo (ROBBINS II e DINNENY, 2015), ou seja, existe a detecção de água e o crescimento das raízes em direção a regiões do solo com maior disponibilidade hídrica e também de nutrientes (ROBINSON, 1996).

Na parte aérea, os efeitos do déficit hídrico geralmente levam a reduções da biomassa (ANJUM et al., 2011). Esta estratégia permite a redução do consumo

de carbono e energia, de modo que maior proporção de fotoassimilados da planta pode ser alocada ao sustento do crescimento radicular (KOZLOWSKI e PALLARDY, 2002).

O estado energético da planta é dado pela interação entre a demanda evaporativa da atmosfera, potencial de água no solo, distribuição do sistema radicular e processos fisiológicos (CLARK e HILER, 1973). Já a expansão foliar, bem como a abertura dos estômatos e outros processos pertinentes à fotossíntese, são diretamente comprometidos pela redução do potencial de turgescência da folha, uma vez que a capacidade da planta em conservar a turgescência foliar é uma grande adaptação ao déficit hídrico (JONES e TURNER, 1978; TAIZ e ZEIGER, 1991). A evolução das células estomáticas bem como da cutícula impermeabilizante foliar foram episódios que determinaram a evolução das plantas terrestres, garantindo a adaptação em ambientes secos e a sobrevivência das espécies, uma vez que estas estruturas atuam no balanço entre a captação de CO<sub>2</sub> e a perda de água (HETHERINGTON e WOODHARD, 2003; PETERSON et al., 2010).

Para Raven (2002), a manutenção do turgor nas células vegetais permite a continuidade dos processos de crescimento, expansão, divisão celular e a fotossíntese. Para isso, as plantas devem conservar o movimento da água do solo para a folha, o que é possível à pronta resposta estomática às alterações ambientais.

#### 2.4.1 Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), condutância estomática (gs) e temperatura da folha ( $T^{\circ}f$ )

Para crescer e se reproduzir, garantindo a sua perpetuação, as plantas necessitam adaptar-se as mudanças das condições ambientais, especialmente ao déficit hídrico. Muitas espécies de plantas têm evoluído os seus conjuntos de respostas, permitindo assim maior adaptação e resistência nos períodos em que estão submetidas a seca. Muitos parâmetros fisiológicos das plantas são estudados para avaliar o comportamento de uma espécie quando submetida ao estresse hídrico. Dentre eles cita-se o potencial hídrico da foliar ( $\Psi_{wf}$ ), o conteúdo relativo de água (CRA), a condutância estomática (gs) e a temperatura foliar.

Os estômatos são estruturas epidérmicas que modulam a troca gasosa entre uma planta e o seu ambiente (BERGMANN, et al., 2004). Para Casson e Hetherington (2010), os estômatos otimizam a troca gasosa e a perda de vapor de água, para se adaptar as condições ambientais. Para tanto, plantas abrem e fecham os poros

estomáticos e regulam o número de estômatos que se desenvolvem sobre as epidermes. Essas respostas são controladas por estímulos ambientais e hormonais. Coletivamente, estas estruturas melhoraram o desempenho da planta diante da disponibilidade de água (BERGMANN e SACK, 2007).

O funcionamento dos estômatos é afetado principalmente pelo potencial hídrico da folha, que é um indicativo do seu estado energético, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera. Desta forma, o valor do potencial de água indica a diferença entre o estado energético dela no sistema considerado e num estado de referência. No estado de referência, o potencial da água é considerado zero (LAMBERS et al., 1998).

Quando existe água disponível no sistema, a água da solução do solo é transportada para a planta e é liberada pelas folhas para a atmosfera. Todavia, quando ocorre o déficit hídrico no solo, a água perdida por transpiração não é repostada, ocasionando perda de turgor celular. É nesse momento que ocorrem os primeiros efeitos do déficit hídrico. No sistema radicular iniciam-se os processos que limitam a perda de água pela planta e minimizam possíveis danos (ROBBINS II e DINNENY, 2015). Segundo Bray (2001), também ocorre a redução da transpiração, bem como a diminuição da capacidade de absorção e assimilação de CO<sub>2</sub>, pois com a diminuição do potencial hídrico da folha os estômatos se fecham e as taxas fotossintéticas diminuem (COSTA e MARENGO, 2007). Desse modo, alguns autores adotam a condutância estomática como um indicador de estresse hídrico, relacionando-a com outros parâmetros da atividade fotossintética (FLEXAS et.al , 1998).

Oren *et al.*, (1999), citados por Costa e Marengo (2007), pressupõem que a condutância estomática diminui nos horários mais quentes, evitando que o potencial hídrico da folha atinja níveis críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água. O nível mínimo que o potencial hídrico pode atingir nesses horários de transpiração elevada depende de fatores genéticos e ambientais. Todavia, quando há baixa disponibilidade de água no solo, as plantas reduzem a perda de água reduzindo a condutância estomática. Além disso, quando o déficit de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha pode provocar o seu aquecimento de uma maneira que causa danos ao metabolismo da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Saraiva et al., (2014), em seu estudo sobre aclimação e fisiologia das mudas de guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras (azul, preto e vermelho), dentre vários parâmetros fisiológicos, analisaram a condutância estomática, no verão e outono. Observaram que no tratamento testemunha, ou seja, a pleno sol, a condutância estomática no verão foi maior ( $0,11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), diferindo estatisticamente dos outros tratamentos (telas foto-protetoras azul, vermelho e preta). No outono, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Porém, o tratamento a pleno sol no verão ( $0,11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) apresentou valores maiores e diferenças significativas quando comparado ao outono ( $0,07 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

#### 2.4.2 A luminosidade no estabelecimento as plantas

Fatores ambientais como a intensidade e qualidade da luz, umidade do ar, concentração de  $\text{CO}_2$ , *status* hídrico foliar e hormônios endógenos são captados pelos sensores das células-guarda e acarretam no movimento estomático (HETHERINGTON e WOODHARD, 2003). A luz estimula a abertura estomática através de duas vias, uma dependente da luz azul e outra da radiação fotossinteticamente ativa (ROELFSEMA et al., 2002).

A luminosidade é um dos fatores ambientais mais importantes para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas. Isso porque a luz é considerada uma fonte essencial de energia para o desenvolvimento dos vegetais verdes. Ela é importante para o processo fotossintético, responsável pela obtenção da energia utilizada nos processos vitais e reprodutivos dos vegetais. Assim, a qualidade e a intensidade dessa luz podem influenciar diretamente nas trocas gasosas, e nos processos e vias metabólicas nas plantas (COSTA e MARENCO, 2007).

A distribuição local das espécies em uma comunidade florestal é diretamente influenciada pelas diferenças luminosidade que condiciona os processos ligados ao crescimento das plantas (ENGEL, POGGIANI, 1990).. A diminuição dessa luminosidade influencia na radiação incidente, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), radiação líquida e na temperatura máxima foliar, a temperatura máxima do ar e a temperatura máxima do solo durante determinado período (GONÇALVES, 2012).

A importância de se estudar o efeito da luz no desenvolvimento das espécies arbóreas está muito relacionada ao ambiente em que vivem. Por exemplo, em um



ambiente aberto a variação da irradiância depende apenas da posição do sol, da passagem das nuvens, apresentando uma faixa de variação ao longo do dia. Já no sub-bosque, a intensidade luminosa depende também da estrutura do dossel, mantendo-se predominantemente baixa e difusa, com feixes de luz que passam pelas copas das árvores (CHAZDON *et al.*1996). Não só a intensidade luminosa é maior em áreas abertas mas também a luz incidente possui qualidade espectral diferente daquela sob o dossel fechado (CONDIT *et al.* 1995). Assim, em áreas abertas, há maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, que tem importância vital no desenvolvimento de plantas, sendo o principal fator de controle das variáveis microclimáticas (BROWN, 1993)

Melotto *et al.* (2009), avaliaram o efeito de diferentes intensidades do sombreamento natural na sobrevivência e no crescimento inicial de guanandi (*Calophyllum brasiliense*) e ipê roxo (*Tabebuia heptaphyla*) em um sistema florestal. 45 dias após o plantio, avaliaram sobrevivência, diâmetro do colo e altura das mudas. Observaram que o sombreamento natural influenciou positivamente a sobrevivência das duas espécies. Ressaltam ainda que as variáveis altura e diâmetro do colo não sofreram influências dos tratamentos, o que se deveu, provavelmente ao fato de as mudas não estarem completamente estabelecidas. Desta forma, concluíram que a sobrevivência do guanandi foi melhorada pela sombra, porém o crescimento não foi influenciado.

Saraiva *et al.* (2014), avaliaram parâmetros biométricos, bioquímicos e fisiológicos de mudas de guanandi cultivadas a pleno sol e sob 50 % de sombreamento. Os tratamentos foram: mudas sem tela de sombreamento (pleno sol), mudas cobertas com tela de sombreamento a 50% azul, vermelha e preta. Constataram que a pleno sol as mudas de guanandi tiveram melhor qualidade, mostrando que uma espécie considerada secundária apresentou um grande poder de aclimação e usou a grande quantidade de radiação para maximizar seu metabolismo.

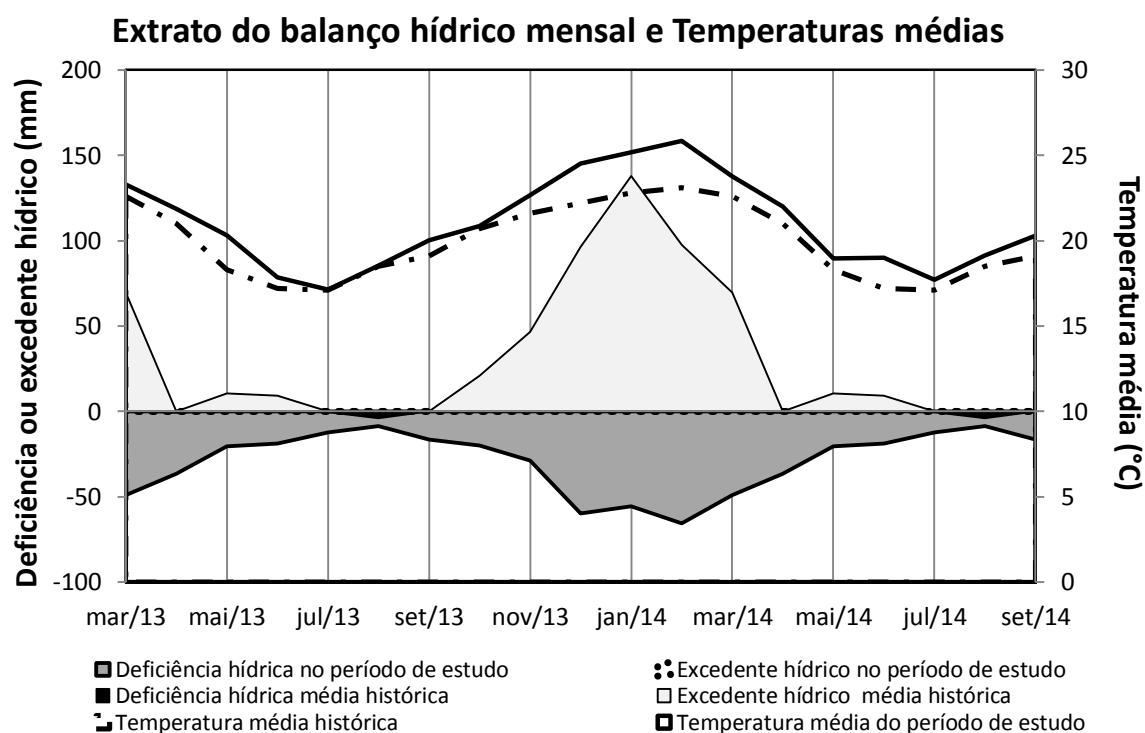
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Edgárdia, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *Campus* de Botucatu, São Paulo. A fazenda está localizada na Bacia do rio Capivara e se situa entre as coordenadas geográficas 22°47’30” e 22°50’ de longitude S e 48°26’15” e 48°22’ de longitude W, distante, aproximadamente a 8 Km da sede da fazenda. A vegetação original do município é classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual (IBGE, 1992).

O clima predominante em Botucatu, segundo Köppen, é do tipo Cfa: clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (janeiro), sendo a temperatura média anual é de 20,3 °C. A precipitação média anual é de 1.428,4 mm com a ocorrência de deficiência hídrica nos meses de abril, julho e agosto (CUNHA e MARTINS, 2009).

No período de estudo, o balanço hídrico apontou deficiência hídrica em todos os meses, não havendo excedente hídrico (Figura 1). Algo semelhante ocorre com os valores de temperatura média mensal que também superaram os valores médios históricos em todos os meses do período de estudo (Figura 1). O período de estudo mostrou-se completamente atípico, visto que o balanço hídrico histórico de Botucatu (1971-2006) apresenta apenas uma leve deficiência hídrica nos meses de julho e agosto.



**Figura 1.** Extrato do balanço hídrico normal mensal e temperaturas médias para ao período de estudo por Thornthwaite e Manther (1955), segundo dados meteorológicos fornecidos pela Estação Meteorológica da Fazenda Lageado – FCA/UNESP e dados meteorológicos mensais para o município de Botucatu, SP (CUNHA e MARTINS, 2009).

A área experimental está situado em um Latossolo vermelho-amarelo (LVA) álico, arenoso, de relevo plano a suave, a uma altitude de aproximadamente 540 m. O solo apresenta baixa fertilidade, sendo ácido e lixiviado. Em geral as parcelas diferiram pouco entre si quanto à fertilidade, um pouco superior no Bloco A (parcelas 1 e 2) (Tabela 1). Também as parcelas a pleno sol apresentaram tendência a soma de bases e CTC levemente maiores do que suas correspondentes parcelas do tratamento sob cobertura, embora não tenham sido feitos testes estatísticos para comprovar essas diferenças. O histórico de uso da área indica um antigo pomar de manga e nos pecã (décadas de 60 e 80), que foi abandonado e as áreas adjacentes destinadas ao pastoreio (NOGUEIRA JUNIOR, 2000).

**Tabela 1.** Características químicas do solo por parcela na profundidade de 0-20 cm para o ano de 2013.

| TRAT                             | BLOCO | pH<br>(CaCl <sub>2</sub> ) | M.O.<br>(g/dm <sup>3</sup> ) | Pres (mg/dm <sup>3</sup> ) | Al + <sup>3</sup> | H+Al | K   | Ca | Mg | SB | CTC |
|----------------------------------|-------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|------|-----|----|----|----|-----|
| _____mmolc/dm <sup>3</sup> _____ |       |                            |                              |                            |                   |      |     |    |    |    |     |
| S                                | A     | 4,4                        | 8                            | 5                          | ---               | 21   | 2,8 | 11 | 5  | 19 | 40  |
| P.S                              | A     | 4,6                        | 42                           | 7                          | ---               | 22   | 2,8 | 25 | 7  | 35 | 57  |
| S                                | B     | 4,6                        | 12                           | 5                          | ---               | 19   | 1,7 | 13 | 4  | 18 | 37  |
| P.S                              | B     | 4,5                        | 10                           | 7                          | ---               | 19   | 1,9 | 16 | 4  | 22 | 42  |
| S                                | C     | 4,4                        | 9                            | 4                          | ---               | 19   | 1,8 | 10 | 3  | 15 | 33  |
| P.S                              | C     | 4,6                        | 12                           | 5                          | ---               | 17   | 1,2 | 12 | 3  | 17 | 34  |

LEGENDA: TRAT = tratamento; MO = matéria orgânica; Pres = fósforo; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica.

## 1.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em blocos ao acaso com dois tratamentos e três repetições (Figura 2).



**Figura 2.** Imagem aérea do arranjo dos sistemas de plantio sombreado (S) e a pleno sol (P.S) na Fazenda Edgardia. Fonte: Imagem do Google Earth, 2008.

O espaçamento adotado para o plantio das mudas de guanandi foi de 3 x 2 m, com 30 indivíduos por parcela. As análises foram feitas por meio de Teste t pareado com medidas repetidas (indivíduos dentro do fator blocos).

Os tratamentos testados foram sombreado e a pleno sol (Figura 3).



**Figura 3.** Vista dos sistemas de plantio sombreado (A) e a pleno sol (B).

#### *Características dos tratamentos:*

a) Sistema sob cobertura (sombreado): plantio em parcelas de um antigo experimento de restauração ecológica usando um sistema agroflorestal tipo “Taungya” modificado. O plantio foi instalado em 1998, usando 20 espécies arbóreas alocadas em linhas triplas, sendo 2 linhas com espécies de rápido crescimento e uma linha interna com espécies de crescimento lento. Entre cada conjunto de linhas triplas foi deixada inicialmente uma faixa de 5 m para culturas anuais, que após o sombreamento foram abandonadas. Nesse sistema, as parcelas foram implantadas em 1998 como parte de um experimento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Cada unidade experimental tem uma área de 250 m<sup>2</sup> (50m x 50m). A maioria das espécies de crescimento lento originalmente plantadas não sobreviveram, e as parcelas tinham um grande predomínio de espécies de crescimento rápido, principalmente leguminosas, tais como angico-amarelo (*Anadenanthera macrocarpa*), Ingá (*Inga uruguensis* e *Inga laurina*), canafístula (*Peltophorum dubium*), Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*), sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia*), dentre outras.) As mudas de guanandi foram plantadas em espaçamento regular (3x2m), com densidade de 1.666 ind/ha;

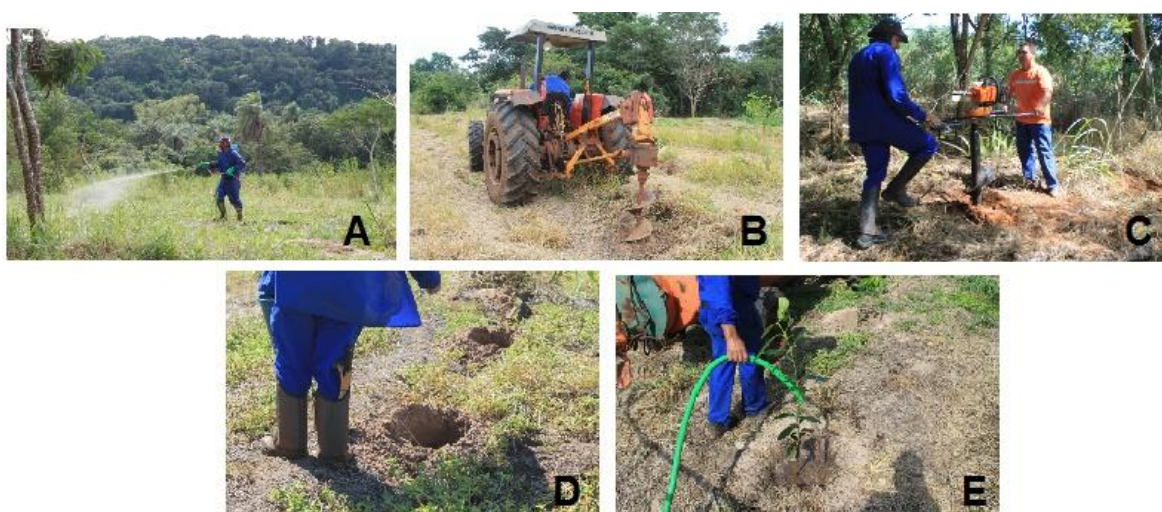
b) Sistema a pleno sol: com parcelas alocadas nas áreas controle do antigo experimento, e ocupadas por pasto de braquiária (*Brachiaria* sp – Poaceae). Nessas parcelas a densidade de plantio também foi 1.666 ind/ha.

### 3.3 Preparo da área, plantio e manutenção – ampliação das fotos, data de aplicação hidrogel

O preparo do solo foi feito com cultivo mínimo, através do coveamento com motobroca acoplada a trator, no caso das parcelas a pleno sol, e motobroca manual, no caso das parcelas sombreado (Figura 4). Antes do plantio, o controle da braquiária foi feito com roçadeira costal e sempre que necessário, no decorrer da pesquisa. O controle de pragas, especialmente formigas foi realizado com iscas.

As mudas de guanandi foram cedidas pela empresa Tropical Flora, com sede em Garça/SP. Ficaram alocadas no Viveiro de São Manuel da FCA/UNESP e transplantadas de tubetes para vasos até a época do plantio. Assim, tinham melhor condições de crescimento. No momento do plantio as mudas tinham em média 0,96 cm de altura e 12 mm de diâmetro da base. O plantio ocorreu em março de 2013.

Após abertas as covas, foi incorporado ao solo 80 g/cova de NPK 8 – 28 -16. Assim que plantadas, realizou-se a irrigação localizada. No mês seguinte, em abril de 2013, fez-se a aplicação de 100ml hidrogel/planta, visando melhorar a retenção de umidade do solo. Na manutenção do plantio ao longo do experimento, foi realizado o controle de formigas, irrigação nos períodos em que não houve precipitação por mais de 15 dias e aplicação de hidrogel a cada dois meses, especialmente nos meses com precipitação baixa. A primeira aplicação do hidrogel foi logo após o plantio, ainda em maio de 2013. As demais ocorreram nos meses de julho, setembro e dezembro de 2013.



**Figura 4.** Sequência de imagens do preparo das áreas ao plantio. Legenda: A: controle do mato para a instalação do experimento; B: perfuração do solo nas parcelas a pleno sol; C: perfuração do solo nas parcelas sombreadas; D: adubação pré-plantio; E: irrigação da



### 3.4 Coleta e análise de dados

As avaliações foram realizadas de maio de 2013 até setembro de 2014.

Para caracterizar o meio físico foram coletados os seguintes dados:

a) microlima: para obtenção dos dados de temperatura máxima e umidade mínima do ar, foi instalado em cada parcela um termohigrômetro digital (Marca Instrutherm – Modelo: HT 210) (Figura 5a). As medições foram registradas a cada três meses (setembro e dezembro de 2013 e março e junho de 2014), durante três dias consecutivos, das 11:00 às 12:00.

b) temperatura do solo: foi realizada juntamente com as coletas de microclima, nas mesmas datas. Usou-se um termômetro do tipo espeto (Marca Instrutherm – Modelo TE 400), das 11:00 às 13:00 para aferir a temperatura do solo numa profundidade de 0-20cm (Figura 5b). O monitoramento foi realizado por três dias consecutivos, computando-se a média por parcela dos três dias. Para todas as épocas de medição, foi realizado o cálculo de parâmetros descritivos da temperatura média do solo (média e desvio padrão).



**Figura 5.** Monitoramento da temperatura do solo (A) e microclima (B)

c) umidade do solo: foi quantificada nos meses de setembro de 2013 e março de 2014. Coletaram-se seis amostras de solo por parcela, em duas profundidades: 0-20 cm e 20-40 cm, com uso de trado metálico. A coleta do solo foi realizada respeitando um período de pelo menos sete dias sem chuva. Assim que coletadas, as amostras foram pesadas e posteriormente condicionadas em estufa a 105°C até peso constante. Desta forma, o teor de água foi determinado por meio do método gravimétrico e a

umidade do solo expressa em valores percentuais. Verificou-se por meio do teste t se houve diferença significativa entre os tratamentos e profundidades.

d) índice área foliar (IAF) das parcelas sombreado e radiação fotossinteticamente ativa (RFA): foram estimados com um equipamento interceptômetro ACCUPAR model LP-80, onde coletou-se os dados em 6 pontos no interior de cada parcela e em 2 pontos fora das parcelas, sendo um ponto antes e um depois das medições no interior. As medições foram efetuadas a cada seis meses, entre as 11:30 e 12:30. Compararam-se a média das variáveis entre os tratamentos pelo teste t para amostras dependentes, pois as amostras são não pareadas

### *Crescimento das plantas*

Foi mensurada a altura (H) de cada indivíduo com auxílio de uma régua graduada, medindo-se da base do solo até a inserção do último par de folhas. O diâmetro na altura do colo (DAC) foi mensurado com um paquímetro digital. Ambas as medições foram realizadas no momento do plantio, em março de 2013 e no término da pesquisa, em setembro de 2014.



**Figura 6.** Medição da altura (A) e diâmetro do colo das plantas (B)

### *Avaliação da sobrevivência*

Para quantificar a sobrevivência das plantas fez-se uma avaliação visual do estado de cada uma, sendo considerada morta aquela planta que apresentasse a seca de todas as folhas. Também raspou-se a base do caule para verificar se a entrecasca ainda mantinha-se verde para confirmar a morte da planta. As avaliações de campo foram realizadas a cada quatro meses, iniciando em maio/2013 e terminando em setembro/ 2014. Assim, pela diferença de plantas vivas em duas avaliações subsequentes, obteve-se o



número de indivíduos sobreviventes por parcela em cinco períodos: 2, 6, 10, 14 e 18 meses após o plantio.

De posse dessas informações de sobrevivência, foi calculada a estimativa do risco relativo (RR) através de um modelo logístico. Este modelo representa um relação linear entre as variáveis independentes (tratamentos) e a variável dependente (logaritmo da razão das probabilidades de sobreviver e de não sobreviver no intervalo  $t$ ). Desse modo, a interpretação da estimativa do risco relativo foi feita calculando a exponencial do coeficiente estimado ( $\text{Exp}(\beta)$ ). O ajuste do modelo foi feito pelo método de máxima verossimilhança e foi utilizado o pacote survival do programa R (COLOSIMO e GIOLO, 2006).

### *Análises fisiológicas*

Para avaliar a resposta fisiológica das plantas sobreviventes, analisaram-se os parâmetros:

a) Condutância estomática ( $g_s$ ) e temperatura da folha ( $T^{\circ}f$ ): Para as análises de condutância estomática e temperatura da folha usou-se o porômetro (Leaf Promoter Modelo SC – 1; DECAGON DEVICES, EUA). Este equipamento permite conhecer além da temperatura da folha, a umidade e temperatura do ambiente, a pressão de vapor do ambiente e a condutância estomática da folha. Pode ser utilizado para medir o estresse hídrico da planta, o uso de água pela planta e seu balanço hídrico bem como nas pesquisas referentes as funções estomáticas.

Para tanto, foi selecionado um par de folhas na altura intermediária das plantas sobreviventes, usando como critério a sua completa emissão e expansão, desta forma não foi selecionado nem folhas jovens nem folhas velhas, buscando padronizar as coletas. As leituras foram realizadas entre as 9:00h e 11:00h.

b) Potencial hídrico da folha ( $\Psi_{wf}$ ) e conteúdo relativo de água (CRA): foram realizadas duas análises no decorrer do dia, sendo uma antes do amanhecer e outra ao meio dia. Na altura intermediária das plantas foi coletado um par de folhas, completamente emitida e expandida, que foram armazenadas em potes plásticos e alocadas em bolsa térmica para evitar a desidratação. No laboratório, usou-se um equipamento para analisar o potencial de água com controlador de temperatura WP4-T (DECAGON

DEVICES, EUA) para obter o potencial hídrico foliar. O conteúdo relativo de água (CRA) foi avaliado no par de folhas do mesmo ramo. Para isso, cortou-se uma parte das folhas coletadas, resultando em fragmento de 6cm<sup>2</sup> e analisados segundo o método de Elsheery e Cao (2008), determinando-se o CRA% de acordo com Smart e Bingham (1974).

Tanto para análise da condutância estomática quanto para a análise do potencial hídrico foliar, compararam-se as variáveis: “momento de medição (6h e 12h)” entre os tratamentos sombra e pleno sol, pelo teste t. Para verificar se havia diferença entre os tratamentos (pleno sol e sombra) nos parâmetros avaliados (CRA e  $\Psi_{wf}$ ) nos dois momentos de medição (6h e 12h), usou-se o teste de Mann-Whitney devido à heterocedasticidade dos dados.

## 4.RESULTADOS

### 4.1Caracterização das parcelas de estudo

Em setembro de 2013, no sistema sombreado, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) atingiu  $769,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (desvio padrão = 5,98) e o Índice de Área Foliar (IAF) foi de 1,6 (desvio padrão = 0,19). Já em março de 2014, a RFA foi de  $336,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (desvio padrão = 8,25) e o IAF 3,8 (desvio padrão = 0,77). Nas parcelas a pleno sol, em setembro a radiação fotossinteticamente ativa variou de  $2068,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (desvio padrão = 0,22) a  $1895,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (desvio padrão = 0,41), em março de 2014. Estes valores representam o máximo de RFA para as datas de coleta desses dados, uma vez que nas parcelas a pleno sol não existia a interceptação de radiação pelo dossel, por se tratar de uma área aberta.

Houve diferença significativa entre os tratamentos e entre as datas de coleta de dados para RFA. A RFA apresentou valores 2,65 vezes maior em setembro de 2013 e 5,58 vezes maior em março de 2014 nas áreas a pleno sol, em comparação com as parcelas sombreadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comparação entre as Médias da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA%) obtida em setembro de 2013 e março de 2014 para os tratamentos sombreado e pleno sol, pelo Teste de t para amostras independentes

| Análises | Datas  | TRAT | N | Média dos tratamentos | Desv. Pad | Erro Padrão | p-valor | Dif Média | DP das Dif |
|----------|--------|------|---|-----------------------|-----------|-------------|---------|-----------|------------|
| RFA %    | set/13 | S    | 3 | 38                    | 5,98      | 3,45        | <0.001  | -62,08    | 3,45       |
|          |        | P.S  | 3 | 99                    | 0,22      | 0,13        |         |           |            |
|          | mar/14 | S    | 3 | 18                    | 8,25      | 4,76        | 0,003   | -82,34    | 4,77       |
|          |        | P.S  | 3 | 100                   | 0,41      | 0,23        |         |           |            |

LEGENDA: RFA% = radiação fotossinteticamente ativa; TRAT = tratamento; S = sombreado; P.S = pleno sol; N = número de repetições repetições de cada tratamento (blocos); IC = intervalo de confiança; LI = limite inferior ; LS= limite superior

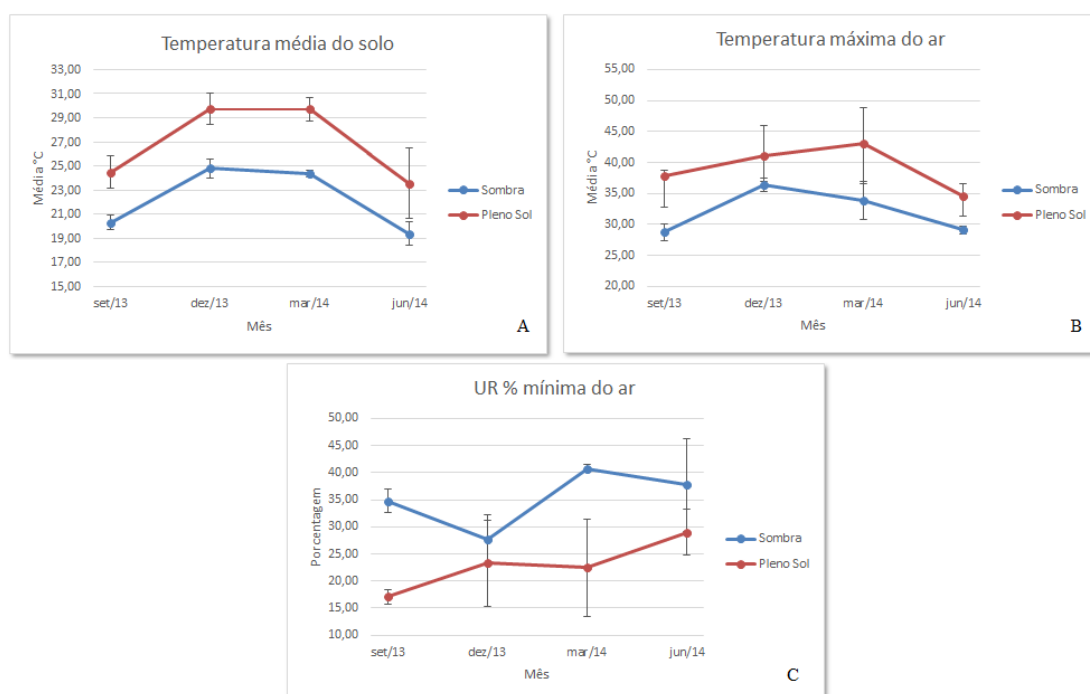
## 4.2 Diferenças de microclima e meio físico entre os tratamentos

### a ) Temperatura máxima do ar, umidade relativa mínima do ar e temperatura média do solo

Para a temperatura média do solo, não houve diferença entre os tratamentos para a coleta realizada no mês de junho de 2014. Nos demais meses a temperatura média do solo foi maior no tratamento a pleno sol. Para a umidade mínima do ar não houve diferença entre os tratamentos nem em dezembro de 2013, nem em junho de 2014, ao passo que nos demais meses a umidade mínima do ar foi maior nas parcelas sombreadas. Quanto a temperatura máxima do ar, não houve diferença entre os tratamentos para dezembro de 2013 e março de 2013. Já para setembro de 2013 e junho de 2014 a temperatura máxima do ar foi mais elevada nos tratamentos a pleno sol (Tabela 3 e Figura 7).

**Tabela 3.** Valores obtidos pelo teste t e p-valor de cada parâmetro avaliado nos quatro meses de coleta de dados nos dois tratamentos

| MICROCLIMA     | PARCELAS  | teste t |        |        |        | p-valor |        |        |        |
|----------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
|                |           | set/13  | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/13  | dez/13 | mar/14 | jun/14 |
| T°C MÉDIA SOLO | Sombra    | -4,950  | -5,551 | -9,157 | -2,375 | 0,008   | 0,005  | 0,001  | 0,076  |
|                | Pleno Sol |         |        |        |        |         |        |        |        |
| UR% MIN AR     | Sombra    | 11,690  | ,815   | 3,546  | 1,594  | 0,000   | 0,461  | 0,024  | 0,186  |
|                | Pleno Sol |         |        |        |        |         |        |        |        |
| TEMP MAX DO AR | Sombra    | -9,436  | -1,599 | -2,499 | -4,373 | 0,001   | 0,185  | 0,067  | 0,012  |
|                | Pleno Sol |         |        |        |        |         |        |        |        |

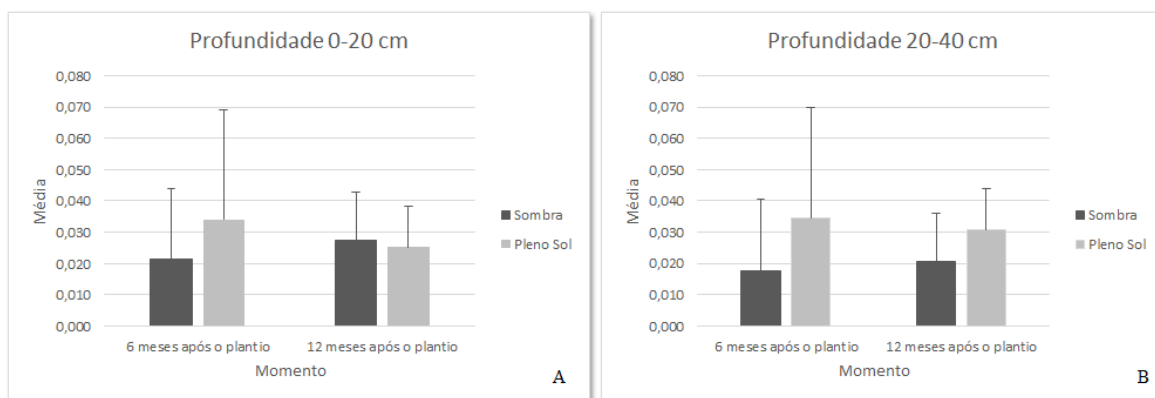


**Figura 7.** Gráficos com os valores médios e desvio padrão (barras) da temperatura média do solo (A), temperatura máxima do ar (B) e umidade relativa mínima do ar (C) nas parcelas sombreadas e pleno sol nas quatro épocas de coleta de dados.

## b) Umidade do solo

As parcelas sombreadas diferiram das parcelas a pleno sol nas análises realizadas 6 meses após o plantio (teste t = -2,173; p-valor = 0,033), bem como 12 meses após o plantio (teste t = -2,594; p-valor = 0,012), tendo estas últimas maior umidade que as sombreadas. Já em relação as profundidades testadas, apenas na análise realizada 12

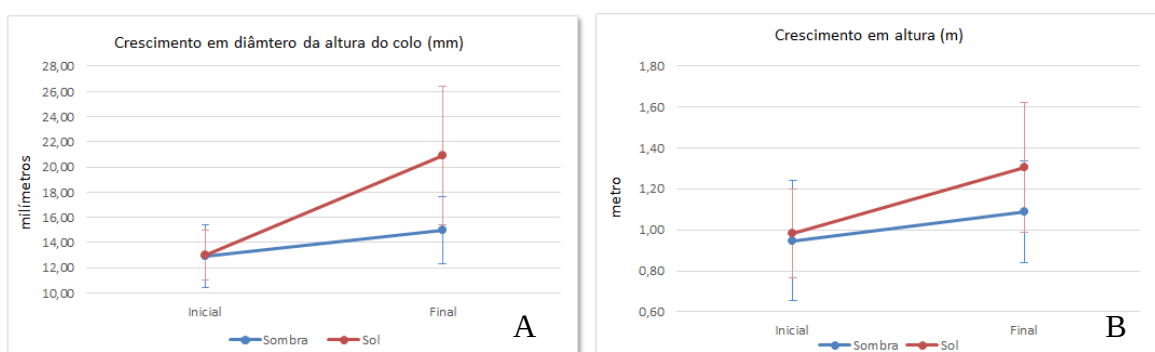
meses após o plantio do sistema sombreado, houve diferença entre as duas profundidades testadas (teste  $t = 2,226$ ;  $p\text{-valor} = 0,029$ ) (Figura 8).



**Figura 8.** Média de umidade do solo nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B) dos tratamentos 6 e 12 meses após o plantio. Barras representam o desvio padrão

### 4.3 Crescimento e sobrevivência das plantas

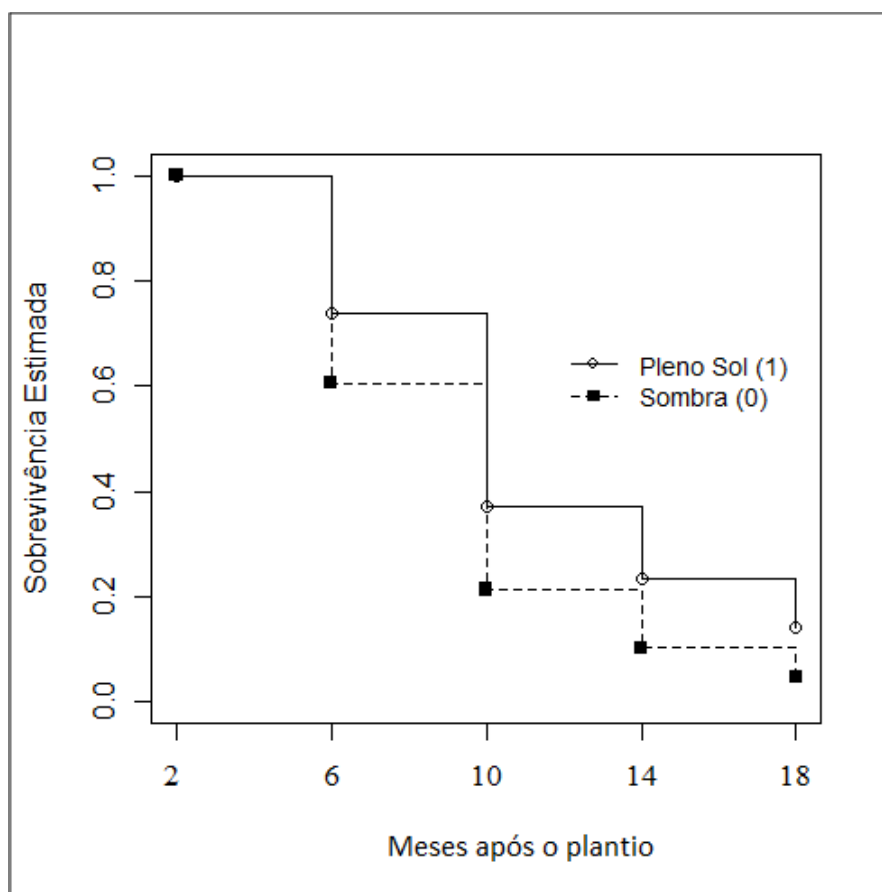
As mudas dos dois tratamentos não diferiram nem quanto à altura (teste  $t = 0,276$ ;  $p\text{-valor} = 0,785$ ) nem quanto ao diâmetro na altura do colo – DAC (teste  $t = -0,105$ ;  $p\text{-valor} = 0,917$ ) na primeira medição, que se deu logo após o plantio, ou seja, havia uma homogeneidade desses parâmetros em ambos os tratamentos. Porém, apenas o DAC (teste  $t = -2,771$ ;  $p\text{-valor} = 0,012$ ) entre os tratamentos no momento final do experimento (Figura 11), sendo significativamente maior no tratamento a pleno sol (Figura 9).



**Figura 9.** Crescimento médio das plantas em diâmetro na altura do colo (mm) (A) e em altura (m) (B) nos dois sistemas (pleno sol e sombreado), desvio padrão indicado pelas barras.

Os fatores testados indicaram que o risco de mortalidade para as plantas de *Calophyllum brasiliense* do tratamento sombreado foi de 1,85 vezes maior do que o risco de uma planta sob pleno sol ( $\beta = 0,617$  ;  $p\text{-valor}=0,005$ ).

As taxas de sobrevivência foram muito baixas após um ano no tratamento a pleno sol, e nulas no tratamento sombreado (Figura 10).

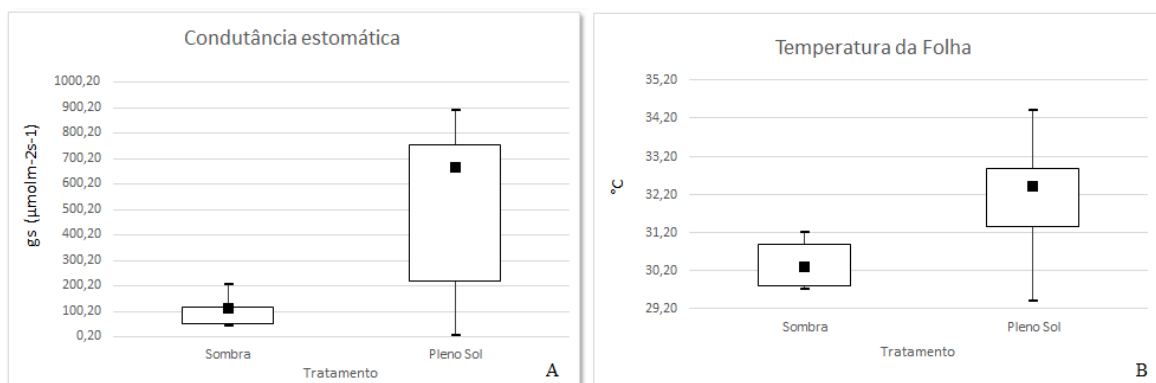


**Figura 10.** Sobrevivência das plantas por tratamento aos 2, 6, 10, 14 e 18 meses após o plantio

#### 4.4 Parâmetros ecofisiológicos

##### a) Condutância estomática e temperatura da folha

Os valores médios de condutância estomática, obtidos pelo Teste de Mann-Whitney (Figura 11) diferiram entre os tratamentos de sombra e pleno sol (teste  $z = -2,834$ ;  $p\text{-valor}=0,005$ ), sendo que as plantas do tratamento a pleno sol exibiram um valor médio de até 5 vezes superior ( $554,86 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) do que as plantas do tratamento de sombra ( $101,86 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).



**Figura 11.** Gráficos da condutância estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A) e da Temperatura da folha (B) dos tratamentos de sombra e pleno sol, no Teste de Mann-Whitney: mediana (quadrados grandes brancos); quartis (quadrados pequenos pretos); máximos-mínimos (indicado pelas barras), com  $p\text{-valor}=0,005$ , indicando que há diferença entre os tratamentos.

A variável temperatura foliar (obtidos pelo Teste de Mann-Whitney), também exibiu diferença significativa entre os tratamentos (teste  $z = -3,023$ ;  $p\text{-valor}=0,002$ ). As plantas do tratamento sombreado apresentaram temperatura foliar média menor do que as plantas a pleno sol, com  $30,39^{\circ}\text{C}$  e  $32,23^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Além disso, a temperatura das folhas a pleno sol variou mais (maior desvio padrão) do que nas parcelas sombreadas (Figura 14).

#### b) Conteúdo relativo de água (CRA) e Potencial hídrico foliar ( $\Psi_{wf}$ )

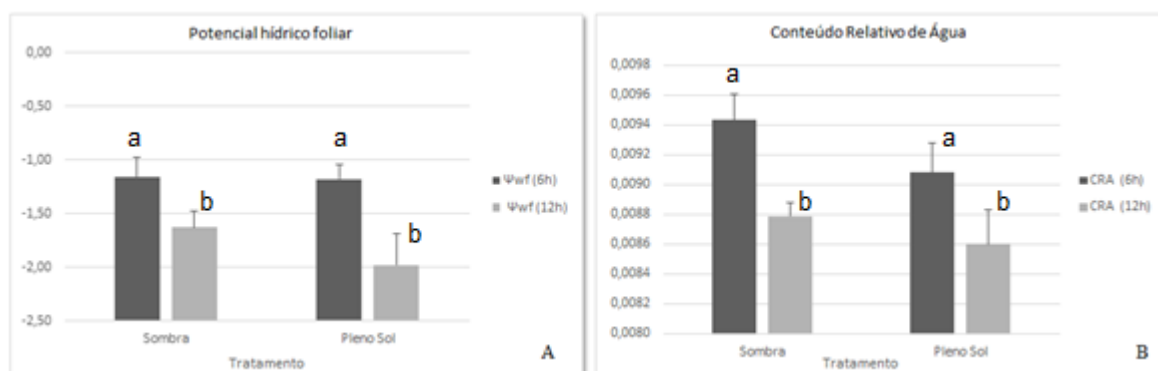
Na comparação dos tratamentos pleno sol e sombra, o Conteúdo relativo de água (CRA) e Potencial hídrico foliar ( $\psi_{hf}$ ) apresentaram diferenças significativas nos dois horários de medição (Tabela 4).

**Tabela 4.** Comparação dos valores médios entre os horários de medição pelo teste t para amostras dependentes para os dois tratamentos.

| TRATAMENTOS | PARÂMETROS        | t    | p-valor |
|-------------|-------------------|------|---------|
| Sombreado   | $\psi_{hf}$ (6h)  | 3,16 | 0,019   |
|             | $\psi_{hf}$ (12h) |      |         |
|             | CRA (6h)          | 3,13 | 0,020   |
|             | CRA (12h)         |      |         |
| Pleno Sol   | $\psi_{hf}$ (6h)  | 3,14 | 0,008   |
|             | $\psi_{hf}$ (12h) |      |         |
|             | CRA (6h)          | 2,66 | 0,020   |
|             | CRA (12h)         |      |         |



O CRA diferiu nos dois tratamentos e nas duas medições sendo maior na medição das 6h do que na medição das 12h. O  $\psi_{hf}$  também diferiu nos dois tratamentos e nas duas medições, porém foi mais negativo às 12h em comparação com às 6h (Figura 12).



**Figura 12.** Valores médios do potencial hídrico da folha ( $\psi_{hf}$ ) (A) e do Conteúdo relativo de água (CRA) (B) nos dois tratamentos e em dois horários de medição, barras representam o desvio padrão e as letras minúsculas (a,b) indicam diferenças estatísticas entre os horários de medição para cada tratamento.

## 5.DISSCUSSÃO

O tratamento a pleno sol se destacou do tratamento sombreado por apresentar maior sobrevivência das mudas, ainda que a mortalidade tenha sido alta em ambos os tratamentos. A temperatura elevada do ar combinada com a baixa precipitação durante o período de estudo, são fatores que podem ser apontados como causadores da elevada mortalidade. Através do extrato do balanço hídrico observou-se que a precipitação média do período em estudo foi inferior a precipitação média histórica, não havendo um excedente hídrico em nenhum momento de março de 2013 a setembro de 2014. Aliado a isso, os valores de temperatura média mensal superaram os valores médios históricos em todos os meses do período de estudo. Essa combinação implicou diretamente na taxa de mortalidade das plantas dos dois tratamentos.

Quanto às taxas mais elevadas de mortalidade das plantas das parcelas sombreadas, supõe-se que seja devido à competição radicular com as árvores adultas que compunham este tratamento. O solo mais úmido no tratamento a pleno sol surpreendeu, já que as condições atmosféricas e microclimáticas foram mais favoráveis no tratamento sombreado. Justamente por isso, acredita-se que as raízes das plantas adultas que compunham o tratamento sombreado estavam bem desenvolvidas e exploravam um volume maior de solo, conseguindo extrair uma quantidade de água maior e a uma velocidade também superior, quando comparada as plantas de guanandi. Enquanto que nas áreas a pleno sol, sem cobertura arbórea estabelecida, além de ter uma menor área foliar, as gramíneas possuíam raízes mais superficiais e com menor biomassa, tendo, portanto, menor evapotranspiração e menor capacidade de extrair água do solo. Nesse caso, as

plantas de guanandi tinham maior facilidade em penetrar no solo, absorver nutrientes e água, garantindo melhor desempenho da espécie testada nesse tratamento.

Alguns estudos apontam para maior mortalidade das plantas no tratamento sombreado, como é o caso do estudo realizado na África Ocidental por Veenendaal et.al (1995), onde observou-se que somente 7% das mudas de *Terminalia superba* e 4% de *Entandrophragma utile* sobreviveram à estação seca na sombra da floresta, enquanto que na área aberta a sobrevivência foi de 85% e 78%, respectivamente. Essa mortalidade mais elevada em áreas sombreadas foi atribuída ao fato de que plantas que crescem na sombra tendem a apresentar um sistema radicular mais reduzido e na camada mais superficial do solo, uma vez que recebem menos luminosidade. Além disso, os autores relacionam a mortalidade do sub-bosque com a competição radicular mais densa quando comparada com áreas abertas. Nos sub-bosque existem plantas já estabelecidas com raízes ocupando uma área considerável do solo, estando disponível para as mudas das espécies testadas, uma área menor do solo a ser explorada (VEENENDAAL et al., 1995). Outro trabalho que pesquisou o estabelecimento e crescimento de plantas jovens de *Vochysia tucanorum* em área aberta e sombreada sob dossel florestal aponta que a maior taxa de mortalidade ocorreu na sombra em condições de estresse hídrico, o que segundo o autor é um indicio de que a escassez de água é o fator determinante na mortalidade das plantas juntamente com a menor disponibilidade de luz (RONQUIM et al., 2013).

Valores elevados de mortalidade também foram registrados por Oliveira (2015), na mesma área e no mesmo período do presente trabalho, quando estudou o desempenho ecofisiológico de mudas de *Euterpe edulis* Martius de diferentes estádios de desenvolvimento. Em sua pesquisa, a espécie estudada apresentou altas taxas de mortalidade tendo como principais causas o déficit hídrico e condições de temperatura elevada. Além disso, o autor ressalta que tais condições severas do meio físico aliados aos resultados ecofisiológicos, justifica o fato das plantas não apresentarem taxas de crescimento positivas em altura e diâmetro a altura do colo, bem como alterações significativas na área foliar.

Com relação aos parâmetros de temperatura máxima do ar e a umidade relativa mínima do ar observou-se que não tiveram tanta variação ao longo dos dias, como ocorreu a pleno sol, destacando a importância da cobertura do dossel no controle microclimático, uma vez que provoca a diminuição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e influencia diretamente na temperatura e umidade do ar.

As plantas dos tratamentos a pleno sol também se destacaram por apresentarem maior crescimento em altura e em diâmetro na altura do colo das plantas, além de melhores taxas de sobrevivência como já foi descrito. Resultados semelhantes foram descrito por Duffecky e Fossati (2009), onde as mudas do tratamento a pleno sol apresentaram crescimento maior em diâmetro. Saraiva et al. (2014) explicaram que isso pode ter ocorrido porque a maior disponibilidade de insolação favorece o crescimento cambial. Uma vez que os processos mitóticos e de crescimento das células cambiais são processos ativos, com grande consumo de carboidratos provenientes da fotossíntese, sendo a atividade cambial é muito dependente do fator luz (KRAMER e KOZLOWSKI, 1960). Além dos fatores exógenos (água, luz, temperatura, vento, posição da planta) a atividade cambial também é influenciada por fatores endógenos (hormônios, carboidratos, posição do câmbio, etc) que na maioria da vezes atuam sinergicamente.

Os valores superiores da condutância estomática nas plantas do tratamento a pleno sol (até 5 vezes superior ao das plantas do tratamento de sombra) também podem indicar que as plantas sombreado estariam sob um regime de restrição hídrica do solo mais forte e com maior competição por água com as plantas adultas, já estabelecidas. Para Roeldsema e Hedrich (2005), a maior intensidade luminosa estimula a abertura dos estômatos, justificando o que aconteceu nas parcelas a pleno sol, ao passo que o déficit hídrico induz o fechamento estomático mediante sinalização das raízes (CHAVES et al., 2009; MA et al. 2015), o que foi observado nas parcelas sombreadas.

O fechamento estomático também ocorre em função da redução da umidade relativa do ar, que influencia a turgescência das células-guardas, enquanto que o aumento da quantidade de luz influencia positivamente nas mudanças do número de estômatos (CASSON e HETHERINGTON 2010). Para Moraes et al. (2003), o sombreamento causa a redução do número de estômatos, redução na espessura do mesófilo foliar e redução dos espaços intracelulares, fatores estes que se relacionam com a fotossíntese. Alvarenga et. al (2003) verificaram que, em *Croton urucurana*, as maiores taxas fotossintéticas ocorreram em plantas jovens cultivadas em níveis mais elevados de irradiância. Os dados do trabalho de Ramos e Grace (1990) corroboram com os resultados da presente pesquisa, uma vez que os autores, trabalhando com grupos de espécies tolerantes e sensíveis à sombra, observaram maiores valores de condutância estomática em plantas tolerantes a sombra cultivadas a pleno sol. Resultados semelhantes foram

encontrados por Piel *et al.* (2002), que verificaram que plantas de *Juglans regia* cultivadas a pleno sol também apresentaram maiores taxas de fotossíntese e condutância estomática.

Sobre a adaptação do guanandi, ainda que seja relatado por alguns autores que a espécie se adapte bem a uma variedade de habitats, ela apresenta melhor desempenho em áreas úmidas, sendo relatado por Salvador *et.al* (1992) um bom crescimento e mortalidade quase desprezível em solos periodicamente úmidos e inundáveis, até solos permanentemente encharcados ou brejosos. Oliveira e Joly (2010) apontam para mecanismos adaptativos que influenciam na sobrevivência do guanandi em condições de solo alagado, como a hipertrofia de lenticelas na base do caule, aumento do diâmetro basal e desenvolvimento de raízes adventícias.

Destaca-se então, que a maior umidade do solo a pleno sol, apesar de maiores temperaturas do ar e do solo e menores umidades relativas do ar neste ambiente, sugere que a competição radicular e a ocupação do solo pelas raízes das plantas sombreadas sejam as mais prováveis causas de insucesso do sistema sombreado. A alta mortalidade das plantas, especialmente após janeiro de 2014, indica que a espécie é bastante sensível a mudanças climáticas, principalmente a ocorrência de secas mais prolongadas ou fora de época. Se essas mudanças climáticas, como alteração dos níveis de chuva e temperatura, tendem a se tornar mais intensas com o tempo podemos esperar ainda possíveis mudanças quanto à dispersão e ocorrência da espécie, e alterações nas populações em seus habitats naturais, e isso pode ser um fator bastante limitante ao seu cultivo em larga escala, por impor grandes riscos.

## 6.CONCLUSÃO

Nossa hipótese inicial do estudo não se confirmou. Embora seja uma espécie capaz de se regenerar no interior da floresta, em condições de sombra e alta umidade, o guanandi apresentou maior crescimento (em diâmetro) nas parcelas a pleno sol, bem como reações mais positivas ao estresse com maior sobrevivência a pleno sol. Este padrão pode ser atribuído à alta sensibilidade da espécie ao déficit hídrico do solo, conferindo baixa capacidade competitiva das mudas introduzidas em sistema sombreado, onde as árvores já estabelecidas consomem mais água do solo do que as gramíneas do sistema a pleno sol.

As altas temperaturas aliadas à baixa umidade relativa do ar e baixos índices de chuva mostraram-se um desafio à sobrevivência e estabelecimento das plantas. Devido a essas condições ambientais rigorosas não surpreende o fato das plantas não apresentarem boas taxas de sobrevivência, e mesmo de crescimento em altura e diâmetro a altura do colo. A somatória desses fatores ambientais acarretou um panorama bastante desfavorável para o estabelecimento das plantas nas áreas testadas.

No entanto, os diferentes modelos de plantio (tratamento sombreado e tratamento a pleno sol) diferiram na capacidade de resposta aos efeitos dos extremos ambientais: baixa precipitação, elevadas temperaturas e suposta competição radicular entre as plantas de guanandi e as árvores adultas das parcelas sombreadas. Essa combinação de fatores resultou na maior probabilidade de sobrevivência para plantas de *Calophyllum brasiliense* cultivadas no tratamento a pleno sol, em relação ao sistema sob cobertura.

Embora o sistema silvicultural a pleno sol tenha se mostrado mais favorável à sobrevivência e crescimento da espécie, não se descarta a possibilidade de plantios

de enriquecimento sob cobertura, principalmente se o objetivo for a restauração ecológica. Neste caso, o desempenho da espécie em solos mais férteis, argilosos e com maior capacidade de retenção de água, bem como em ambientes ripários (matas ciliares e matas de brejo) ainda merece ser testado.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, 2013.

ALVARENGA, A. A. et al. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. In southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 53-57, 2003.

ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 6, p. 2026-2032, 2011.

BERGMANN, D. C.; LUKOWITZ, W.; SOMERLEVILLE, C. H. Stomatal development and pattern controlled by a MAPKK Kinase. **Science**, Washington, v. 304, p. 5676, 2004.

BERGMANN, D. C.; SACK, F. G. Stomatal development. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 163-181, 2007.

BROWN, N. The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 9, p. 153-168, 1993.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potenciais e uso da madeira**. Curitiba: Embrapa-CNPq, 1994. p. 572.

CARVALHO, P. E. C. Espécies arbóreas brasileiras. **Embrapa Florestas**, Brasília, DF, v. 1, p. 487-494, 2003.

CASSOLA, H. **Aspectos da estrutura fitossociológica e silvigenética em fragmentos de floresta estacional semidecídua com diferentes histórias de perturbação em Botucatu, SP**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais/Conservação de Ecossistemas Florestais)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.



CASSON, S. A.; HETHERINGTON, A. M. Environmental regulation of stomatal development. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 13, p. 90-95, 2010.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551-560, 2009.

CHAZDON, R. L. et al. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: MULKEY, S. S.; CHAZDON, R. L.; SMITH, A. P. **Tropical forest plant ecophysiology**. New York: Chapman & Hall, 1996. p. 643.

CIRIELLO, E. **Variabilidade genética de caracteres relacionados ao enraizamento de estacas de progênies e clones de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess).** Botucatu, SP. 2010. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010<sup>a</sup>.

CIRIELLO, V. **Crescimento inicial e nutrição de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess). Em função de N, P, K e saturação por base do solo.** Botucatu, SP. 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010b.

CIRIELLO, V.; GUERRINII, I. A.; BACKERS, C. Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de guanandi. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 653-660, 2014.

CLARK, R. N.; HILER, E. A. Plant measurements as indicators of crop water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 4, p. 466-9, July/Aug. 1973.

CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Mortality rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. **Ecological Monographs**, Washington, DC, v. 65, p. 419-439, n. 4, 1995.

COSTA, G. F., MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

COLOSIMO E. A; GIOLO S. R. **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 392 p.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

CUSACK, D.; MONTAGNINI, F. The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 188, p. 1-15, 2004.

DUFFECKY, M. D.; FOSSATI, L. Z. Avaliação da adaptação de *Calophyllum brasiliensis* Cambess. (guanandi), família Calophyllaceae, no planalto norte catarinense. **Ágora**: Revista de divulgação científica, Mafra, v. 16, n. 2, p. 14-27, 2009.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. Recomposição de matas ciliares: orientações básicas. **Registros do Instituto Florestal**, São Paulo, n. 4, p. 1-14, 190. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/files/2014/04/IFSR4.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 135-144, dez. 1999.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Org.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003.

ENGEL, V. L.; POGIANNI, F. Influência do sobreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 1-10, 1990.

FLEXAS J., ESCALONA J. M.; MEDRANO H. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Clayton, v. 25, p. 893, 1998.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1975. 1499 p.

FISCHER, E.; DOS SANTOS, F. A. M. Demography, phenology and sex of *Calophyllum brasiliense* (Calophyllaceae) trees in the Atlantic forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 17, p. 903-909, 2001.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H. F.; BEZERRA, C.L.F. Estudo florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecidual no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GONÇALVES, I. F. S. **Resposta de três espécies nativas de mata atlântica a diferentes condições de luminosidade**. Seropédica, SP. 2012. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental e Florestal)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

GONZÁLEZ, E. et al. **Primer encuentro regional sobre especies forestales nativas de la Zona Norte y Atlántica**. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 46 p. 1990.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, London, v. 424, p. 901-908, 2003.

IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVES, A. G. Aspectos ecológicos de um trecho de floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 139- 153, 1997.

JANKOWSKY, I. P. et al. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172p.

JONES, M. M.; TURNER, N. C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficit. **Plant Physiology**, Maryland, v. 61, n. 1, p. 122-126, Jan. 1978.

JUNIOR, L. R. N. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da mata atlântica**. Botucatu, SP. 2000. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho, Universidade Estadual Paulista, Botucatu”, 2000.

KALIL FILHO, A. N. et al. Produção de mudas de guanandi. **Comunicado Técnico Embrapa**, Colombo, n.177, 4 p. , 2007.

KRAMER, P. J.; KOZLOWBKI, T. T. **Physiology of woody plants**. London: Academic Press Inc, p. 642, 1960

KING, R. T. Succession and Micro-elevation Effects on Seedling Establishment of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) in an Amazonian River Meander Forest. **Biotropica**, Hoboken, v. 35, p. 462-471, 2003.

KOLZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The Botanical Review**, New York, v. 68, p. 270-334, 2002

LAMB, D; ERSKINE, P. D.; PARROTTA. J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, Washington, DC, v. 310, p. 1628-1632, 2005.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York: Springer, 1998.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343p.

LORENZI H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998. 132 p.

MA, S. et al. Root-sourced signal and photosynthetic traits, dry matter accumulation and remobilization, and yield stability in winter wheat as affected by regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 148, p. 123-129, 2015.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, DF: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2006.

MARQUES, M. C. M. **Estudos auto-ecológicos de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb. Calophyllaceae) em uma mata ciliar do município de Brotas**. 1994. 92 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)-Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

MARQUES, M. C. M.; JOLY, C. A. “Germinação e crescimento de *Calophyllum brasiliense* (Calophyllaceae), uma espécie típica de florestas inundadas”. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 113-120, 2000.

MELOTTO, A. M.; VERONKA, D. A.; LAURA, V. A. Efeito do sombreamento natural na sobrevivência e no crescimento inicial de duas espécies florestais nativas em um sistema agroflorestral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMA AGROFLORESTAIS, 7., 2009, Luziânia. **Diálogo e interação de saberes em sistemas agroflorestrais para sociedades sustentáveis**: anais. Luziânia: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2009. 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://www22.sede.embrapa.br/snt/viicbsaf/cdanais/tema01/01tema45.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

MELOTTO, A. et al. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas do Brasil central plantadas em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 288-290, jul. 2007. Suplemento 1.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **Physiology of plants under stress**: abiotic factors. New York: John Wiley e Sons, 1996. 689 p.

NOBEL, P. S.; LEE, C. H. Variations in root water potentials: influence of environmental factors for two succulent species. **Annals of Botany**, New York, v. 67, n. 6, p. 549-554, June 1991.

OLIVEIRA, R. M. **Desempenho ecofisiológico de mudas de *Euterpe edulis* Martius de diferentes estádios de desenvolvimento e implicações para a restauração ecológica**. Botucatu, SP. 2015. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. ;RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forest by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburg Journal of Botany**, Cambridge, v. 52, p. 141-194, 1995.

OLIVEIRA, V. C.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, v. 24, p. 185-193, 2010

- O'TOOLE, J. C.; BLAND, W. L. Genotypic variation in crop plant root systems. **Advances in Agronomy**, London, v. 41, p. 91-145, 1987.
- OREN, R. et al. Survey and synthesis of intra- and variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, n. 12, p. 1515-1526, 1999.
- PETERSON, K. M.; RYCHEL, A. L.; TORII, K. U. Out of the mouths of plants: the molecular basis of the evolution and diversity of stomatal development. **Plant Cell**, Rockville, v. 22, p. 296-306, 2010.
- PREGELLI, D. R. et al. Recuperação de nascentes em área de cerrado, Embrapa gado de corte, Campo Grande, Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2.; SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Cerrado, 2008.
- PIEL, C. et al. Effects of local irradiance on CO<sub>2</sub> transfer in walnut. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 379, p. 2423-2430, 2002.
- PODADERA, D. S. et al. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpinhiifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a tropical semideciduous forest under restoration in Brazil. **Environmental Management**, v. 56, n.5, p. 1148-1158, 2015.
- RAMOS, J.; GRACE, J. The effects of shade on the gas exchange of seedlings of four tropical trees from México. **Functional Ecology**, Oxford, v. 4, n. 5, p. 667-677, 1990.
- RAVEN, J. Selection pressures on stomatal evolution. **New Phytologist**, Oxford, v. 153, p. 371-386, 2002.
- REIS, C. A. F. et al. Diversidade e estrutura genética espacial de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em uma floresta paludosa. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 265-275, 2009.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, v. 28, p. 218-224, 1978.
- ROBBINS II, N. E.; DINNENY, J.R. The divining root: moisture-driven responses of roots at the micro- and macro-scale. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, p. 2145-2154, 2015.
- ROBINSON, D. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? **Annals of Botany**, Oxford, v. 77, p. 179-185, 1996.
- ROELFSEMA M. R. G. et al. CO<sub>2</sub> provides an intermediate link in the red light response of guard cells. **Plant Journal**, West Sussex, v. 32, p. 65-75, 2002.
- RUSSO, R. O.; SANDÍ, C. L. Early growth of eight native timber species in the humid tropic region of Costa Rica. **Journal of Sustainable Forestry**, London, v. 3, n. 1, p. 81-84, 1995.

SALVADOR, J. L. G. et al. Comportamento do guanandi (*Calophyllum brasiliensis* Camb.) em solos úmidos, periodicamente inundáveis e brejosos. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, v. 8, n. 25, p. 24, 1992.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SARAIVA, G. F. R.; SOUZA, G. M.; RODRIGUES, J. D. Aclimação e fisiologia de mudas de guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 10, n. 2, p. 1-10, jul./dez. 2014.

SENDODA, A. et al. **O guanandi, *Calophyllum brasiliense* (Calophyllaceae), é uma espécie facilitadora em restinga arbustiva?** Prática de pesquisa em Ecologia da Mata Atlântica, 2007.

SHARP, R. E.; LENOBLE, M. E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 366, p. 33-37, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamim/Cummings Publishing Company, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate Geography Review, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**: publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Techonology, 1995. 104 p.

VEENENDAAL, E. M. et al. Differences in plant and soil water relations in and around a forest gap in West Africa during the dry season may influence seedling establishment and survival. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 83, p. 83-90, 1995.