



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



CRISTIANE DE PIERI

**PROGRESSO DA FERRUGEM (*Puccinia psidii*) EM MONOCULTIVO DE  
*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* E EM PLANTIOS CONSORCIADOS  
COM *Acacia mangium***

Botucatu  
2016



**CRISTIANE DE PIERI**

**PROGRESSO DA FERRUGEM (*Puccinia psidii*) EM MONOCULTIVO DE  
*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* E EM PLANTIOS CONSORCIADOS  
COM *Acacia mangium***

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutora em Ciência  
Florestal

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Furtado

Botucatu  
2016

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

D278p De Pieri, Cristiane, 1981-  
Progresso da ferrugem (*Puccinia psidii*) em monocultivo de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e em plantios consorciados com *Acacia mangium* / Cristiane De Pieri. - Botucatu: [s.n.], 2016  
98 p.: il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Edson Luiz Furtado  
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. *Puccinia psidii*. 3. Pragas agrícolas. 4. Plantios mistos. I. Furtado, Edson Luiz. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PROGRESSO DA FERRUGEM (*Puccinia psidii*) EM MONOCULTIVO DE *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* E EM PLANTIOS CONSORCIADOS COM *Acacia mangium*"

AUTORA: CRISTIANE DE PIERI

ORIENTADOR: EDSON LUIZ FURTADO

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



Prof. Dr. EDSON LUIZ FURTADO  
Departamento de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



PROF. DR. WALDIR CINTRA DE JESUS JUNIOR  
Depto. Ciências Agrárias / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. HILÁRIO ANTONIO DE CASTRO  
Depto. Fitopatologia / Universidade Federal de Lavras



Profa. Dra. MAGALI RIBEIRO DA SILVA  
Dep de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 20 de dezembro de 2016.



## AGRADECIMENTO

À DEUS... pela vida, por permitir e abençoar mais um passo da minha caminhada.

Aos meus pais, por serem os melhores pais que eu poderia ter.

Aos meus irmãos por sempre me apoiarem e torcerem para a realização de todos os sonhos até aqui almejados.

Aos meus grandes amigos, os de perto e os de longe, que sempre estão ao meu lado nos momentos bons e naqueles nem tão bons assim... vocês são essenciais para a caminhada ser mais leve e feliz e por eu não desistir dos meus sonhos embora eles parecessem, por vezes, impossíveis!

Ao meu orientador, por me orientar, pela calma, paciência, motivação, conhecimento transmitido, por acreditar em mim vezes mais que eu mesma e, ao pai e amigo Furts, pela amizade e companheirismo, por me mostrar as respostas para tantas perguntas da minha vida, pelas risadas e pelas conversas...

*“Se eu tentasse definir o quão especial tu és pra mim  
Palavras não teriam fim  
Então direi apenas obrigado  
E sei que entenderás”*  
(Eternos amigos – Anjos de Resgate)

Ao Rildo, por todo o suporte para a instalação e realização do trabalho na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – ESALQ, USP.

Ao Jean Paul Laclau e Jean Pierre Bouillet pelo convite e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À todos que direta ou indiretamente me deram a oportunidade de vivenciar essa experiência que tanto amo. Seria injusto citar nomes já que são tantos que passaram e deram sua contribuição nessa caminhada...colegas de profissão, professores, alunos... deixo aqui o meu MUITO OBRIGADA!

À FAPESP e à CAPES pela bolsa concedida.





*Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.”*

(Charles Chaplin)



## RESUMO

A cultura do eucalipto é uma das mais importantes do Brasil, constituindo-se em fonte de energia renovável e madeira, além de importantes processos agroindustriais para produção de celulose, papel entre outros. O eucalipto é infectado por uma diversidade de patógenos, principalmente fungos, desde o viveiro até em plantios adultos. O modelo de produção predominante é o monocultivo, adensado e intensamente adubado (adubação de base e duas a três coberturas). Em espécies/clones de eucalipto suscetíveis à *Puccinia psidii*, a ocorrência de epidemias é observada em condições climáticas favoráveis. Dessa forma, espera-se que o plantio consorciado com uma ou mais espécies não hospedeiras, a intensidade desta doença deva ser menor, devido a barreira física criada e dificulte a disseminação das estruturas reprodutivas do referido patógeno, diluindo o inóculo. Da mesma forma, o aumento do espaçamento também pode dificultar o estabelecimento do patógeno e, um plantio consorciado com uma espécie arbórea leguminosa que permita a fixação biológica de nitrogênio pode levar a redução da aplicação de adubos na forma química devido a ciclagem de nutrientes no sistema. Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram: comparar o monocultivo de um clone oriundo da hibridação entre *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e o cultivo do mesmo consorciado com a leguminosa *Acacia mangium*, com e sem adubação, em dois espaçamentos, quanto a intensidade da ferrugem e, crescimento das plantas (altura, diâmetro a altura do peito, volume e biomassa). Dentre os fatores testados, o uso da adubação no plantio foi o de maior relevância, afetando a intensidade da doença, bem como as variáveis de crescimento avaliadas. Até os dois anos de idade as plantas de acácia ocupam o estrato inferior quando consorciadas com o eucalipto, com isso não estabeleceram uma barreira física eficiente para o patógeno. O mesmo efeito não foi observado com o aumento do espaçamento. Apesar da maior intensidade da doença nos arranjos adubados, as plantas tiveram maior incremento em altura, volume e biomassa. Quanto ao consórcio, a acácia não foi eficaz como barreira física ao agente causal da ferrugem.

**Palavras chave:** Eucalipto. Plantios mistos. Doenças. Ferrugem das mirtáceas. Rizóbio.



## ABSTRACT

The eucalypt cultivation is one of the most important in Brazil, constituting in source of renewable energy and wood, as well as important agro-industrial processes for the cellulose production, paper and others. The eucalypt is infected by a variety of pathogens, mainly fungus, from the plant nursery to adult cultivation. The predominant production model is the monoculture, densely one and intensively fertilized (basic fertilization and two to three coverages). In eucalypt species/clones susceptible to *Puccinia psidii*, the occurrence of epidemics is observed in favorable climate conditions. Thus, it is expected that the combined cultivation with one or more non-host species, the intensity of this disease should be lower, due to the physical barrier created not to facilitate the dissemination of the reproductive structures of this pathogen, diluting the inoculum. Similarly, the increased spacing cannot also facilitate the pathogen establishment and a combined cultivation with a leguminous arboreal species allowing the biological fixation of nitrogen can lead to the reduction of the fertilizer application in chemical form due to the cycling of nutrients in the system. Based on the above, the objectives of this study were: to compare the monoculture of a clone from the hybridization between *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* and the same combined cultivation with the leguminous *Acacia mangium*, with and without fertilization in two spacing, about the rust intensity and the plant growth ( height, diameter at breast height, volume and biomass). Among the factors tested, the use fertilization at the cultivation was the most relevant, affecting the disease intensity, as well as the variables of the evaluated growth. Up to the age of two, acacia plants are on the lower layer when combined with eucalypt, thus failing to establish an efficient physical barrier for the pathogen. The same effect was not observed with increasing spacing. Despite the greater intensity of the disease in the fertilized arrangements, the plants had a greater increase in height, volume and biomass. About the combined cultivation, acacia was not effective as a physical barrier to the causative agent of rust.

**Keywords:** Eucalypt; Combined cultivation. Disease. Rust of the Myrtaceae. Rhizobium.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos avaliados. ....	35
Tabela 2 - Área sob a curva de progresso da doença (AACDP) para as fases de crescimento, saturação, decréscimo e total, entre os tratamentos durante o ciclo da epidemia de <i>Puccinia psidii</i> . ....	51
Tabela 3 - Média da área foliar total (%) lesionada por <i>Puccinia psidii</i> entre os tratamentos, aos 6, 12 e 24 meses de avaliação. ....	63
Tabela 4 - Média da área foliar lesionada (%) por terço da planta (S= superior, M= mediano, I= inferior), entre os tratamentos com e sem adubação aos 6 e 12 meses de avaliação. ....	64
Tabela 5 - Médias dos valores do potencial hídrico antemanhã ( $\psi_{Hf}$ , em MPa (Megapascal)) entre os tratamentos e épocas de avaliação. ....	70
Tabela 6 - Médias da altura (m) de plantas do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> cultivadas em plantios solteiros e consorciados, com e sem adubação, aos 3, 6, 9, 12 e 24 meses após o transplântio. ....	78
Tabela 7 - Média do diâmetro a altura do peito (DAP) (m) de plantas do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação, aos 12 e 24 meses após o transplântio. ....	79
Tabela 8 - Média do volume individual ( $m^3$ ) de plantas do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação, aos 12 e 24 meses após o transplântio. ....	79
Tabela 9 - Volume total de madeira ( $m^3$ ) por parcela e por ha e incremento médio anual ( $m^3ha^{-1}/ano$ ) entre os tratamentos com 1 e 2 anos após o transplântio. ....	80
Tabela 10 - Média da Biomassa total (folhas, galhos e tronco) em $kg/ha^{-1}$ , após o primeiro e segundo ano do transplântio, de plantas do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação. ....	81

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Escala diagramática para avaliação de *Puccinia psidii* em campo. (0) corresponde a uma planta livre de sintomas ou planta sadia; (I) poucas pústulas nas folhas; (II) pústulas típicas porém esparsas nas folhas mais velhas e abundantes nas folhas e partes novas dos ramos; (III) brotações com pústulas normais, abundantes nos limbos, pecíolos e folhas jovens, ramos com necrose apical e perda da dominância pela planta. .... 36
- Figura 2 - Incidência da ferrugem (*Puccinia psidii*) ao longo do tempo, em função dos tratamentos testados. .... 46
- Figura 3 - Comportamento dos tratamentos na curva de progresso de *Puccinia psidii*, através da escala de notas, durante o ciclo da epidemia. .... 49
- Figura 4 - Área abaixo da curva de progresso da doença para os seis tratamentos durante a epidemia de *Puccinia psidii*..... 50
- Figura 5 - Estádios fenológicos consecutivos em plantios de *Eucalyptus* spp.. Adaptado de Ferreira (1989)..... 52
- Figura 6 - Índice de Risco para a epidemia de *Puccinia psidii*..... 57
- Figura 7 - Valores médios horários de Déficit de Pressão de Vapor (kPa)..... 73
- Figura 8 - Valores médios do potencial hídrico foliar nos seis tratamentos ao longo das avaliações..... 76



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	20
2.2	<i>Acacia mangium</i> .....	21
2.3	Monocultivos, Plantios consorciados e Doenças .....	23
2.4	Nutrição e a ocorrência de doença	26
2.5	O patógeno <i>Puccinia psidii</i> .....	29
2.6	Epidemiologia de <i>Puccinia psidii</i> .....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Preparo das mudas e implantação do experimento.....	34
3.2	Delineamento experimental .....	34
3.3	Variáveis analisadas .....	36
3.3.1	Doença .....	36
3.3.1.1	Incidência da doença .....	36
3.3.1.2	Severidade da doença.....	36
3.3.1.3	Índice de Risco .....	37
3.3.1.4	Área foliar doente (AFD) .....	38
3.3.2	Potencial Hídrico Foliar antemanhã ( $\psi H_f$ ) e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) .....	39
3.3.3	Variáveis de Crescimento .....	41
3.3.3.1	Altura (m) e Diâmetro a altura do peito (DAP) .....	41
3.3.3.2	Volume .....	41
3.3.3.3	Biomassa .....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1	Doença .....	44
4.1.1	Incidência da doença .....	44
4.1.2	Severidade da doença.....	47
4.1.3	Índice de Risco .....	54
4.1.4	Área foliar doente (AFD) .....	62
4.2	Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi H_f$ ) e Déficit de Pressão de Vapor .....	68
4.3	Variáveis de Crescimento.....	77
4.3.1	Altura e Diâmetro a altura do peito (DAP) .....	77
4.3.2	Volume .....	79

4.3.3	Biomassa.....	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6	CONCLUSÕES.....	87
	REFERÊNCIAS .....	88

## 1 INTRODUÇÃO

A eucaliptocultura no Brasil vem ocupando ano a ano um papel cada vez mais importante na economia nacional, por constituir a matéria prima para a indústria de papel e celulose. O setor brasileiro de celulose e papel é composto por cerca de 220 empresas localizadas em 540 municípios, em 18 estados, abrangendo todas as regiões do país. As exportações do setor atingiram o valor de US\$ 7,2 bilhões e têm um saldo comercial de US\$ 5,1 bilhões (BRACELPA, 2016).

Tendo em vista sua importância econômica, é vital amenizar qualquer fator que interfira na produção da cultura do eucalipto, seja ele de origem abiótica ou biótica. O eucalipto, assim como outras espécies vegetais, é infectado por diversos patógenos desde o viveiro até em plantios adultos. Dentre esses patógenos, destaca-se o fungo causador da ferrugem das mirtáceas, *Puccinia psidii*.

*P. psidii* foi relatada no Brasil por Joffily (1944) incidindo sobre mudas de *Corymbia citriodora* e, atualmente é considerada uma das mais importantes doenças do gênero *Eucalyptus*.

De acordo com Scott e Maclean (1969), aproximadamente 150 espécies de fungos causadores de ferrugem causam prejuízos significativos na agricultura. Em destaque nas espécies florestais, como o eucalipto, o fungo *P. psidii* causa prejuízos consideráveis (JOFFILY, 1944; FERREIRA, 1989; TAKAHASHI, 2002).

A ferrugem do eucalipto ataca principalmente brotações de mudas e de árvores com até dois anos de idade, comprometendo dessa forma o crescimento das mesmas. A redução no desenvolvimento das espécies de eucalipto é uma das consequências quando atacadas por *P. psidii*. Ao infectar o limbo, *P. psidii* diminui a área fotossintética, reduzindo o processo de fotossíntese e, por sua vez a produção. De acordo com Furtado et al. (2009) esse patógeno pode causar perdas de 30 à 40% no incremento anual das árvores em monocultivo.

Plantios consorciados são poucos estudados na área florestal, mas, quando se considera tanto a diversificação como a estratificação das espécies cultivadas, verifica-se que se aproxima do que é encontrado na natureza, onde há heterogeneidade genética. Através das espécies escolhidas, pode-se promover um equilíbrio biológico, reduzindo os problemas fitossanitários quando comparado ao monocultivo. Isso, em decorrência das barreiras naturais que uma planta fornece à outra, alteração do microclima e, pode haver ainda interações fisiológicas e

nutricionais alterando a microfauna do sistema radicular e a composição da serapilheira, tendo uma maior ciclagem de nutrientes (FORRESTER et al., 2005).

Segundo Vale et al. (2004) a densidade de cultivo é um fator importante pois altera o microclima dentro da copa em relação às condições do ar próximo as plantações. Uma maior ventilação promove secagem rápida de gotas de chuva e orvalho limitando a penetração do patógeno e a radiação que chega eleva a temperatura do solo desfavorecendo o estabelecimento de patógenos.

A densidade influencia ainda nos padrões de dispersão dos esporos. Plantios que possuem copas mais adensadas reduzem a velocidade do vento, diminuindo a liberação dos esporos e sua proliferação.

Através do equilíbrio ecológico que os plantios consorciados podem fornecer, há ainda um aumento de inimigos naturais de patógenos e pragas favorecendo o biocontrole, ou seja, de forma sustentável.

Outro aspecto considerável é que a introdução de espécies de leguminosas como as do gênero *Acacia* pode trazer à cultura de eucalipto vários benefícios, como o enriquecimento do solo em nitrogênio através da fixação biológica desse elemento, já que é uma espécie de leguminosa e se associa com espécies de bactérias que promovem a fixação do nitrogênio atmosférico, como as do gênero *Rhizobium* (FORRESTER et al., 2006; MONTAGNINI, 2000).

Estudos que preconizam as condições fitossanitárias de um ecossistema são necessários, principalmente porque todos os fatores que os compõem estão interligados, diretamente como o comportamento da doença em diferentes condições de plantios e a biomassa que a floresta produz diante dessa perturbação, englobando os fatores abióticos e bióticos.

Visando o conhecimento do patógeno nessas condições de plantio, onde ainda há escassez desses estudos, o presente trabalho teve como objetivo saber se a forma de plantio, principalmente a consorciação de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e *Acacia mangium* com e sem a adição da adubação diminui a ocorrência e/ou a intensidade de *P. psidii*, patógeno causador da ferrugem das mirtáceas, em florestas de eucalipto em monocultivo e em plantios consorciados.

O objetivo geral deste trabalho foi comparar o monocultivo x cultivo consorciado, de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e *Acacia mangium* com e sem a

adição de adubos, em dois espaçamentos, na diminuição da intensidade de *Puccinia psidii*, agente causal da ferrugem das mirtáceas, em florestas de eucalipto.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

Verificar o sistema de plantio (monocultivo e consórcio) e da adubação: a) na incidência/severidade de *P. psidii* em eucalipto; b) na produtividade do eucalipto; c) se plantas de acácia podem constituir em uma barreira física para este patossistema; d) se há interação entre a ocorrência da ferrugem e a forma de plantio;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, possui mais de 700 espécies. Introduzido da Austrália, as espécies são produtoras de madeira, óleos essenciais, celulose, carvão, entre outras finalidades (JOLY, 2002).

Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (CIB, 2008).

Nos primórdios deste século esse gênero era cultivado com a finalidade de ornamentação e como quebra-ventos, e, segundo Pereira et al. (2000) houve grande expansão de possibilidades do seu uso, sendo empregado para diversos fins industriais, os quais conhecemos hoje.

As principais espécies cultivadas atualmente no Brasil incluem: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (CIB, 2008).

Dentre as principais espécies utilizadas destacam-se *Eucalyptus grandis* e seus híbridos interespecíficos, principalmente com a espécie *E. urophylla* que continuam sendo as mais importantes, tendo sua utilização intensiva e crescente nos segmentos industriais e para produção de madeira serrada (GOMIDE; COLODETTE, 2007).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa) a área com florestas plantadas no Brasil atingiu 7,60 milhões de hectares em 2013, crescimento de 2,8% quando comparado com os índices de 2012. Os plantios com eucalipto representam 72,0% desse total, tendo em 2014, um aumento de 4,5% de celulose e 1,7% de papel em comparação com os primeiros meses de 2013 (BRACELPA, 2016).

Segundo o Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ – 2017), em 2016, no Brasil, o total de área de árvores plantadas para fins industriais resultou em 7,84 milhões de hectares, com crescimento de 0,8% em relação ao ano anterior. As plantações de eucalipto para fins industriais atingem 5,7 milhões de hectares, estabelecidas para a produção de celulose e papel, carvão vegetal para siderurgia e para indústria moveleira. Esses plantios estão localizados, principalmente, em Minas

Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto foi de 2,8%. O Mato Grosso do Sul se destaca com o plantio de 450 mil hectares nos últimos cinco anos.

Ainda segundo o IBÁ (2017) o Brasil manteve sua liderança no ranking global de produtividade florestal. A produtividade média dos plantios de eucalipto no Brasil, reportada pelas empresas de base florestal, foi de 36 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Por apresentar rápido crescimento, alta capacidade de readaptação à diferentes regiões ecológicas e por oferecer um potencial econômico na utilização da madeira, espécies de eucalipto têm sido predominantemente utilizadas nos reflorestamentos brasileiros. As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam grande capacidade de extração de água e nutrientes do solo, assimilação fotossintética e crescimento, permitindo dessa forma o cultivo em ambientes que para outras espécies florestais tornam-se impróprios.

O gênero eucalipto, portanto, engloba um grupo de espécies de grande importância para o setor florestal brasileiro, sendo sua madeira usada para diversos fins, como produção de bioenergia, celulose e papel, madeira sólida, móveis, dentre outros (HSING, et al. 2016).

Para Frederico (2009), o amplo uso da madeira de eucalipto deve-se à sua qualidade e versatilidade de aplicação para obtenção de diferentes produtos, cuja qualidade está intimamente associada à matéria-prima usada para a sua produção que, por sua vez, depende de um conjunto de características químicas, físicas, mecânicas e anatômicas da madeira.

A caracterização da madeira de plantas jovens é, atualmente, de grande importância, haja vista a tendência de colheita de árvores em idade precoce verificada, por exemplo, para a produção de *pellets* de madeira e quando da adoção de espaçamentos adensados. Também, em alguns estudos, em que as propriedades da madeira foram avaliadas em diferentes idades, observou-se pequena variação destas ao longo dos anos, apesar da pequena produção de madeira (HSING, et al. 2016).

## **2.2 *Acacia mangium***

As leguminosas compreendem uma das maiores famílias botânicas, com ampla distribuição mundial, especialmente em regiões de climas tropicais e

subtropicais. São mais de 600 gêneros que reúnem mais de 13.000 espécies (JOLY, 2002).

A maioria dessas espécies oferece utilidade para o homem ou para os animais. As leguminosas se caracterizam por apresentar frutos na forma de vagem, legume ou fava, o que permite à elas serem caracterizadas também por Fabaceae. Nesta família são reconhecidas ao menos 3 importantes sub-famílias: *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* e *Faboideae* (*Papilionoideae*) (JOLY, 2002).

As leguminosas variam desde plantas de pequeno porte, como àquelas encontradas em culturas agrícolas de soja, feijão, ervilha, entre outras, à plantas de porte arbóreo como as acácias. *Acacia mangium*, pertencente à sub-família *Mimosoideae*, sendo a menor sub-família dentro das leguminosas, com cerca de 40 gêneros que a representam (JOLY, 2002; FOELKEL, 2008).

A maioria das espécies de leguminosas apresentam simbiose com espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio do ar. As leguminosas recebem das bactérias nitrogênio na forma de cátion e da decomposição dos restos vegetais, e os incorporam nos seus processos vegetativos e propagativos, são notáveis as melhorias dessa associação na qualidade das culturas agrícolas e florestais (FOELKEL, 2008).

Dentre as diferentes leguminosas arbóreas, encontra-se a espécie *Acacia mangium*, com grande potencial na produção de madeira de lei e diversos fins industriais e energéticos. Essa espécie é cultivada em larga escala em países asiáticos como a Indonésia para produção de celulose, e, no Brasil, *A. mangium* e *A. mearnsii* foram introduzidas inicialmente para a produção de taninos e anos depois foram inseridas na produção de papel pela grande densidade da madeira, no Rio Grande do Sul (FOELKEL, 2008).

*A. mangium* é nativa do norte do Estado de Queensland, na Austrália, Papua Nova Guiné e ilhas de Irian Java e Molucas, na Indonésia (TONINI; VIEIRA, 2006).

A espécie, *Acacia mangium* é utilizada, na Malásia e Indonésia, em plantações industriais para fabricação de polpa de celulose e papel. Calcula-se que as plantações de *Acacia mangium* no sudeste da Ásia, atinjam uma área de aproximadamente 800.000 ha (HARWOOD; NAMBIAR, 2014).



### 2.3 Monocultivos, Plantios consorciados e Doenças

De acordo com Vital (2007) as plantações florestais de eucalipto têm sido alvo de grandes controvérsias e continuam a despertar acalorados debates quanto a seus impactos ao meio ambiente. De modo geral, criticam-se os efeitos sobre o solo (empobrecimento e erosão), a água (impacto sobre a umidade do solo, os aquíferos e lençóis freáticos) e a baixa biodiversidade observada em monoculturas.

O crescimento inicial de uma floresta de eucalipto pode ser restringido principalmente pela escassez de nutrientes no solo, sendo necessário o uso de fertilizações, porém se os solos forem porosos e arenosos, ocorrerá a lixiviação desses nutrientes. Diante deste consenso científico, faz-se necessário que boas práticas de introdução e condução de cultivos florestais, sejam aplicadas a fim de atender à crescente demanda por produtos oriundos destes plantios. O consórcio de culturas tem despontado, como uma alternativa na busca pelo equilíbrio silvicultural e condições fitossanitárias adequadas em campo.

De acordo com Gonçalves et al. (2001) e Gonçalves et al. (2004), a quantidade de nitrogênio nos solos sob plantações homogêneas de eucalipto, do planalto ocidental paulista, pode suprir as necessidades do plantio por até cinco rotações o que corresponde à 35 anos, ou seja, promovem a exportação de grandes quantidades de nutrientes, particularmente do nitrogênio. Segundo Laclau et al. (2005) logo após essas rotações, essas áreas tornam-se com demanda de fertilização nitrogenada. Nessa mesma linha de pesquisa evidências desse efeito foram verificadas por Laclau et al. (2004) em 50 anos de plantios homogêneos de eucalipto no Congo, em solos arenosos.

Laclau et al. (2010) observaram desequilíbrio de nitrogênio em plantios de *Eucalyptus* spp. no Brasil e no Congo devido à exportação de nutrientes da biomassa, do baixo aporte de nitrogênio via deposição atmosférica, das baixas reservas do solo e da pequena contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) nesses plantios.

Quando a floresta atinge certo desenvolvimento gerará a serapilheira que permitirá a ciclagem dos nutrientes para o solo (FORRESTER et al., 2005). Nesse contexto o plantio consorciado de eucalipto com uma outra espécie pode ser um adequado recurso.

A leguminosa arbórea, do gênero *Acacia* destaca-se como uma das espécies que pode ser incorporada nos plantios consorciados com as espécies do gênero

*Eucalyptus* (FORRESTER et al., 2007). Essa associação tem potencial para aumentar a produtividade, enriquece e aumenta a serapilheira, fornecendo o que é chamado de “adubação verde”.

Inúmeras são as vantagens desses plantios consorciados (*Eucalyptus* sp. x *Acacia* sp.). As principais razões, além de social e econômica têm âmbito ambiental, ou seja, plantações florestais sustentáveis, alternando, fazendo rotações de plantações ou nos plantios mistos, melhorando dessa forma o uso da terra destinada aos plantios florestais, aumentando a capacidade produtiva (fertilidade) do solo (FORRESTER et al., 2006; MONTAGNINI, 2000), sem uso de insumos agrícolas, minimizando os impactos ambientais, aumentam a produção de biomassa (FORRESTER et al., 2004) e o sequestro de carbono (FORRESTER et al., 2006) e, entre outros benefícios estão a ciclagem de nutrientes (FORRESTER et al., 2005) e a proteção da floresta mediante o ataque de pragas e doenças (FORRESTER et al., 2005; MONTAGNINI et al., 1995).

Segundo Foelkel (2012) a espécie *A. mangium* pode depositar entre 5 a 12 toneladas secas de serapilheira/hectare/ano. Através da fixação do nitrogênio do ar pelos microrganismos, tais números representam cerca de 150 a 300 kg de nitrogênio/hectare/ano, principalmente em regiões tropicais (AUER; SILVA, 1992). Essa serapilheira fornece então uma fertilização nitrogenada gratuita, rica também em outros nutrientes como potássio, cálcio e magnésio (FOELKEL, 2012).

Dentre todos os nutrientes oriundos da deposição da serapilheira em um povoamento de acácia-negra, Schumacher e Vieira (2010) verificaram que o nitrogênio foi o nutriente ofertado em maior quantidade ao solo.

Rodrigues et al. (2003) realizaram um experimento em casa de vegetação para avaliar os efeitos dos fungos micorrízicos arbusculares e rizóbios na produção de matéria seca, absorção, eficiência da utilização e transferência de nitrogênio por plantas consorciadas de *Eucalyptus grandis* e uma leguminosa, *Sesbania virgata*. Foi possível observar um aumento, em plantas de eucalipto, na produção de matéria seca e no conteúdo de nitrogênio quando comparado ao tratamento controle. Nas plantas de leguminosas foram observados aumento no conteúdo de nitrogênio e decréscimo na relação carbono/nitrogênio em todos os tratamentos que tiveram a inoculação de microrganismos, portanto houve a eficiência de utilização de nitrogênio pelo eucalipto proveniente da transferência deste pelas plantas de Sesbânia, indicando o efeito

positivo da utilização da consorciação eucalipto-leguminosa sobre plantas de eucalipto.

Estudando a biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho, Schumacher e Vieira (2011) obtiveram que aos 6 meses de idade a biomassa alocada acima do solo, tanto para eucalipto quanto para acácia-negra apresentou a mesma ordem de alocação, sendo folhas>madeira>galhos>casca, tanto para plantios monoespecíficos quanto para mistos, porém aos 18 meses foi verificado uma alocação da biomassa, para o eucalipto, a prioridade foi a madeira e, para acácia-negra a biomassa mostrou-se maior nas folhas, refletindo a importância do nitrogênio que será incrementado pelo eucalipto através da serapilheira, fornecendo um aumento da sua produtividade.

Laclau et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes em um povoamento de *E. grandis* com *A. mangium*. Aos 18 meses de idade, foi encontrado nesse povoamento cerca de 70% a mais de biomassa em folhas de acácia em plantio homogêneo a 40% em relação ao plantio misto e monocultivo. Os autores relatam que, posteriormente aos 12 meses de idade, ocorre o processo de competição por luz e, que a biomassa total é 10% superior em plantios mistos quando comparada ao monocultivo.

Quanto ao benefício ocasionado por plantações consorciadas com leguminosas na proteção da floresta, no que tange ao ataque de doenças, escasso são os estudos na eucaliptocultura.

Em plantio consorciado na região cacaueira, entre cupuaçuzeiro e coqueiro, Moura e Leite (2013), obtiveram resultados promissores quanto à doenças. Apesar do cupuaçuzeiro ser hospedeira da vassoura-de-bruxa, causada pelo patógeno *Moniliophthora perniciosa* não foi registrado durante a experimentação consorciada a presença dessa doença que comprometesse o desenvolvimento da referida espécie.

Na consorciação entre seringueira e pimenteira-do-reino, Viégas (1982) observou como resultado dessa plantação no Amazonas que, as seringueiras se beneficiam da adubação realizada para produção de pimentas e em contrapartida as pimenteiras apresentam menor incidência de *Fusarium solani* f. sp. *piperi*, causador da podridão de raiz em pimenteiras. O mesmo foi obtido no estado do Pará onde essa consorciação propiciou melhor desenvolvimento para o seringal além de não ser constatado a podridão das raízes em pimenteiras e o “mal das folhas”, causado pelo

fungo *Microcyclus ulei* nas seringueiras em caráter epidêmico, citado por Pereira et al. (1996).

## 2.4 Nutrição e a ocorrência de doença

De acordo com Zambolim e Jesus Júnior (2012), todas as partes vivas das células requerem água em abundância e grande quantidade de nutrientes orgânicos e inorgânicos, para se manterem vivas e desenvolvendo suas funções fisiológicas. Plantas absorvem água e nutrientes inorgânicos minerais do solo, através das raízes. Estas substâncias são translocadas na direção ascendente via xilema. Os minerais e as partes da água são utilizados pelas folhas e outras células para a síntese de várias substâncias das plantas. Quase todos os nutrientes orgânicos das plantas são produzidos nas células pela fotossíntese e são translocados no sentido descendente e distribuídos por todas as partes vivas, via tecidos do floema.

Os mesmos autores relatam ainda que, quando um patógeno interfere com o movimento no sentido ascendente de nutrientes inorgânicos e água, ou no movimento descendente de substâncias orgânicas, esta condição doente das partes das plantas resulta na não absorção desses materiais. As partes doentes serão incapazes de continuar suas próprias funções fisiológicas e irão impedir o resto da planta de receber as ações dessas substâncias, levando-a a morte.

Diante do exposto, entende-se que deficiências nutricionais provocam mudanças estruturais e bioquímicas na planta, levando a planta à suscetibilidade frente a algum agente patogênico. Algumas pesquisas mostram os efeitos nutricionais sobre o crescimento e produtividade do eucalipto. Contudo, a nutrição mineral pode, de acordo com Marschener (1995) ser um efeito secundário sobre a resistência de plantas a doenças.

Graham e Webb (1991) explicam que, dentre os micronutrientes, o Boro, o Manganês e o Cobre são os que mais atuam no processo de defesa das plantas contra fitopatógenos. Esses micronutrientes participam ativamente na síntese da lignina, constituinte da parede celular.

A deficiência de boro provoca também menor transporte de açúcares solúveis da folha (fonte) para o caule (dreno), em decorrência, há tecidos com paredes mais finas e desestruturadas favorecendo a penetração das hifas e, a maior concentração

desses açúcares nas folhas servem como fonte de nutrientes para os patógenos na fase de colonização desses tecidos (GRAHAM e WEBB, 1991).

Foi observado por Dell e Webb (1982) maior incidência de *Phytophthora* sp. em plantas de *Eucalyptus marginata* e *E. sieberi*, deficientes em Zinco. Os autores relatam que a carência desse micronutriente provoca acúmulo de carboidratos e aminoácidos nas células vegetais, favorecendo dessa forma, a ocorrência de doenças.

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio pode ser absorvido de diversas formas pelas plantas, pela fixação biológica através de  $\text{NH}_4^+$  (resultante da mineralização da matéria orgânica e de adubos nitrogenados), diretamente pela uréia, após o desdobramento pela urease, como aminoácidos e, na forma nítrica, sendo essa a mais predominante, tendo sua absorção em condições naturais provenientes de adubos orgânicos ou ainda minerais adicionais (MALAVOLTA, 2006).

O mesmo autor registra ainda que, o nitrogênio é responsável por cerca de 5% da matéria orgânica do solo, sendo distribuído na forma orgânica (98%), divididos na forma alfa-amínica, ácidos nucléicos, amino açúcares e complexos com ligninas. Já na forma mineral (2% restantes) encontram-se amônia, nitrito e nitrato, entretanto a quantidade de nitrogênio disponível no solo é pequena, pouco encontrada nas rochas e minerais formadores do solo (LOPES, 1998).

O nitrogênio é essencial para a planta, entrando no seu metabolismo gera principalmente aminoácidos (síntese de proteínas), desta maneira, promove rápido crescimento e brotações de folhas novas com aumento da área foliar, acarretando portanto maior produção de amido e outros fotoassimilados como outros carboidratos (MALAVOLTA, 2006; COELHO, 2006). Seu excesso pode acarretar na planta a suscetibilidade contra infecções fúngicas, pois reduz a síntese de compostos fenólicos como a lignina (DUFFY; DÉFAGO, 1999).

Plantas que têm excesso de nitrogênio podem não apresentar quantidades suficientes de carboidratos para converterem o excesso de amônio, tornando-se tóxico à planta, fazendo com que diminua sua resistência à infecções e, ainda o excesso de nitrato na planta pode favorecer a germinação, penetração e colonização de patógenos (MARSCHENER, 1995).

A deficiência dos macronutrientes Magnésio, Enxofre e Fósforo alteram as barreiras mecânicas da planta e a síntese de toxinas como as fitoalexinas. A carência de Cálcio, constituinte da lamela média, diminui a estabilidade da parede celular,

facilitando dessa forma, a ação de enzimas liberadas pelos fungos na dissolução da lamela média, garantindo sua penetração (MARSHENER, 1995).

No Brasil, as áreas reflorestadas situam-se em solos arenosos ou em solos de textura média argilosa. Tais solos possuem além de acidez elevada baixas reservas de nutrientes, com destaque a deficiência de Potássio (SILVEIRA et al., 2005).

Segundo Silveira et al. (1995) estudos realizados sobre os aspectos nutricionais da eucaliptocultura apontam que em algumas regiões do estado de São Paulo, independentemente do material genético, as florestas apresentam deficiência de potássio.

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico, portanto não desempenha função estrutural na planta, porém algumas enzimas como as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases são ativadas por ele (MARSCHERNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

A deficiência do potássio influencia em alguns mecanismos da planta: sua falta diminui a taxa fotossintética através da irregularidade causada por sua ausência na abertura estomática, fazendo com que os estômatos não se abram regularmente; plantas com essa deficiência apresentam menor turgor e, portanto, pequena expansão celular, maior potencial osmótico; deficiência no transporte (difusão no simplasto e espaço livre; transporte ativo através da membrana citoplasmática para o floema e no fluxo passivo pelos tubos crivosos) da sacarose e dos fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento, não desempenhando sua função que é manter o pH alto nos tubos crivados, o que facilita o transporte da sacarose (MALAVOLTA, 2006; SILVEIRA et al., 2005; MARSCHENER, 1995).

Um das principais ações do potássio está nos mecanismos de defesa das plantas contra pragas e doenças. Altas taxas de potássio nos tecidos vegetais favorecem a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos. Estes compostos atuam como inibidores nos processos de pré-infecção ou pós- infecção do fitopatógeno (PERRENOUD, 1990).

Outra explicação para a eficiência do potássio, ainda segundo Perrenoud (1990), na defesa da planta é que, quando a planta está bem nutrida com esse mineral, apresenta tecidos mais enrijecidos, como consequência maior espessura da

cutícula e da parede celular, maior formação de tecidos esclerenquimáticos, maior lignificação e suberização, portanto menor taxa de infecção (PERRENOUD, 1990).

Com a deficiência de potássio ocorre menor síntese de compostos de alto peso molecular como proteínas, amidos e celulose, isso favorece o acúmulo de compostos de baixo peso molecular como os açúcares solúveis, aminoácidos e nitrogênio solúvel, resultando em um aumento da atividade das enzimas “decompositoras” como a amilase, sacarase, glucosidase e protease. O acúmulo de compostos altera o equilíbrio osmótico das células e sua concentração é aumentada nos exsudados liberados pelas plantas (PERRENOUD, 1990; MARSCHENER, 1995).

Um dos estímulos na germinação das estruturas esporíferas de fungos no tecido foliar de plantas é a presença desses exsudados. Em plantas que têm deficiência em potássio, por exemplo, é alta a concentração de açúcares solúveis e aminoácidos no tecido foliar, isso pode aumentar a eficiência na germinação dos esporos uma vez que estes se nutrem desses compostos produzidos pelas plantas.

Esses fotoassimilados concentrados no apoplasto do hospedeiro induzem o crescimento do patógeno pós-germinação, principalmente após a penetração, na absorção dos nutrientes, como para os basidiomicetos, através dos haustórios (MARSCHENER, 1995).

## **2.5 O patógeno *Puccinia psidii***

A família Myrtaceae é suscetível a uma diversidade de patógenos. Os fungos da família Pucciniaceae estão classificados na ordem Pucciniales (com mais de 130 gêneros), da classe Teliomycetes e na divisão Basidiomycota (HAWKSWORTH et al., 1995).

*Puccinia psidii* pertence a um grupo de patógenos vegetais que apresentam alta especificidade por seus hospedeiros, sendo considerados parasitas ecológicamente obrigatórios (FERREIRA, 1983; CASTRO et al., 1983; FIGUEIREDO, 2001).

O fungo basidiomicota *P. psidii*, agente causal da ferrugem das mirtáceas é um fungo nativo da América do Sul e encontra-se amplamente distribuído nas Américas Central e do Sul e em ilhas caribenhas (LAUDON; WATERSTON, 1965; DI STEFANO et al., 1998), havendo ainda relatos da sua presença na Jamaica (MACLACHLAN, 1938), Argentina, Uruguai e Paraguai (SPEGAZZINI, 1925; PÉREZ

et al., 2010), Colômbia (KERN et al., 1933) e, também no Sul da Flórida (MACLACHALAN, 1938) e no Sul dos Estados Unidos (MARLATT; KIMBROUGH, 1979; RAYACHHETRY et al., 1997).

Foram relatados ataque de *P. psidii* também no Japão (KAWANISHI et al., 2009) e Havaí (UCHIDA et al., 2006), ambos sob a espécie *Metrosideros polymorpha*.

Recentemente, *P. psidii* foi relatada infectando plantas de eucalipto em localidades da Província de Maputo, Niassa e KwaZulu-Natal, em Moçambique na África do Sul (MAIER et al., 2010) e, no ano de 2012 *P. psidii* foi encontrada também em algumas espécies de mirtáceas na Austrália (PEGG et al., 2012).

O ciclo de *P. psidii* possui os estádios (I) – Ecial, (II) Uredinial, (III) Telial e (IV) Basidial. O estágio espermogonial é desconhecido, sendo portanto, uma ferrugem de ciclo incompleto (FIGUEIREDO et al., 1984). No estágio ecial (I), os eciósporos apresentam mesma morfologia dos urediniósporos do estágio uredinial (II) e teve sua ocorrência, de acordo com Figueiredo et al. (1984) apenas em folhas de jambeiro.

Segundo Ferreira (1989), os estádios (III) Telial e (IV) Basidial, raramente são encontrados em condições naturais. Os teliósporos são pedicelados, bicelulares e medem 15-28 µm de largura x 30-60 µm de comprimento e os basidiósporos chegam a medir cerca de 20 a 130 µm (FERREIRA, 1983).

O estágio que mais se repete e comumente encontrado é o estágio clonal, uredial (FERREIRA, 1983). Normalmente uma única pústula pode apresentar mais de 20 urédias. Quando as pústulas coalescem uma nas outras, os ramos e folhas (principalmente na face abaxial) atingidos apresentam-se cobertos por uma esporulação (urediniósporos) de coloração alaranjada. Os urediniósporos variam quanto à forma, podendo ser piriformes e de esféricos a ovais, medindo 10-20 µm (largura) x 15-25 µm (comprimento) e apresentam ornamentações na parede externa (FERREIRA, 1989).

*P. psidii* inicia seu ciclo de vida a partir de um esporo, o urediniósporo. Esse atinge uma brotação nova de uma espécie suscetível, iniciando a infecção. Entre seis a doze dias após a infecção (d.a.i), é notável a presença de lesões, formando uma nova estrutura esporífera, os soros. Novos sítios doentes são formados quando esporos produzidos em uma lesão são depositados na superfície sadia do próprio ou de outro hospedeiro, causando nessa região novas infecções (FURTADO e SANTOS, 2001; PIERI, 2012).



O estágio uredinial (clonal) é responsável pela rápida disseminação de *P. psidii*, muitas vezes são capazes de germinar sem que haja um período de repouso, desde que ocorra condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento (temperatura anual média de 20 à 23°C, precipitação média anual de 1100 a 1400 mm) (FUJIHARA et al., 1994; FIGUEIREDO e PASSADOR, 2008).

O patógeno *P. psidii* infecta tecidos jovens como inflorescências, gemas e também frutos no início do seu desenvolvimento e, nas folhas, as pústulas podem ser observadas principalmente na face abaxial (SILVEIRA, 1951; GALLI, 1980; FERREIRA, 1989; RUIZ et al., 1989 b).

As ferrugens de um modo geral estão distribuídas nas regiões temperadas e também nas tropicais úmidas, tendo o vento seu agente dispersor podendo atingir distâncias longas, intercontinentais (KRUGNER, 1980).

Quanto à disseminação das estruturas infectivas, esta pode ser por ação dos ventos, das chuvas, irrigação ou respingos de água e ainda por insetos e pássaros. Para que a infecção ocorra com sucesso condições ambientais favoráveis como a temperatura amena em torno de 20°C e uma umidade relativa próxima ou igual a 100% deva existir (RUIZ et al., 1989 a).

Até a década de 70, o eucalipto era uma espécie florestal praticamente livre de doenças, porém com o avanço de áreas reflorestadas para regiões quentes e úmidas, com espécies suscetíveis a doenças e a repetição de plantio em uma mesma área propiciaram a ocorrência de doenças (JUNGHANS, 2000). Dentre as doenças de importância econômica se encontra a ferrugem (*P. psidii*), sendo um fator limitante para o estabelecimento de novos plantios e da condução de brotações em algumas espécies de *Eucalyptus* (RUIZ et al., 1989b; FERREIRA, 1989).

Dentre as espécies de *Eucalyptus* cultivadas mais suscetíveis estão, *E. grandis*, *E. cloeziana*, *E. globulus*, *E. nitens* e *E. phaeotricha*, sendo a procedência África do Sul de *E. grandis* uma das mais suscetíveis. Como resistentes, destacam-se as espécies *E. pellita*, procedência 10966; *E. microcorys*, procedência Fabriciano - 766 e *E. urophylla* S.T. Blake – 10131 e, como altamente resistente, encontra-se a espécie *E. pellita* F. Muell – Helenvale. Espécies como *E. pilularis*, *E. citriodora*, *E. saligna* e *E. obliqua* também apresentam algum grau de suscetibilidade ao patógeno (DIANESE et al., 1984; FERREIRA, 1989; FURTADO; MARINO, 2003; ALFENAS et al., 2009).

Segundo observações de Ferreira (1989), quando as plantas atingem o estágio fenológico B, com cerca de 3 a 4 metros de altura (com aproximadamente 18 meses de idade), elas se tornam resistentes à doença, provavelmente devido a diminuição das condições ambientais favoráveis à infecção nas partes jovens suscetíveis (ALFENAS et al., 2009).

## **2.6 Epidemiologia de *Puccinia psidii***

A epidemiologia é o estudo das interações entre patógenos e hospedeiros sob a influência do ambiente e do homem (KRANZ, 1974).

Epidemia de acordo com Bergamim Filho e Amorim (1996) é o aumento ou extensão da doença em uma dada população de plantas e a endemia consiste na presença permanente da doença em uma determinada região geográfica, porém sem estar em expansão, ou seja, patógeno e hospedeiro estão em constante interação e equilíbrio. Não obstante, uma doença endêmica pode se tornar epidêmica, uma das causas são as mudanças que ocorrem no ambiente que podem ser positivas para o patógeno, favorecendo sua rápida multiplicação e dispersão. A possibilidade de ocorrência de uma epidemia está intimamente ligada à evolução de determinada doença, a qual envolve diferentes fases do ciclo de vida do patógeno.

A epidemia em doenças de plantas é o decorrência da combinação de três elementos básicos: uma população de hospedeiros suscetíveis, grande quantidade de patógenos virulentos e condições edafoclimáticas favoráveis e duradouras (VALE e ZAMBOLIM, 1996).

As condições ambientais afetam diretamente o desenvolvimento de doenças. O clima é um dos elementos que influenciam no estabelecimento de doenças, atuando sobre o patógeno, sobre o hospedeiro e sobre o patossistema patógeno e hospedeiro. O clima atua diretamente sobre o patógeno, principalmente nas fases de germinação e penetração, fases em que o patógeno ainda está exposto à ação do ambiente. Dessa forma, é importante saber os requerimentos climáticos para o estabelecimento de doença do patógeno, para se entender a evolução dessa epidemia no campo (KRUGNER, 1980).

Segundo Vale e Zambolim (1996), a temperatura e o molhamento foliar (água livre na superfície foliar ou vapor de água na atmosfera) tem um efeito direto sobre a incidência e severidade de doenças de plantas. Com isso, as fases de germinação,

penetração, infecção, colonização, produção de inóculo, dispersão e sobrevivência são influenciadas por tais fatores.

De acordo com o descrito por Fujihara et al. (1994) para *P. psidii*, temperatura anual média de 20 a 23°C e precipitação anual de 1100 e 1400, com déficit hídrico de 30 a 90 mm são propícios para o desenvolvimento da epidemia.

A infecção e a esporulação variam, de acordo com Alfenas et al. (2000) com o período de molhamento foliar, a temperatura e também a fenologia do hospedeiro. Foi observado que para a ferrugem do eucalipto, temperaturas entre 18 e 25°C e oito horas de molhamento foliar, foram suficientes para causar a infecção em plantas no campo. Índices semelhantes foram encontrados nos estudos de Ruiz et al. (1989 a). Os autores observaram um maior índice de infecção de *P. psidii* em *Eucalyptus cloeziana* quando as temperaturas atingiram de 20 a 25°C e 24 horas de molhamento foliar.

Outro aspecto a ser considerado na epidemiologia é o estágio fenológico da planta. Para *P. psidii*, a infecção é estabelecida quando na planta há a presença de órgãos tenros e novas brotações e até o estágio fenológico B, aproximadamente quando as plantas alcançarem 18 meses de idade, tornando-se a partir dessa idade resistente à ferrugem. Tal fato, pode ser explicado devido à partir dessa idade ou estágio fenológico, os órgãos suscetíveis (tenros, brotações novas) se encontram em alturas da planta onde o ambiente é mais ventilado, baixa umidade relativa ou seja, o inóculo não encontra um microclima favorável para o seu desenvolvimento (FERREIRA, 1989).

Uma vez estabelecida a infecção com as primeiras pústulas, novo ataque (infecção secundária) dentro de uma mesma planta ou planta vizinha, somente ocorrerá quando novas brotações surgirem concomitantemente em condições ambientais propícias para o desenvolvimento do patógeno.

Para a região sudeste do Brasil, Castro (1983) e Ruiz (1988) verificaram que os fatores climáticos (baixas temperaturas e seis ou mais horas de molhamento foliar) encontrados nos meses de abril a agosto, favorecem a germinação, a penetração e a colonização dos urediniósporos de *P. psidii* em condições de campo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Preparo das mudas e implantação do experimento

O ensaio foi realizado em condições de campo, na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, SP (24° 57' 8" Sul, 49° 21' 44" Leste). O clima da região, segundo Köppen é mesotérmico úmido com precipitação média anual de 1360mm, tendo baixa precipitação (30 e 60 mm) nos meses mais secos, Julho e Agosto. A temperatura média anual é de 19,4°C e a umidade relativa média anual é de 83,3%.

As mudas de *Acacia mangium* (Papua Nova Guiné) foram produzidas em dezembro de 2012 por semeadura direta, em tubetes, no Viveiro de Mudas da Estação Experimental de Itatinga. Para que houvesse uma nodulação do rizóbio nas plantas de Acácia e assim formassem uma simbiose eficiente, para uma maior fixação biológica de nitrogênio, resultante da interação planta e microrganismo, as sementes de *Acácia mangium* foram inoculadas com a estirpe de Rizóbio BR 3609T (Embrapa Agroecologia).

As mudas de eucalipto do clone H13 (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) foram fornecidas pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF).

O transplântio foi realizado em Maio de 2013 e as plantas de acácia e eucalipto foram transplantadas com 90 dias de idade.

A escolha do híbrido foi em função da sua alta suscetibilidade à ferrugem (*Puccinia psidii*), de acordo com informações obtidas com a Empresa Florestal International Paper e também, através da confirmação em testes preliminares em câmara de inoculação.

#### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3 (formas de plantio) x 2 (com e sem adubação), resultando em seis tratamentos com três repetições. Cada parcela foi constituída por 10 linhas de 10 plantas, com espaçamento de 2,5 m entre linhas e entre plantas, totalizando 100 plantas/tratamento, exceto para os tratamentos T3 e T6, onde o espaçamento foi de 5,0 m entre plantas e 2,5 entre linhas, totalizando 50 plantas (Tabela 1).

**Tabela 1** - Tratamentos avaliados.

Tratamento / Plantio		Adubação	Espaçamento (m)	Árvores ha <sup>-1</sup>
<b>T1</b> – (100E com)	Solteiro (Eucalipto)	Com	2,5 x 2,5	1600
<b>T2</b> – (A/E com)	Consortiado (Acácia e Eucalipto)	Com	2,5 x 2,5	800 + 800
<b>T3</b> – (50E com)	Solteiro (Eucalipto)	Com	5,0 x 2,5	800
<b>T4</b> – (100E sem)	Solteiro (Eucalipto)	Sem	2,5 x 2,5	1600
<b>T5</b> – (A/E sem)	Consortiado (Acácia e Eucalipto)	Sem	2,5 x 2,5	800 + 800
<b>T6</b> – (50E sem)	Solteiro (Eucalipto)	Sem	5,0 x 2,5	800

Para os tratamentos denominados com adubação, as parcelas receberam apenas na adubação de cobertura: 188 g de cloreto de potássio (58% de K) por planta de eucalipto; 111 g de supertríplo (41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 7 -12% de Ca) por planta; 20 g de Fritted Trace Elements (FTE – BR) (3,9% de enxofre; 2,0% de Manganês; 9,0% de zinco; 1,8% de boro) 12 por planta; 89 g de sulfato de amônio (21% de nitrogênio; 24% de enxofre) por planta; 1250 g de calcário dolomítico (12% de óxido de cálcio e magnésio) a cada quatro plantas de eucalipto.

### 3.3 Variáveis analisadas

#### 3.3.1 Doença

##### 3.3.1.1 Incidência da doença

A incidência de *P. psidii* nos tratamentos foi avaliada observando o número de plantas que apresentaram sintomas e sinais de ferrugem. Os valores de incidência foram comparados por análise de variância e as médias entre os tratamentos comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

##### 3.3.1.2 Severidade da doença

Foram avaliadas 100 plantas nos tratamentos T1, T2, T4 e T5 e, 50 plantas nos tratamentos T3 e T6, nas três repetições, através de uma escala diagramática, com quatro níveis, segundo Takahashi (2002) modificada por Zamprogno et al. (2008) (Figura 1). As avaliações iniciaram-se 3 meses após o transplântio, quando houve o aparecimento dos primeiros sinais de ferrugem.

**Figura 1** - Escala diagramática para avaliação de *Puccinia psidii* em campo. (0) corresponde a uma planta livre de sintomas ou planta sadia; (I) poucas pústulas nas folhas; (II) pústulas típicas porém esparsas nas folhas mais velhas e abundantes nas folhas e partes novas dos ramos; (III) brotações com pústulas normais, abundantes nos limbos, pecíolos e folhas jovens, ramos com necrose apical e perda da dominância pela planta.



As plantas foram avaliadas quanto à severidade de ferrugem até aos 18 meses, quando as plantas não apresentavam mais sinais do patógeno, totalizando 26 avaliações. Com os dados de severidade calculou-se a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) por integração trapezoidal (SHANER e FINNEY, 1997; BERGER, 1988), através da equação:

$$AACPD = \sum_1^{n-1} [(y_i + y_{i+1}) \times 0,5] [t_{i+1} - t_i]$$

Em que:

n = número de avaliações;

y= intensidade da doença;

t=tempo da avaliação da intensidade da doença;

$y_i + y_{i+1}$ = altura média do retângulo entre os pontos  $y_i$  e  $y_{i+1}$

$t_{i+1} + t_i$  = diferença da base do retângulo entre os pontos  $t_{i+1} + t_i$

A comparação entre os tratamentos foi realizada através da análise de variância das AACPDs e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.3.1.3 Índice de Risco

Foram coletados os dados climáticos diários de temperatura média, temperatura mínima e umidade relativa do ar obtidos através da estação meteorológica da Estação Experimental de Itatinga. A partir de dados climáticos, para o cálculo da duração do período de molhamento foliar foi considerado a média do números de horas por dia para cada mês com umidade relativa do ar igual ou superior a 90%, sendo determinado o Índice diário de infecção de ferrugem.

Para o cálculo do índice de Infecção (II), utilizou-se o modelo proposto por Ruiz et al. (1989 a) sob estudos em condições controladas com *P. psidii* em *E. grandis*. De acordo com o modelo matemático, o índice de infecção constitui uma correlação entre a temperatura e o período de molhamento foliar (umidade relativa maior ou igual à 90%).

Com a coleta dos dados foi realizado um cálculo com a seguinte equação:

$$II = -32,2626 + 3,6999 T + 0,4613 H - 0,0018 TH - 0,0903 T^2 - 0,0068 H^2$$

Em que: II = índice de infecção; T = temperatura máxima (C°) e H = período de molhamento foliar (horas).

Os índices de infecção (II) obtidos foram corrigidos somando-se os dados interpolados ao módulo do menor valor obtido para correção dos índices de infecção para valores positivos, uma vez que a equação gera valores do menos infinito ao mais infinito, de acordo com as condições climáticas favoráveis ou não à doença. Para classificar os valores obtidos dentro de uma escala de 0 a 100 pontos de risco, foi realizado o cálculo de um fator de correção (FC), sendo este definido como a razão entre o valor de 100 e o maior valor interpolado do índice de infecção, de acordo com a equação sugerida por Moraes et al. (2014):

$$R = M - m$$

$$FC = \frac{100}{R}$$

$$IR = FC * (II - m)$$

Em que: R= Range; M= maior índice; m= menor índice; FC= Fator de correção; IR= Índice de Risco; II= Índice de infecção.

#### 3.3.1.4 Área foliar doente (AFD)

Essa análise adotou como base a análise da redução da área foliar induzida pela doença.

Para isso, foram realizadas coleta de folhas aos 6, 12 e 24 meses de idade.

Aos seis meses, foram coletadas 24 folhas aleatórias do terço inferior, médio e superior, dos quatro pontos cardeais, de 5 plantas que corresponderam aos níveis de infecção encontrados no tratamento, tomando como base a última avaliação da intensidade da doença, obedecendo as plantas da linha de bordadura e as 36 plantas centrais das parcelas dos tratamentos T1, T2, T4 e T5 e 18 plantas centrais dos tratamentos T3 e T6.



A coleta aos 12 meses de idade foi realizada nas mesmas árvores que foram utilizadas para análise da biomassa. Para tanto, foram coletadas 30 folhas do terço inferior, médio e superior, de 8 plantas por tratamento. Todas as plantas apresentavam-se lesionadas por *Puccinia psidii*. Aos 24 meses foi realizada a mesma coleta, porém as plantas encontravam-se saudas.

Posteriormente à coleta, as folhas foram escaneadas e, as lesões foram separadas de todas as folhas, através de um software de manipulação de imagens (GIMP®). Essas lesões foram pintadas de vermelho (valores na escala RGB, Red=255; G=0; B=0). Foi criado um programa computacional com uma sequência de funções escritas na linguagem de programação C++ para calcular a área de fundo, área total da folha, área sadia e área lesionada. Ao final dos cálculos o valor foi armazenado em uma variável do tipo texto e uma imagem em escala de cinza para conferência do resultado, quando todas as folhas foram calculadas o programa gerou um arquivo \*.xlsx (Excel) com o nome da imagem, área total da folha em pixels, área total sadia em pixels, área total lesionada em pixels e posteriormente transformadas em porcentagem.

### **3.3.2 Potencial Hídrico Foliar antemanhã ( $\psi_{H_f}$ ) e Déficit de Pressão de Vapor (DPV)**

O potencial hídrico foliar ( $\psi_{H_f}$ ) antemanhã foi medido utilizando-se a câmara de pressão de Scholander acoplada a um cilindro de gás comprimido (nitrogênio) (SCHOLANDER et al., 1965) duas horas antes do nascer do sol. Segundo Reich e Hinckley (1989) e Gomes et al. (2014), o  $\psi_{H_f}$  representa a condição energética e/ou hídrica da planta, onde representa o estado de turgescência e a sua condição hídrica em controlar o nível de perda pelas folhas.

Foram realizadas coletas nos seis tratamentos e foram coletadas folhas do terço superior de 4 árvores das parcelas centrais de cada tratamento. As folhas eram acondicionadas em sacos plásticos até a medição, no próprio experimento.

A medida do  $\psi_{H_f}$  consistiu em alocar a folha na câmara de pressão com a extremidade seccionada (pecíolo) voltada para fora da câmara, através de uma borracha que foi usada para vedar a câmara de pressão. A pressão na câmara foi gradualmente aumentada pela fonte de gás comprimido até o aparecimento da seiva na superfície do pecíolo. Nesse ponto, a pressão é suficiente para forçar a saída da

água das células e se mover para dentro dos vasos do xilema e, deste para fora da amostra através da superfície cortada (TURNER, 1981). A pressão dentro da câmara foi anotada, liberada e a amostra então, foi removida.

As variáveis ambientais, tais como, a temperatura máxima e mínima e a umidade relativa do ar (UR) foram monitoradas pela estação meteorológica da Estação Experimental do Horto de Itatinga, localizada a 500m do experimento, armazenada informações diárias em *data logger* em intervalos de 30 minutos. Essas informações foram utilizadas para o cálculo do DPV diário correspondente ao período do estudo. Com os dados, determinou-se a pressão de saturação de vapor de água no ar para a temperatura e pressão parcial de vapor de água pra umidade relativa do ar (Equações 1 e 2). Após, determinou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) (Equação 3), em que a diferenças entre esses parâmetro descreve qual a capacidade de absorção de água do ar segundo Alvarenga et al. (2014):

$$e_s = 0,6107 * 10^{(7,5 * T / 237,3 + T)} \quad (1)$$

Em que:

$e_s$  - Pressão de saturação de vapor de água no ar (kPa);

T = Temperatura do ar (°C).

$$e_a = e_s * UR \quad (2)$$

Em que:

$e_a$  - Pressão parcial de vapor de água (kPa);

$e_s$  - Pressão de saturação do vapor de água no ar (KPa)

UR - Umidade relativa do ar (decimal).

$$DPV = e_s - e_a \quad (3)$$

Em que:

$e_s$  - Pressão de saturação do vapor de água no ar (KPa)

$e_a$  - Pressão parcial de vapor de água (KPa)

DPV - Déficit de pressão de vapor de água no ar (kPa);

Os dados obtidos de potencial hídrico foram submetidos ao teste F na análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey.

### 3.3.3 Variáveis de Crescimento

#### 3.3.3.1 Altura (m) e Diâmetro a altura do peito (DAP)

Para avaliar o desenvolvimento das plantas foram tomadas as medidas de altura com auxílio de uma régua telescópica aos 3, 6, 9 meses de idade e, aos 12 e 24 meses com clinômetro digital.

Os DAPs foram coletados aos 12 e 24 meses com auxílio de uma fita métrica.

Foram avaliadas 36 plantas centrais dos tratamentos T1, T2, T4 e T5 e as 18 plantas centrais dos tratamentos T3 e T6, nas três repetições.

Os resultados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, sendo os tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

#### 3.3.3.2 Volume

Com os dados de altura e diâmetro coletados aos 12 e 24 meses, foi realizado o cálculo do volume real, utilizando-se fator de forma 0,48 que expressa o quanto o fuste da árvore está próximo de um cilindro. Tal valor pode ser aplicado de maneira geral ao híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, de acordo com Andrade et al. (2014). O volume foi calculado utilizando-se a equação genérica abaixo:

$$Volume = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot f$$

Em que:

d = diâmetro

h = altura

f = fator de forma

Para analisar se houve diferença significativa entre os tratamentos, foi aplicada a análise de variância, considerando a probabilidade de 95% de confiança e nos casos que houve diferença significativa entre os tratamentos foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias.

### 3.3.3.3 Biomassa

Após o inventário de 12 e 24 meses, foram estabelecidas classes de diferentes valores de área basal e altura. De acordo com esses dados, foram selecionadas oito árvores apenas de eucalipto de cada tratamento para abate. Tais árvores foram retiradas das parcelas de preenchimento do experimento (linhas de bordadura).

A altura total das árvores e o DAP (diâmetro a altura do peito) de cada planta foram medidos no campo e a copa das árvores foi dividida em três compartimentos: inferior, médio e superior.

Para o cálculo da biomassa, as árvores foram divididas ainda no campo, em componentes de folhas, galhos e lenho. As folhas foram coletadas dos três terços e pesadas separadamente. Sub amostras (30 folhas de cada terço) foram coletadas, armazenadas em sacos plásticos e colocadas em caixas plásticas para a posterior pesagem. Os galhos retirados do lenho foram amarrados e pesados em balança de precisão ainda no campo. O mesmo foi realizado com o tronco. Sub amostras de galhos foram coletadas e, em laboratório, juntamente com as folhas, novamente pesadas (massa fresca) e levadas à estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C por um período de 72 horas para obtenção posteriormente da massa seca.

Para amostragem do tronco, foram retirados discos nas alturas de de 0, 0,30, 1,00, 1,30, 3,00 metros de altura da base e a cada três metros até o ponteiro da árvore. O procedimento para determinação da biomassa do tronco foi o mesmo utilizado para galhos e folhas, no qual os discos foram levados ao laboratório, onde foram pesados novamente (massa fresca) e levados à estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C até atingirem peso constante para obtenção da massa seca.

Uma vez realizada a coleta de dados no campo e a análise no laboratório, a biomassa total (folhas, galhos e tronco) amostradas pôde ser obtida considerando-se a seguinte equação:

$$PS_{(c)} = \frac{PU_{(c)} PS_{(a)}}{PU_{(a)}}$$

Em que:

$PS_{(c)}$  = Biomassa em kg

$PU_{(c)}$  = massa de matéria úmida de folhas, galhos e troncos, em kg

$PS_{(a)}$  = massa de matéria seca da amostra, em kg

$PU_{(a)}$  = massa de matéria úmida da amostra levada ao laboratório, em kg

Os resultados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, sendo os tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Doença

#### 4.1.1 Incidência da doença

Na Figura 2 encontra-se a porcentagem de plantas infectadas por *Puccinia psidii* nos seis tratamentos avaliados desde o aparecimento dos primeiros sinais da doença, sendo 90 dias após o transplântio das mudas (06 de Agosto de 2013) até o desaparecimento da mesma no campo, após 18 meses do transplântio. Observa-se que os tratamentos com adubação (T1, T2 e T3) foram aqueles que tiveram mais plantas com maior incidência de ferrugem no início da epidemia até os 87 dias após a aparecimento dos sinais (d.a.a.s.) quando comparado aos tratamentos sem adubação (T4, T5 e T6).

Aos 198 d.a.a.s todos os tratamentos atingiram 100% de incidência e esta condição segue até os 397 d.a.a.s.. Ao final da epidemia, os tratamentos sem adubo tem menor incidência que os adubados e isso se deve a ausência de folhas jovens e as pústulas não estavam mais esporulantes, devido a alta infecção nos tratamentos T1, T2 e T3. Aos 488 d.a.a.s. a doença não foi mais encontrada no campo.

O tratamento T1 (100E com), seguido de T2 (AE com) foram os que mostraram maior incidência no início da infecção dos 22 aos 58 d.a.a.s.. Embora com um maior espaçamento o que poderia desfavorecer a ferrugem devido a uma maior ventilação nas plantas, o primeiro tratamento a atingir a incidência máxima foi o tratamento T3 (50E com), aos 87 dias após o aparecimento dos sinais (d.a.a.s). Seguido de T2 (A/E com), aos 104 d.a.a.s., o qual esperava-se que devido o plantio consorciado com uma espécie não suscetível, a epidemia tivesse comportamento diferente, ou seja, menor incidência.

O tratamento T6 (50E sem) atingiu o máximo de incidência aos 136 d.a.a.s, T4 (100E sem) e T5 (A/E sem) aos 184 d.a.a.s e T1 (100E com) aos 198 d.a.a.s, sendo o primeiro a não apresentar mais sintomas de infecção, aos 418 d.a.a.s.

Dos 198 aos 397 d.a.a.s. houve 100% das plantas de todos os tratamentos infectadas por *P. psidii*. Os tratamentos com adubação foram àqueles que mais despontaram no início da infecção, porém foram àqueles que mais se recuperaram do ataque, com atenção ao tratamento T1, o qual teve poucas árvores com incidência aos 418 d.a.a.s..

O tratamento T1 (100E com) teoricamente deveria ser o primeiro a apresentar uma maior incidência, uma vez que tem um menor espaçamento e recebeu adubação, favorecendo novas brotações. Uma hipótese seria que a fase clonal uredinial, abrangesse primeiro brotações novas do mesmo hospedeiro, talvez pelo próprio “adensamento” do plantio, retardando mais para atingir novos indivíduos.

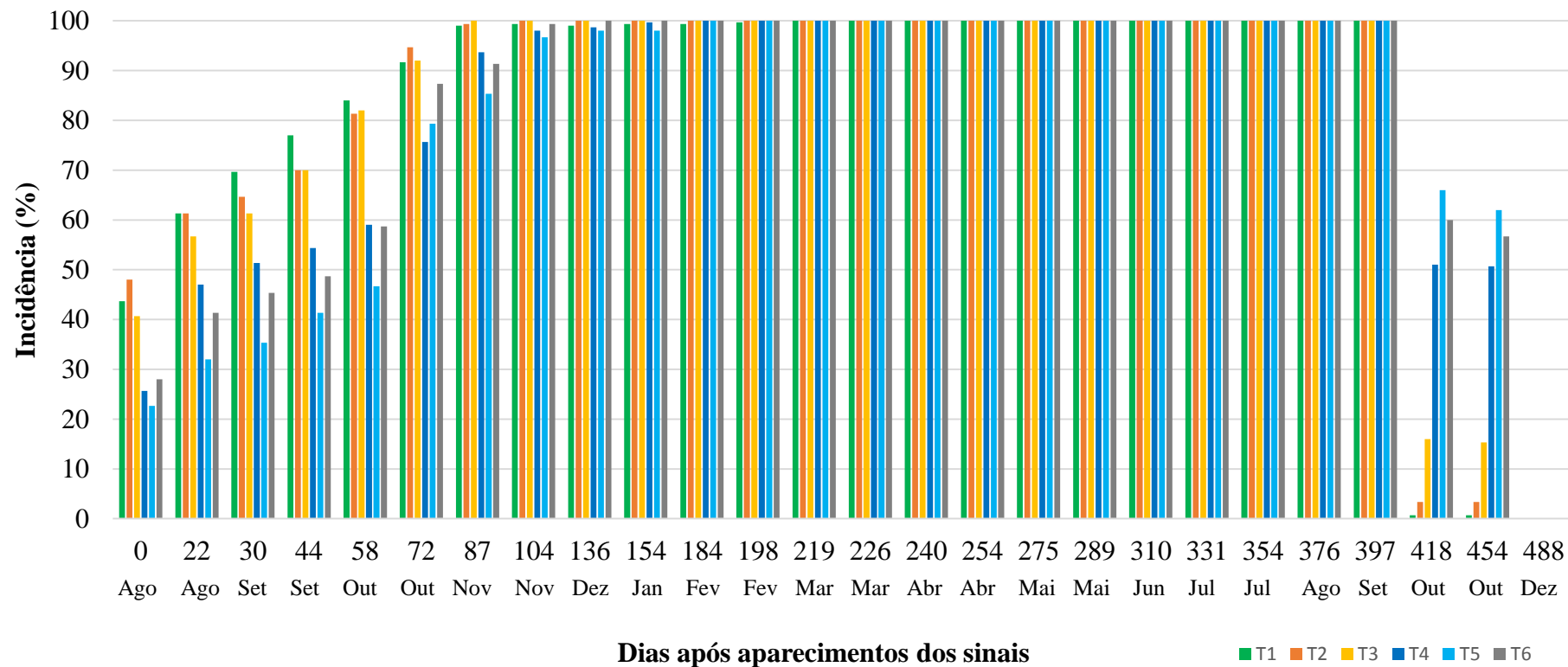
De acordo com Silveira e Higashi (2003), mudanças morfológicas como células epidérmicas e cutículas mais finas, parede celular com menor grau de silificação, suberização e lignificação e, bioquímicas como redução de compostos fenólicos que atuam como inibidores do desenvolvimento de pragas e doenças ou acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular (glicose, sacarose e aminoácidos nas plantas podem ser provocadas devido à deficiências e desequilíbrios nutricionais podendo tornar alguns materiais genéticos mais suscetíveis à infecção por *Puccinia psidii*, dessa forma, o uso eficiente de adubações podem reduzir o nível de incidência e severidade da ferrugem do eucalipto. Tal situação pode ser observada no final do ciclo da epidemia de ferrugem, o número de árvores infectadas por *P. psidii* aos 418 d.a.a.s. foi bem menor nos tratamentos que receberam adubação daqueles que não receberam adubação, tal observação pode ser justificada pela falta de ramos novos e lesões esporulantes já que plantas desses tratamentos foram mais infectadas (Figura 2).

Levantamentos realizados por Silveira et al. (1998) nas regiões do Vale do Paraíba e no sul do estado de São Paulo apontaram incidências de até 35% de árvores doentes por ferrugem em plantios de *Eucalyptus grandis* em torno de seis meses de idade.

Mafia e colaboradores (2012) avaliando clones do mesmo híbrido em condições de micropropagação, observaram que, 11 dias foi o tempo necessário para a maioria dos clones atingirem acima de 60% de incidência nas plantas.

Para plantios de campo, Santos (2006), observou em plantios irrigados do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* na região de Luiz Antônio, SP, um aumento gradual da incidência em dezembro de 2003, março e junho de 2004, atingindo uma maior incidência, aos 10 meses de idade, com 94,87% em área sombreadas e 82,05% em áreas não sombreadas. Já neste experimento, a maior incidência foi observada aos 87 d.a.a.s., ou seja, com pouco mais de 5 meses de idade.

**Figura 2** - Incidência da ferrugem (*Puccinia psidii*) ao longo do tempo, em função dos tratamentos testados.



Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).  
 O marco "0" corresponde a 90 dias após o transplante (06 de agosto de 2013).



#### 4.1.2 Severidade da doença

Na Figura 3 observa-se o comportamento da epidemia de ferrugem durante todo o ciclo, do início ao final da epidemia no campo. A doença foi avaliada desde o seu aparecimento (três meses após o transplântio) no gráfico representado como dia 0, até o final da epidemia (18 meses após o transplântio), 488 dias após o aparecimento dos sinais (d.a.a.s.) (dezembro de 2014).

Nesta Figura é possível dividir a epidemia em 3 fases. A primeira fase, denominada de fase de crescimento, a qual corresponde ao aparecimento dos primeiros sinais até os 184 d.a.a.s., com duração de 6 meses. Os meses que se observou um crescente índice de ferrugem, deu-se nos meses de agosto de 2013 a fevereiro de 2014. Nesta fase a epidemia está em constante crescimento, atacando novos indivíduos (Figura 2), aumentando a incidência e com muitas pústulas sendo formadas, gerando novas fontes de inóculo.

A fase seguinte, é a fase de saturação, que corresponde ao período dos 184 aos 240 d.a.a.s. e com duração de 2 meses. A partir dos 240 d.a.a.s. iniciou a fase denominada de decréscimo da epidemia, com duração de 8 meses, tendo o final do ciclo, ou seja, plantas não apresentavam mais os sinais dos 488 d.a.a.s. em diante. As plantas continuaram a ser avaliadas até os dois anos (maio de 2015), mas nesse período não foram mais observados os sintomas e sinais de ferrugem.

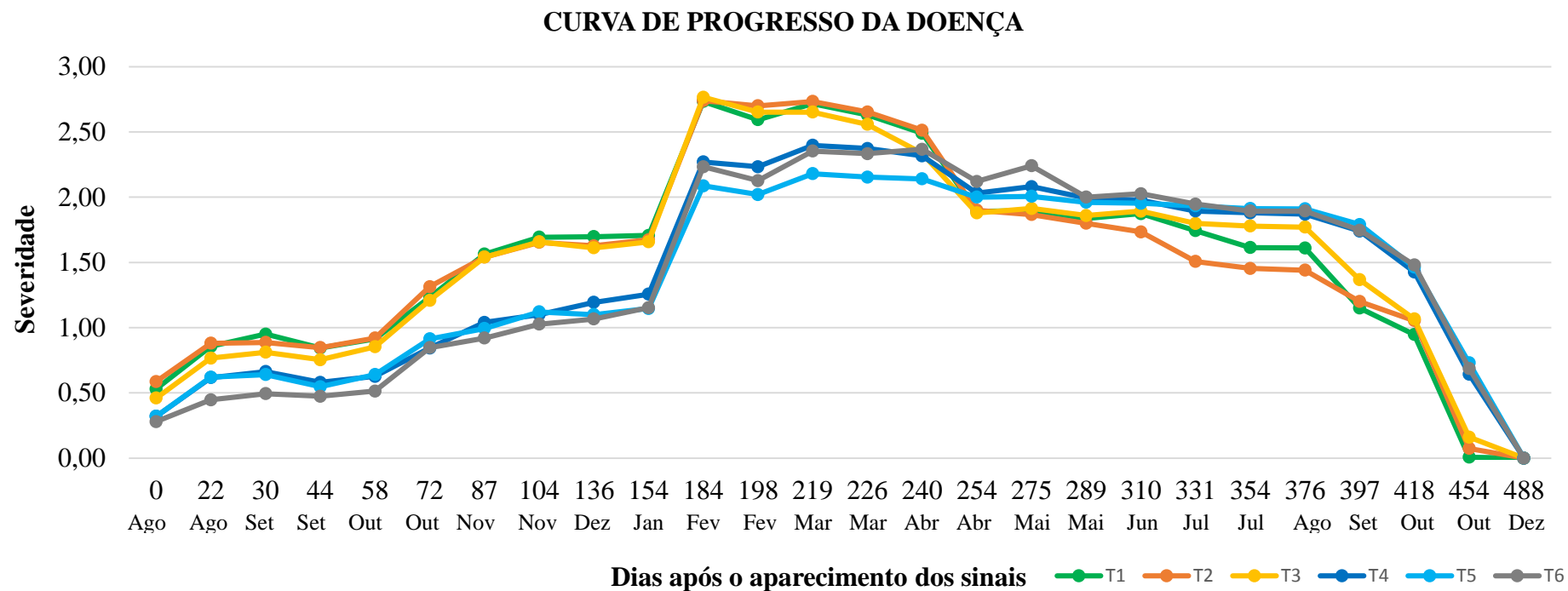
Na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Figura 4) observa-se que os tratamentos dividiram-se em dois grandes grupos: àqueles que receberam adubação (T1, T2, T3) obtiveram maior AACDP comparados aos tratamentos sem adubação (T4, T5, T6) até os 226 d.a.a.s..

Com base nos dados da somatória da AACDP (Tabela 2), verificou-se diferenças significativas entre as fases de crescimento, saturação e decréscimo somente entre os tratamentos com adubação dos sem adubação (linhas), não havendo diferença entre eles (colunas). Na fase de crescimento, T1 gerou AACDP mais elevada embora sem diferença estatística entre T2 e T3.

Já na fase de decréscimo, os tratamentos se invertem. Àqueles com adubação foram os que apresentaram menores valores de AACDP quando comparados aos sem adubação (Figura 3 e 4; Tabela 2).

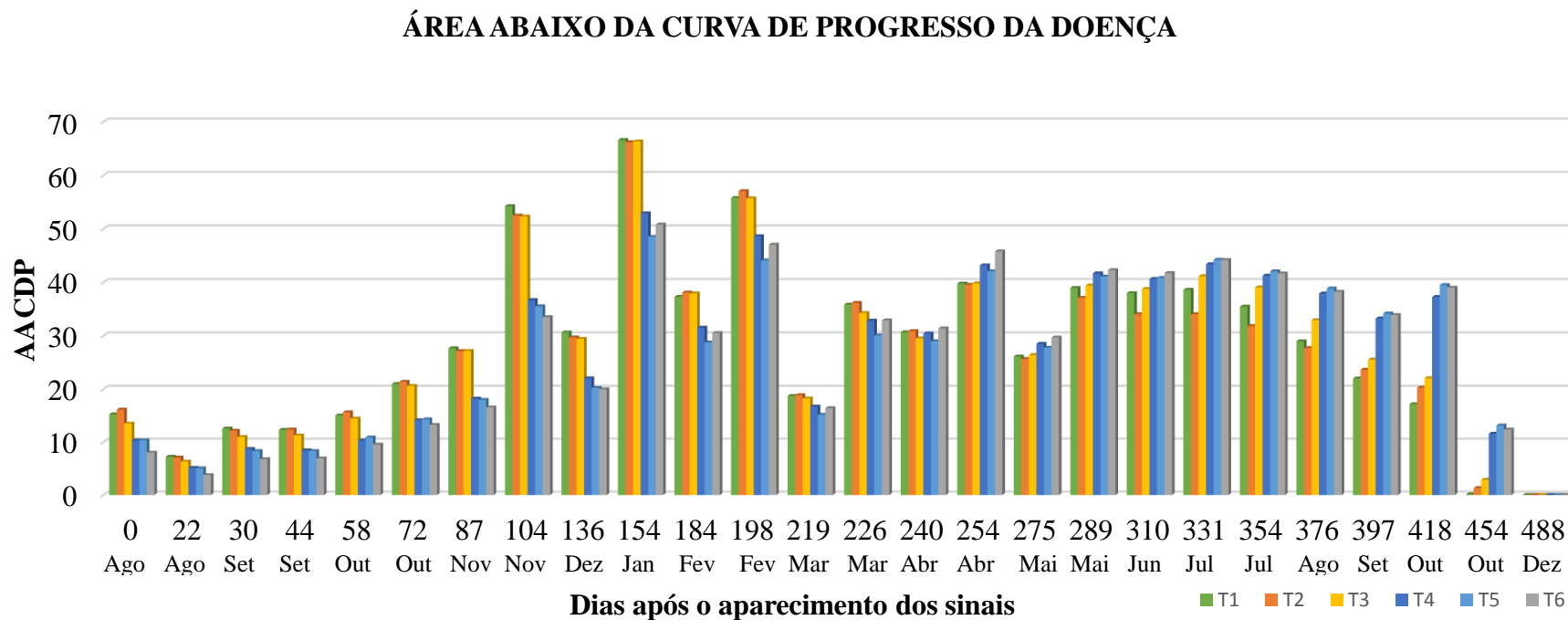
Na AACDP total não houve diferença estatística entre os tratamentos e adubação (Tabela 2).

**Figura 3** - Comportamento dos tratamentos na curva de progresso de *Puccinia psidii*, através da escala de notas, durante o ciclo da epidemia.



Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).  
 O marco "0" corresponde a 90 dias após o transplante (06 de agosto de 2013).

**Figura 4** - Área abaixo da curva de progresso da doença para os seis tratamentos durante a epidemia de *Puccinia psidii*.



Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).  
 O marco "0" corresponde a 90 dias após o transplante (06 de agosto de 2013).

**Tabela 2** - Área sob a curva de progresso da doença (AACDP) para as fases de crescimento, saturação, decréscimo e total, entre os tratamentos durante o ciclo da epidemia de *Puccinia psidii*.

Tratamentos	AACDP Crescimento		AACDP Saturação		AACDP Decréscimo		AACDP Total	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
100E	299,8 a	218,3 b	180,7 ns	171,7ns	245,4 b	315,5 a	725,9ns	705,5 ns
A/E	298,3 a	208,1 b	182,5 a	160,4 b	235,6 b	321,6 a	716,5ns	690,1 ns
50E	290,2 a	199,5 b	177,5 ns	173,5 ns	268,2 b	323,0 a	735,9	696,0 ns
							ns	
Média	296,1	208,7	180,2	168,5	249,7	320,0	726,1	697,2
C.V. (%)	9,0		3,5		6,5		4,3	

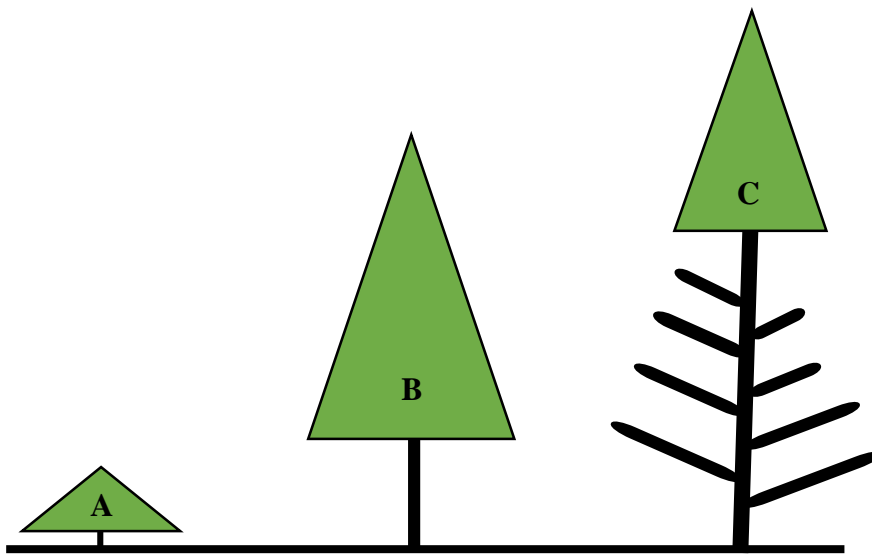
Ns= Não significativo. Média com mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ferreira (1989) e Ferreira e Milani (2002) relatam que o estágio fenológico do eucalipto mais vulnerável à ferrugem corresponde ao estágio A (observado de 3-12 meses neste experimento), sendo menos frequente em B (12-18 meses) e em C (> 18 meses) as plantas já se apresentam resistentes à essa doença exceto àquelas que ficam dominadas sob o povoamento (Figura 5).

Os mesmos autores explicam que a ausência da epidemia com o passar da idade da planta e/ou estágio fenológico está diretamente relacionado com a altura alcançada pelas plantas, sabe-se que a ferrugem ataca órgãos tenros, ou seja, brotações novas, esses órgãos suscetíveis encontram-se na copa das árvores, a qual, com a idade de aproximadamente 18 meses ou no estágio fenológico C está bem exposta. Isso implica em um ambiente mais ventilado, portanto com uma menor umidade e com isso, menos acessível à deposição e germinação do inóculo, sendo desfavorável à doença.

O que foi notado por Ferreira (1989) há 27 anos foi observado neste experimento. A única ressalva é que mesmo no estágio fenológico B, o qual o autor cita que há poucas pústulas e portanto a doença têm pouca importância, nesse estudo observou-se que no estágio B a epidemia estava no seu limiar de saturação e começo de decréscimo, ou seja, haviam muitas pústulas sob os órgãos suscetíveis.

**Figura 5** - Estádios fenológicos consecutivos em plantios de *Eucalyptus* spp.. Adaptado de Ferreira (1989).



Para a epidemia de ferrugem, a forma de plantio solteiro e consorciado e a densidade do plantio não foi significativa, embora o monocultivo em plantios mais adensados (tratamento T1) tenha sido o primeiro a mostrar sinais da infecção durante a fase de crescimento da epidemia.

Neste trabalho, o fator adubação foi o que diferenciou a intensidade da doença nas fases de crescimento e saturação da ferrugem, pois propiciou reenfolhamento constante. Ademais os plantios adubados possibilitaram um maior crescimento das plantas e a mudança do estágio fenológico foi mais rápida.

Supõe-se que, o fato da inversão nos resultados dos plantios adubados dos não adubados na fase de decréscimo da epidemia, é que haja uma renovação de folhas nos plantios que receberam adubação, já nos plantios sem adubação as folhas que apresentavam-se doentes, as pústulas ficam velhas e o inóculo é perdido uma vez que não há mais órgãos suscetíveis em formação.

As plantas quando estão em equilíbrio nutricional são menos suscetíveis a pragas e doenças. Na presente pesquisa, ficou demonstrado que, apesar de suscetíveis, as plantas adubadas conseguem se restabelecerem melhor do que àquelas sem adubação.

As plantas requerem água e nutrientes para desenvolvimento de suas funções vitais. Quase todos os nutrientes orgânicos das plantas são produzidos nas células

pela fotossíntese e são translocados no sentido descendente e distribuídos por todas as partes vivas, via tecidos do floema. Com isso, quando um patógeno interfere com o movimento no sentido ascendente de nutrientes inorgânicos e água, ou no movimento descendente de substâncias orgânicas, esta condição doente das partes das plantas resulta na não absorção desses materiais. As partes doentes serão incapazes de continuar suas próprias funções fisiológicas e irão impedir o resto da planta de receber as ações dessas substâncias, podendo levá-las até a morte.

Diante do exposto, entende-se que deficiências nutricionais provocam mudanças estruturais e bioquímicas na planta, levando a planta à predisposição ao ataque de um patógeno.

Tanto as deficiências quanto os excessos nutricionais acarretam alterações anatômicas e bioquímicas na planta (SILVEIRA e HIGASHI, 2003). As principais mudanças anatômicas e bioquímicas que aumentam a severidade e a incidência de doenças são: paredes celulares e cutículas mais finas; acúmulo de compostos solúveis como açúcares simples e aminoácidos; menor suberização, silificação e lignificação dos tecidos; menor síntese e acúmulo de compostos fenólicos e maior abertura ou mais tempo aberto dos estômatos (ZAMBOLIM e JESUS JUNIOR, 2012; STANGARLIN et al., 2011).

Com isso, uma planta deficiente ou com excesso de nutrientes, principalmente o nitrogênio pode torná-la menos resistentes a infecções fúngicas pela redução da síntese de compostos fenólicos como a lignina, podem não apresentar quantidades suficientes de carboidratos para converterem o excesso de amônio, tornando-se tóxico à planta, diminuindo a sua resistência a infecções além de favorecer a germinação, penetração, colonização e desenvolvimento de alguns patógenos (HUBER, 1980; MARSCHNER, 1995; DUFFY e DÉFAGO, 1999).

### 4.1.3 Índice de Risco

Foram calculados os dados do índice de infecção do modelo proposto por Ruiz (Ruiz et al., 1989 a) desde o transplântio das mudas até a fase final da epidemia no campo. Pelo modelo, o índice de infecção acima de 5, caracteriza-se como bastante favorável à infecção, o que ocorreu na maioria das datas deste experimento. Como o experimento foi realizado em situação de condições naturais de infecção, aplicou-se o fator de correção para os dados, correspondente à Figura 6. Nela o índice de infecção passa a ser chamado de índice de risco, o qual apresenta como alto risco valores maiores ou iguais a 70 de acordo com Moraes et al. (2014).

Analisando a Figura 6, observa-se que desde a data de transplântio das mudas, em Maio de 2013 até a fase de saturação da epidemia, aos 184 d.a.a.s., em fevereiro de 2014 (Figuras 3 e 4) o índice de risco permaneceu bem acima de 70, ou seja, condições bastante favoráveis a epidemia de ferrugem.

Apenas no período de janeiro à abril de 2014 é que o índice de risco foi baixo ( $\leq 55$ ), porém com picos de índices considerado de médio risco (56 a 70), coincidindo com o período de saturação (Figuras 3 e 4).

Correlacionando a influência da temperatura e o tempo de molhamento foliar (Figura 6) com a epidemia da ferrugem (Figura 3 e 4) é possível observar que não houve variação entre a temperatura, molhamento e a doença uma vez que as temperaturas permaneceram amenas e o tempo de água livre na superfície foliar permaneceu acima de 90% por um período mínimo de 6 horas durante a ocorrência e o estabelecimento da doença (fase de crescimento e saturação), levando a um alto índice da doença em todos os tratamentos diferindo apenas entre os adubados dos não adubados (Tabela 2).

Embora na fase decrescente da epidemia a qual corresponde de maio à dezembro de 2014, o índice de risco ainda era alto (bem acima de 70), as plantas já se encontravam próximas a idade de 18 meses e estavam alcançando o estágio fenológico C, fase imune à ferrugem, demonstrando que, neste estágio fenológico as plantas passam por modificações fisiológicas importantes, pois mesmo com condições climáticas favorecendo a epidemia as plantas permanecem imunes.

Os fatores meteorológicos são importantes ferramentas utilizadas para o estudo epidemiológico de fitopatógenos. Assim como em outros processos biológicos, os fatores temperatura e umidade têm efeito sobre as fases de epidemia de uma



doença fúngica, principalmente nas primeiras fases do ciclo de vida como a germinação, penetração, colonização, esporulação e para a dispersão do inóculo (HUBER e GILLESPIE, 1992).

A água é um dos fatores vitais para a germinação (requerida a pontos próximos de saturação) e para a penetração de esporos (com ênfase para patógenos foliares), principalmente na forma de orvalho, estando a incidência e a severidade diretamente relacionadas com a quantidade e duração do período de orvalho (MAY-DE-MIO e AMORIM, 2002).

De acordo com Vale e Zambolim (1996) a temperatura pode ter um efeito pontual em cada componente do patossistema e é a variável do ambiente mais correlacionada com a incidência e severidade de doenças. Desse modo, os processos de germinação, colonização, produção de inóculos, dispersão e sobrevivência são influenciados pelos fatores climáticos, principalmente a temperatura e a umidade.

O período de molhamento foliar é um fator importante para a epidemia de doenças foliares, como a ferrugem. Como observado por vários autores, os fatores temperatura e água livre afetam significativamente o processo inicial até o estabelecimento da infecção de *P. psidii* (CASTRO, 1983; FERREIRA, 1983). Para Castro (1983), temperaturas amenas de 17 a 25°C, fazem com que a infecção da ferrugem ocorra num período menor que 12 horas de molhamento foliar.

De acordo com Figueiredo e Passador (2008), o estágio uredinial é responsável pela rápida disseminação da ferrugem desde que ocorra condições ambientais favoráveis para o seu desenvolvimento, a temperatura anual média de 20 à 23°C e precipitação média anual de 1100 a 1400 mm. Acrescenta ainda Ruiz et al. (1989) que para o sucesso da infecção deve-se ter condições ambientais favoráveis com temperatura amena em torno de 20°C e umidade relativa em torno de 100%.

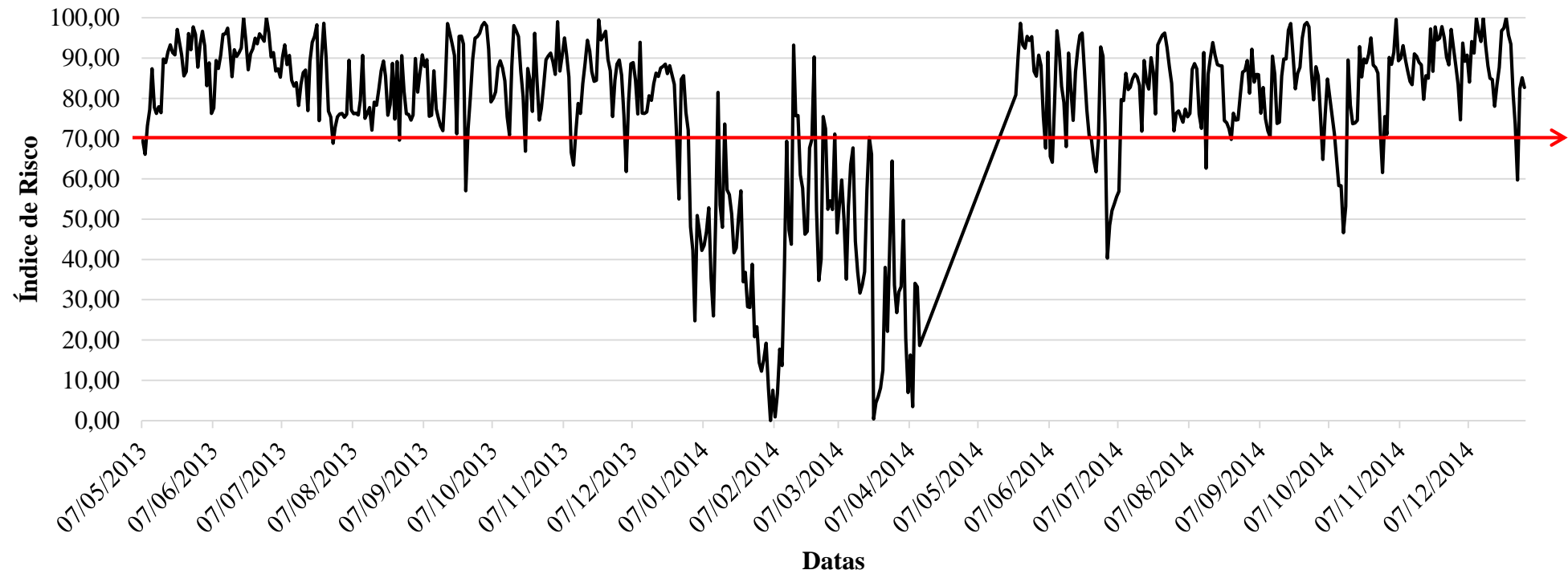
O clima do local do experimento possui temperaturas anuais relativamente baixas e/ou moderadas, classificado como mesotérmico úmido com precipitação média anual de 1360mm, tendo baixa precipitação (30 e 60 mm) nos meses mais secos, Julho e Agosto. A temperatura média anual é de 19,4°C e, a umidade relativa média anual é de 83,3%.

Apesar das condições climáticas favoráveis à epidemia, na fase de crescimento aos 154 d.a.a.s. até a fase de decréscimo, aos 275 d.a.a.s., houve um intervalo com duração de 3 meses onde não haviam condições climáticas favoráveis

ao desenvolvimento da epidemia (Figuras 3 e 6). Esse intervalo de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno, foi suficiente para a plantas se recuperaram do ataque. Apesar de alguns picos favoráveis visto pelo índice de risco, esses pequenos picos não foram suficientes para o retorno da epidemia.

Como visto, as condições climáticas de temperatura e umidade em Itatinga, SP, são favoráveis para causar a infecção de *P. psidii* em plantios de eucalipto suscetíveis durante o ano todo.

**Figura 6** - Índice de Risco para a epidemia de *Puccinia psidii*.



Índice de risco baixo  $\leq 55$ ; Índice de Risco médio 56 a 70 e, Índice de Risco alto  $\geq 70$ .

Em condições de laboratório, foi avaliada a influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e intensidade de luz sobre a infecção de *P. psidii* em *E. grandis*. Ruiz et al. (1989 c) observaram um maior índice da doença em temperaturas de 20 e 25°C e 24 horas de molhamento foliar.

Ruiz et al. (1989 b) estudaram o progresso da ferrugem do eucalipto em brotações novas de *E. cloeziana* em condições de campo, na Bahia e, observaram níveis máximos de infecção nos períodos de melhores condições favoráveis como alta umidade e baixa temperatura, correspondente a maio a junho de 1987. Já os menores índices foram observados de setembro de 1986 a abril de 1987, mesmo tendo condições de temperaturas favoráveis de 20 a 25°C, a umidade relativa manteve-se abaixo de 90%, sendo desfavorável. Mesmo índices de umidade superior a 90% porém com menos de 8 horas de molhamento foliar não propiciou a germinação de esporos e com isso limitou o aparecimento da doença.

No estudo do efeito da temperatura e umidade sobre a infecção de seringueira por *Microcyclus ulei* foi observado infecções em períodos mínimos de seis horas de molhamento foliar a uma temperatura de 24°C e de oito horas a 20 e 28°C. Não foi observada a infecção quando a temperatura esteve em 16°C. Os autores verificaram que o maior índice de infecção ocorreu com a temperatura de 24°C e 16 horas de molhamento foliar (GASPAROTTO et al., 1989 a).

No mesmo ano, Gasparotto e colaboradores (1989 b) acompanharam o progresso do mal das folhas da seringueira em condições de campo no estado de Minas Gerais. Os autores não encontraram correlação entre a severidade e a precipitação pluvial e temperaturas máxima média e média, porém alta correlação foi verificada quando comparada a severidade da doença com períodos de molhamento foliar igual ou superior a 90% e temperaturas mínima média, sendo essa maior que 20°C.

Comparando nove temperaturas diferentes e oito períodos de molhamento foliar, sob o patossistema *Puccinia sorghi* – milho, Vitti et al. (1995) averiguaram que a temperatura de 15°C e o mínimo de 4 horas de molhamento foliar foram mais favoráveis para uma maior infecção de *P. sorghi*.

Godoy e colaboradores (1999 a) verificaram que o aumento da infecção causada por *Phaeosphaeria* em milho está correlacionado com o período de molhamento foliar acima de 90%. A temperatura ótima para o desenvolvimento da

doença foi de 23°C e, a severidade aumentou com o período de duração do molhamento foliar de 2 a 24 horas.

Avaliando o progresso de doenças foliares em milho, Godoy e colaboradores (1999 b) observaram que *Phaeosphaeria maydis* e *Puccinia polysora* houve um aumento da AACPD de acordo com a época do ano em que foi realizado o plantio.

Ribeiro et al. (1990) estudaram o efeito do binômio temperatura e duração do molhamento foliar sob o patossistema soja e *Phakopsora pachyrhizi*. Os autores observaram que das cinco temperaturas e molhamento foliar testados, o número máximo de lesões/cm<sup>2</sup> de área foliar foi obtido na temperatura de 20°C com 16 horas de molhamento foliar, ou seja, esse binômio em regiões de plantios de soja, constituem condições ótimas para a infecção da ferrugem.

Na avaliação da ferrugem do feijoeiro, causada por *Uromyces appendiculatus*, em quatro épocas de plantio e em três cultivares, Dias et al. (2000) observaram que as maiores AACPD ocorreram no plantio de junho, seguido de julho, para todos os cultivares, isso devido a ocorrência de condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da doença.

Takahashi (2002) comparou o índice de infecção da ferrugem em plantios de eucalipto em duas regiões no estado de São Paulo (Vale do Paraíba e Ribeirão Preto), de 1993 à 1997. Observou baixa ocorrência de doença na região de Ribeirão Preto, com índice de infecção inferior a 4. Durante os 5 anos de experimento foi observado que os meses de maior incidência foram de Maio a Junho de 1997. Nesses períodos os fatores climáticos apresentaram-se muito favoráveis ao desenvolvimento da doença, com temperatura média de 18 à 23°C e o tempo de molhamento foliar foi inferior a 8 horas. Para a outra região estudada, a autora constatou índices de infecção com picos de 8 dependendo da época, tendo os maiores índices no período de abril a setembro de 1996, porém a favorabilidade climática deu-se nos meses de março a novembro deste ano.

Com o objetivo de quantificar sob condições controladas a influência da temperatura e da duração do molhamento foliar na infecção de *Melampsora medusae* em três clones de álamo com diferentes níveis de suscetibilidade, May-De-Mio e Amorim (2002) observaram que a faixa ótima da infecção foi compreendida entre as temperaturas de 16 e 21°C e a frequência de infecção aumentou com a duração do

molhamento foliar no clone suscetível sendo o tempo de 3 horas o necessário para causar a infecção.

Garçon e colaboradores (2002) avaliaram o progresso da ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix* em sete diferentes altitudes. Para esse patossistema a maior severidade é observada a temperaturas de 21 a 23,7°C. Os autores observaram que as temperaturas mínimas que ocorriam no período noturno aliado ao momento em que ocorre o molhamento foliar propiciou altos índices de infecção. A temperatura média na altitude de 740 m foram 24,2, 22,9, 21,5 e 20,5°C nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2000, à 960 m foram de 22,5, 21,8, 20,8 e 19,8°C para os mesmos meses, já para a altitude de 1275 m as temperaturas foram de 20,7, 19,9, 19,2 e 18,5°C. Com isso, os autores concluíram que a redução da incidência de ferrugem observada em plantios acima de 1000 m de altitude está associada a diminuição da temperatura e umidade.

Zauza e colaboradores (2015) avaliaram a dispersão anemófila de urediniósporos de *P. psidii* e o progresso da ferrugem do eucalipto, com isso os autores observaram que o número de urediniósporos foi maior entre os meses de julho à novembro com correlação positiva com a duração do molhamento foliar e a umidade relativa (UR) com 19°C e 80% de UR. Maior número de urediniósporos foi detectado, entre outros fatores, com a combinação de baixa temperatura média, alta umidade relativa e períodos de molhamento foliar. Os autores observaram ainda alta correlação entre a incidência de ramos e folhas atacados e o número de esporos coletados.

Bora et al. (2016) estudaram a favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná com base na temperatura e no molhamento foliar para a germinação de esporos e infecção de *P. psidii*. Os autores constataram que as estações da primavera e verão são altamente favoráveis para a ocorrência da doença e o inverno, pouco favorável. Sendo a região central do estado a mais favorável devido a baixas temperaturas e a região Sul e Norte menos favoráveis devido a uma menor umidade.

No estudo de zonas de favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no Brasil, Alvares et al. (2016) observaram que a temperatura não foi um fator que interferiu significativamente na severidade, ao contrário da umidade relativa, que foi significativa. Os autores observaram uma baixa da severidade como consequência de

uma baixa umidade relativa e uma alta temperatura média anual nas regiões de Paraopeba e Montes em Minas Gerais. No entanto, as regiões de Capão Bonito, Telemaco Borba e Itapetininga no estado de São Paulo apresentaram os mais altos índices de severidade, pois nessa região o clima possui alta umidade relativa, sendo superior a 80% e uma temperatura média entre 18 à 20°C.

Segundo os mesmos autores, as regiões do Brasil que possuem as temperaturas entre 20 e 24°C e 10 horas de molhamento foliar são as mais propícias para a ferrugem entre os meses de dezembro a abril. De julho à outubro, essas regiões passam a ser as costeiras e amazônicas, tendo temperaturas de 18 à 24°C e 8 horas de molhamento foliar. Nas regiões sul e sudeste, os autores verificaram menor severidade nos meses de maio à agosto. Embora com baixa severidade à ferrugem, essas regiões mostraram-se mais favoráveis no período de verão.

#### 4.1.4 Área foliar doente (AFD)

Observa-se que aos seis meses após o transplântio (novembro de 2013), na fase de crescimento da epidemia (Figura 3) não houve diferença significativa entre os modelos de plantio quando adubados, mas quando não adubados o T1 apresentou uma maior área lesionada pela ferrugem (Tabela 3). Houve efeito da adubação nos tratamentos A/E e 50E, sendo que os adubados tiveram maiores valores. No tratamento 100E não houve efeito da adubação.

Aos doze meses (maio de 2014), na fase de saturação (Figura 3) diferenças significativas foram observadas entre o tratamento T4, o qual diferiu de T5 e T6. Ao contrário do observado aos 6 meses, nesta avaliação, as maiores médias de área foliar lesionada total estiveram entre os tratamentos sem adubação, diferindo estatisticamente, T5 de T2 e, T6 de T3, não havendo diferença entre T4 e T1. Isso pode ser explicado devido a altura das plantas (Tabela 9), onde as árvores de eucalipto sem adubação têm a metade da altura comparada às plantas com adubação, podendo supor que a copa das plantas sem adubação, devido à menor altura, ainda estão num microclima favorável à infecção comparada às plantas com adubação que por terem um maior crescimento, seu dossel tem maior ventilação, não tornando o ambiente favorável ao desenvolvimento da doença.

Na Figura 3 observa-se no começo da fase de decréscimo da epidemia a inversão dos tratamentos com dos sem adubação aos 254 d.a.a.s., onde os tratamentos com adubação foram os primeiros a não mais apresentar os sintomas e sinais da ferrugem. Tal dado também pode ser observado aos 12 meses para a análise de porcentagem de área foliar lesionada (Tabela 3).

Aos vinte e quatro meses após o transplântio (maio de 2015), as plantas não mais apresentavam sintomas e sinais do ataque de *P. psidii* como pode ser observado na Tabela 3, onde não há área lesionada em nenhum dos tratamentos avaliados.



**Tabela 3** - Média da área foliar total (%) lesionada por *Puccinia psidii* entre os tratamentos, aos 6, 12 e 24 meses de avaliação.

Tratamentos	Área foliar total lesionada (%)					
	6 meses		12 meses		24 meses	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
100E	13,08 aA	11,51 aA	3,98 aA	4,43 bA	0,00	0,00
A/E	11,85 aA	2,74 bB	3,36 aB	6,14 aA	0,00	0,00
50E	10,64 aA	4,15 bB	4,63 aB	8,81 aA	0,00	0,00
Média	11,86	6,36	3,87	5,92	0,00	0,00
C.V. (%)	39,8		41,6		---	

Média com mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).

Na Tabela 4 observa-se que, o terço superior da copa da planta apresenta a maior área lesionada, o que sugere ser devido à presença constante de brotações novas. O mesmo pode ser visto aos doze meses, na maioria dos tratamentos, porém com as maiores médias observadas nos tratamentos sem adubação.

**Tabela 4** - Média da área foliar lesionada (%) por terço da planta (S= superior, M= mediano, I= inferior), entre os tratamentos com e sem adubação aos 6 e 12 meses de avaliação.

<b>Média de área foliar lesionada – 6 meses</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>Com</b>	<b>Sem</b>
100E	S= 7,68	S= 5,68
	M= 2,93	M= 2,79
	I= 2,47	I= 3,04
A/E	S= 6,43	S= 1,23
	M= 2,35	M= 0,75
	I= 3,06	I= 0,76
50E	S= 4,42	S= 1,97
	M= 4,49	M= 1,20
	I= 1,73	I= 0,98
<b>Média de área foliar lesionada – 12 meses</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>Com</b>	<b>Sem</b>
100E	S= 1,54	S= 1,88
	M= 0,81	M= 1,36
	I= 1,63	I= 1,19
A/E	S= 1,47	S= 2,80
	M= 1,07	M= 1,90
	I= 0,82	I= 1,44
50E	S= 1,74	S= 3,44
	M= 0,98	M= 3,64
	I= 1,91	I= 1,73

Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).

De acordo com Ferreira (1989), os aspectos foliares de uma árvore devem ser considerados, uma vez que alguns patógenos podem afetar apenas folhas nos primeiros estádios de desenvolvimento, como é o caso dos patossistemas *Oidium* sp. e *P. psidii* em espécies de eucalipto.

De modo geral, as doenças foliares, como é o caso da ferrugem, causam redução da área fotossintética, afetando diretamente o crescimento e a produção de plantas, pois causa a necrose da área foliar e, portanto, a destruição da clorofila e diminuição da fotossíntese, acarretando na redução do crescimento e da produção da planta (ZAMBOLIM e JESUS JUNIOR, 2012).

O ataque de *P. psidii*, se dá desde cepas em jardins clonais até plantas no campo, restringindo-se à órgãos tenros da planta que é comum aos terminais dos galhos, ramos e haste principal.

A área foliar é um indicador de grande importância, podendo ser utilizado para a investigação da adaptação ecológica de uma espécie, competição intra e interespecífica e também os efeitos do manejo. Pode ainda, ser usada para a determinação do índice de área foliar, o qual pode estimar a produtividade de um ecossistema vegetal, seu crescimento e desenvolvimento (MONTEIRO et al., 2005).

Mendes e Bergamin Filho (1989) estudaram a influência da idade da folha na quantificação dos períodos de incubação, latente e a frequência da infecção da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*) e verificaram que as folhas mais velhas mostraram-se mais resistentes à doença, tendo um período de incubação e latente mais longo e uma menor frequência de infecção quando comparadas às folhas mais jovens. A hipótese utilizada pelos autores para explicar tal fenômeno é que nas folhas adultas os estômatos estão mais dispersos, diminuindo a chance de penetração dos urediniósporos e também as mudanças que ocorrem no metabolismo da folha quando passam de jovens para adultas, tornando-se mais resistentes.

Segundo observações de Ferreira (1989), quando as plantas atingem o estágio fenológico B, com cerca de 3 a 4 metros de altura (com aproximadamente 18 meses de idade), elas se tornam resistentes à ferrugem, provavelmente devido a diminuição das condições ambientais favoráveis à infecção nas partes jovens suscetíveis (ALFENAS et al., 2009).

Desde os primeiros estudos de *Puccinia psidii* na década de 80 até hoje é verificado que as plantas de eucalipto que se encontram com dois anos de idade, ou no estágio fenológico C, estágio esse onde se observa que a copa da árvore está bem acima e, abaixo no caule, só observam-se os galhos, não são mais atacadas pelo patógeno assim como descrito por Ferreira (1989), fato esse também observado neste experimento.

Segundo Ferreira (1989) esse fato pode ser explicado devido às alturas elevadas das plantas, pois os órgãos tenros da plantas, ou seja, àqueles mais suscetíveis à *P. psidii*, se encontram na copa das árvores que se localizam num ambiente mais ventilado e de baixa umidade relativa. Por mais que haja os fatores de dispersão como o vento, o patógeno não encontrará variáveis favoráveis de temperatura e umidade para a sua germinação e penetração na planta.

Outro fato que pode ser considerado é de que as folhas, atingem a fase adulta. Como o eucalipto é uma planta heterófila, quando atinge os dois anos de idade as

folhas de eucalipto passam a ser adultas, havendo diferenças em formato, peciolação e disposição em relação ao eixo do caule (CASTRO, KLUGE, SESTARE, 2008) fato esse que pode, através da disposição que ocupa no eixo do caule dificultar a chegada e fixação dos esporos.

Souza (2008) quantificou alguns caracteres anatômicos em três estágios foliares (primeiro, terceiro e quinto pares de folhas) em dois clones resistente e suscetível de modo a relacionar esses caracteres com a resistência à ferrugem. A autora encontrou diferenças estruturais entre os clones e entre os estágios foliares. As folhas do quinto par e o clone resistente apresentaram maior espessura das cutículas tanto na face adaxial quanto abaxial, maior espessura do parênquima paliçádico, maior número e área de cavidades oleíferas, menor espessura da epiderme abaxial e menor espessura do parênquima lacunoso.

Com isso, foi constatado pela autora que tais caracteres podem dificultar a penetração do patógeno e a sua colonização nos tecidos do hospedeiro pois por microscopia de varredura ficou evidenciado que após 24 horas da inoculação do patógeno verificou-se apenas a germinação dos urediniósporos nos dois clones apenas no primeiro estágio foliar. Nos terceiros e quintos pares de folhas houve menor incidência de urediniósporos germinados, ressaltando que, o quinto estágio foliar mostrou-se resistente tanto no clone resistente no qual foi observado urediniósporos não germinados quando comparados com o clone suscetível, no qual foi verificado o crescimento superficial do patógeno, sem ocorrer a penetração no tecido.

Avaliando as características fenológicas e morfo-anatômicas em folhas de *E. grandis* resistentes à *P. psidii*, Silva e colaboradores (2017) observaram que a ferrugem das mirtáceas ataca principalmente o primeiro e segundo pares de folhas, diminuindo o número de urédias formadas a partir do terceiro par e, as folhas do quarto par apresentam esclerênquima mais firme e grosso. Essas características foliares anatômicas tornam as folhas resistentes mesmo sendo os clones suscetíveis, além das cavidades oleíferas estarem melhores formadas nos quartos e quintos pares de folhas, o que pode ser outro fator que confere à planta resistência à ferrugem em folhas no estágio mais avançado de maturação.

Os mesmos autores observaram ainda que os estágios foliares 1, 2 e 3 permanecem por mais tempo no campo, ou seja, tem uma velocidade menor de maturação, gerando com isso um período vulnerável à doença. Isso explica o porque

que as plantas jovens têm mais brotações novas (estágios 1, 2 e 3), sendo mais suscetíveis do que um eucalipto adulto o qual tem mais folhas resistentes (estágios 4 e 5), concluindo que o menor ataque em plantas mais velhas seja devido ao escape dessas folhas mais suscetíveis.

Deve-se ressaltar ainda que, nas folhas de eucalipto são produzidos, em cavidades globulares, nas glândulas distribuídas no parênquima lacunoso, os óleos essenciais (CASTRO, KLUGE, SESTARI, 2008) e, quando adultas essas folhas têm máxima produção desse metabolismo secundário o qual atua também nos mecanismos de defesa da planta contra fitopatógenos.

Segundo Souza (2008), o número e a área das cavidades oleíferas no parênquima foliar podem fornecer resistência à planta, visto que as substâncias e a quantidade dessas presentes nos óleos essenciais interferem na porcentagem de germinação dos esporos e no crescimento micelial de fitopatógenos. De acordo com a autora, o maior número e a maior área dessas cavidades indicam maior produção de óleos essenciais, contribuindo com isso, a proteção da planta contra agentes patogênicos.

Outro mecanismo de defesa da planta contra agentes patogênicos foi observado por Boava et al. (2010). Nesse trabalho foi avaliada a atividade das enzimas quitinases e peroxidases em folhas de eucalipto em diferentes estágios de desenvolvimento (primeiro, segundo e quarto pares de folhas) e em dois clones (resistente e suscetível) à *P. psidii*. Os autores observaram que as folhas nos primeiros estágios de desenvolvimento (primeiro e segundo pares) apresentaram alterações nos níveis das enzimas após a inoculação com *P. psidii*, evidenciando que a resposta à infecção foi seguida pela síntese das referidas enzimas. No estágio mais avançado de desenvolvimento, ou seja, o quarto par de folhas, essas apresentaram níveis superiores de atividade dessas enzimas quando atacadas por *Puccinia psidii* nos dois clones analisados.

Quando a planta atinge a fase de copa, há diminuição de novas brotações, diferentemente de quando a planta está na fase juvenil, onde há elevada atividade metabólica e um rápido crescimento. No caso do eucalipto, essa fase corresponde mais ou menos aos dois anos de idade e passa a durar até o final do seu ciclo. Durante a maturidade a planta diminui a velocidade de crescimento, desenvolvendo-se em flores e sementes e no crescimento secundário. Nesse período a demanda de

nutrientes pelas estruturas reprodutivas é a causa do menor crescimento vegetativo, além de que na maioria das plantas, praticamente todas as gemas vegetativas se transformam em gemas reprodutivas, impedindo dessa forma, novas brotações (COLL et al., 2001).

Essas mudanças são chamadas de plasticidade fenotípica que é a habilidade de um organismo em alterar sua fisiologia/morfologia em resposta a mudanças nas condições ambientais, habilidade particularmente importante para as plantas cujo estilo de vida estática requer que as mesmas lidem com as diferentes condições edafoclimáticas e bióticas (SCHLICHTING, 1986).

No primeiro ano de cultivo, todos os ramos crescem, tanto os laterais como os apicais, formando novas folhas em todo o contorno da copa. À partir de então, os ramos do terço inferior passam a ser descartados e a árvore que vai se formando, se desenvolvendo acaba ficando apenas com o terço superior da copa e as folhas que eram formadas durante todo o tempo passam a ser mais definitivas e sazonais.

#### **4.2 Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\psi_{Hf}$ ) e Déficit de Pressão de Vapor**

Em função das épocas de avaliações, ou seja, dias após o transplântio, não houve diferenças significativas entre os tratamentos até os 394 dias após o transplântio (d.a.t.) (Tabela 5). A partir desse período houve diferença entre épocas de avaliação e entre os tratamentos. Aos 394 dias de avaliação, os tratamentos T1 e T4 diferiram entre si, sendo o T1 àquele com maior déficit hídrico. Os tratamentos T2 e T5 diferiram entre si e, T5 mostra-se mais comprometido com o déficit hídrico, ao contrário do observado aos 427 d.a.t, onde já não houve diferenças significativas entre os tratamentos e os valores de potencial hídrico foliar ( $\psi_{Hf}$ ) foram maiores.

Aos 486 d.a.t., verificou-se que não houve diferença entre os tratamentos T1 e T4. Entre os plantios consorciados houve diferenças e T5 mostrou-se em condições piores de déficit hídrico, quando comparado ao mesmo plantio, porém com adubação (T2). Um dado considerável pode ser observado entre os tratamentos T2 e T6 que obtiveram os mesmos resultados, porém um com e outro sem a adição de adubação, o que pode inferir na questão da deposição de folhas da acácia sobre o solo, favorecendo uma menor evaporação do solo e mantendo uma maior umidade, proporcionando a longo prazo a decomposição da matéria orgânica. Pode ser que a

disponibilidade dos nutrientes fornecidos por essa biomassa estejam sendo absorvidos pelas plantas de eucalipto, conferindo a estas plantas uma maior resistência ao estresse hídrico, justificando o mesmo comportamento obtido em T6 embora sem adubação, devido ao maior espaçamento e uma menor competitividade entre plantas.

Aos 514 d.a.t., T1 e T3 não diferiram entre si e tiveram os maiores valores de  $\psi H_f$ , o mesmo pode ser observado entre T4 e T6. Os tratamentos consorciados T2 e T5 diferiram entre si e mostraram os valores mais baixos de  $\psi H_f$ , comparando aos demais, as plantas estavam mais hidratadas. Nas avaliações finais, aos 641 e 668 d.a.t., T1 e T4 não diferiram entre si. No entanto, T2 e T5 diferiram entre si apenas aos 668 d.a.t, porém para T5 houve diferenças entre os dias 638 e 663 d.a.t. da avaliação, o mesmo aconteceu para os tratamentos T3 e T6, os quais mostraram maiores valores de  $\psi H_f$ , para essas datas.

Quanto à epidemia de ferrugem observa-se na Figura 3 que os tratamentos que receberam adubação (T1, T2 e T3) foram os que mais apresentaram maior severidade da doença, e, se analisarmos o  $\psi H_f$  nesses tratamentos podemos inferir que o potencial hídrico apresentou maiores valores, representando um maior estresse hídrico das plantas nesses tratamentos.

**Tabela 5** - Médias dos valores do potencial hídrico antemanhã ( $\psi_{Hf}$ , em MPa (Megapascal)) entre os tratamentos e épocas de avaliação.

d.a.t	TRATAMENTOS					
	100E (com)	A/E (com)	50E (com)	100E (sem)	A/E (sem)	50E (sem)
<b>206 (Nov)</b>	- 0,015	- 0,033	- 0,017	- 0,020	- 0,032	- 0,015
<b>235 (Dez)</b>	- 0,012	- 0,013	- 0,011	- 0,013	- 0,013	- 0,013
<b>276 (Jan)</b>	- 0,025	- 0,026	- 0,028	- 0,021	- 0,028	- 0,018
<b>300 (Fev)</b>	- 0,017	- 0,018	- 0,017	- 0,013	- 0,018	- 0,016
<b>325 (Mar)</b>	- 0,012	- 0,016	- 0,015	- 0,012	- 0,015	- 0,005
<b>369 (Abr)</b>	- 0,045	- 0,037	- 0,036	- 0,030	- 0,035	- 0,026
<b>394 (Mai)</b>	- 0,086 aA **	- 0,042 bB **	- 0,063 abA **	- 0,075 bA **	- 0,143 aA **	- 0,070 bA **
<b>427 (Jun)</b>	- 0,073 aA *	- 0,071 aA *	- 0,090 aA *	- 0,053 aB *	- 0,065 aA *	- 0,040 aB *
<b>457 (Jul)</b>	- 0,023	- 0,031	- 0,032	- 0,028	- 0,020	- 0,017
<b>486 (Ago)</b>	- 0,096 aA **	- 0,045 cB **	- 0,069 bA **	- 0,097 aA **	- 0,066 bA **	- 0,045 cB **
<b>514 (Set)</b>	- 0,091 aA **	- 0,050 bB **	- 0,086 aA **	- 0,066 aB **	- 0,061 aA **	- 0,062 aB **
<b>548 (Out)</b>	- 0,078	- 0,087	- 0,098	- 0,083	- 0,065	- 0,118
<b>577 (Nov)</b>	- 0,275	- 0,412	- 0,425	- 0,450	- 0,337	- 0,462
<b>607 (Dez)</b>	- 0,312	- 0,350	- 0,412	- 0,337	- 0,375	- 0,362
<b>641 (Jan)</b>	- 0,327 bA *	- 0,362 abA *	- 0,400 aA *	- 0,312 bA *	- 0,387 aA *	- 0,337 abB *
<b>668 (Fev)</b>	- 0,300 bA **	- 0,300 bB**	- 0,375 aA **	- 0,300 bA **	- 0,362 aA **	- 0,337 abB**

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ ); Médias que não possuem letras não significativo ( $p \geq 0.05$ ). Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem). d.a.t.= dias após o transplante.



Na Figura 7 nota-se que para os dias em que houve diferenças significativas entre avaliações e tratamentos os valores de  $\psi H_f$  foram altos, o que significa que as plantas apresentavam menor grau de hidratação, podendo indicar uma situação de estresse hídrico (Tabela 7). Porém para essas mesmas datas os DPVs foram baixos (próximos de 0, de 1,0, de 0,75, de 0,75 e de 0,50), indicando que o ambiente estava em boas condições de temperatura e umidade do ar, com exceção do valor apresentado aos 486 d.a.t. de avaliação (2,0 kPa), que é um valor considerado alto, uma vez que o  $\psi H_f$ , acima de 1,0 requer atenção pois as condições edafoclimáticas não estão favoráveis, podendo a planta sofrer com estresse hídrico se essas condições se prolongarem por muito tempo.

Uma planta em boas condições hídricas, apresenta um valor de DPV entre 0,5 à 0,8, considerando que a maioria das plantas tem maior desenvolvimento com uma temperatura média máxima entre 25-28°C, temperatura média mínima entre 14-16°C e umidade relativa média entre 60-75%.

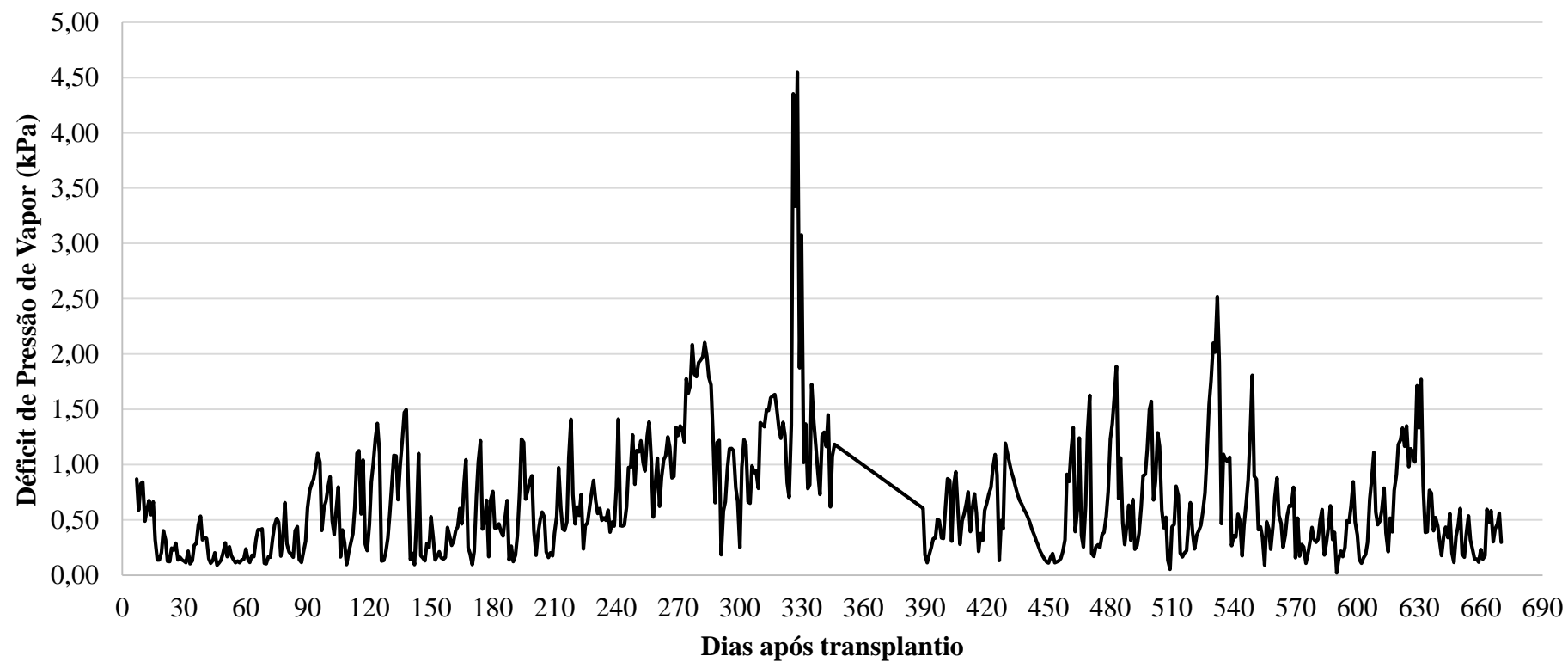
Segundo Schwider et al. (2013) estudando o efeito do déficit hídrico sob o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas observaram que os valores de DPV variam de 0,34 a 1,16 kPa.

Tatagiba et al. (2016) analisaram o crescimento de 4 clones comerciais do mesmo híbrido deste experimento em vasos, em casa de vegetação, sob diferentes condições microclimáticas e lâminas de água no substrato, obtiveram valores de DPV de 0,87 kPa para dois dos microclimas analisados e, 1,63 para o outro microclima que apresentou maior temperatura e baixa umidade relativa. Foram observadas diferenças no crescimento e produtividade dos clones afetados pelas diferentes demandas evaporativas atmosféricas obtidas em cada microclima e pelas diferentes disponibilidade hídricas do substrato. Os melhores crescimentos foram os clones que tiveram no microclima 1 com menor demanda evaporativa atmosférica associada a uma maior disponibilidade hídrica.

Observa-se para este experimento que embora o  $\psi H_f$  tenha sido alto em alguns dias de avaliação para alguns tratamentos, o DPV permaneceu adequado (kPa < 0,5) (Figura 9) ao estabelecimento da doença desde o plantio até o ponto em que a doença atinge seu máximo de infecção, 184 d.a.a.s. (Figura 3), embora durante este período houve picos com kPa maiores. Esses dados corroboram com o exposto por Figueiredo e Passador (2008), que para *Puccinia psidii*, condições climáticas, como a

temperatura anual média de 20 à 23°C e a precipitação anual média de 1100 a 1400 mm são favoráveis para o seu desenvolvimento.

**Figura 7** - Valores médios horários de Déficit de Pressão de Vapor (kPa).



A data 0 corresponde ao mês de transplante das mudas ou seja, maio de 2013.

Nos valores de  $\psi_{Hr}$  (Figura 8) observa-se um desempenho semelhante entre os tratamentos, com destaque o tratamento T5, o qual refletiu em variações aos 360 à 427 d.a.t.. Esse período reflete os meses de abril à junho de 2014, meses mais secos. Os tratamentos com maior espaçamento, com e sem adubação mineral (T3 e T6, respectivamente) foram os tratamentos que tiveram menores oscilações ao longo do tempo, o que sugere que em plantios mais espaçados, mesmo com a ocorrência de doença, as plantas apresentam-se com melhor estado hídrico.

Pode-se observar que, para os períodos de 550 a 650 d.a.t., foi o período que apresentou menor índice pluviométrico e temperaturas elevadas, no qual, justifica-se um menor  $\psi_{Hr}$  para todos os tratamentos. Ressaltando que, entre os tratamentos, T1 foi o que proporcionou melhor condição hídrica para a planta mesmo tendo um alto índice de infecção por *P. psidii*.

Analisando as relações hídricas em diferentes clones de eucalipto para ambientes com diferentes disponibilidades de água no solo, Tatagiba e colaboradores em 2008, observaram que dois dos quatro clones eram os mais indicados para plantio em áreas com elevada deficiência hídrica no solo, por apresentar maior valores de fotossíntese e crescimento. Nesses clones na condição de déficit hídrico, os valores de  $\psi_{Hr}$  estiveram próximos a 0,0 MPa (solo irrigado) e -16 MPa (solo sob déficit) para ambos os clones.

Embora ocorra diferenças entre clones, quando se considera uma doença, tais respostas podem ser díspares, pois as doenças foliares, como é o caso de *Puccinia psidii*, agravam pontualmente a fotossíntese, diminuindo a área fotossinteticamente ativa no seu processo de infecção (FERREIRA, 1989) e aumentando a transpiração, fatores esses que podem ser ainda mais afetados se doença e déficit hídrico atuarem juntos na planta.

Quanto mais alto o déficit de pressão de vapor indica um ambiente mais seco, ou seja, uma temperatura elevada e uma baixa umidade relativa, isso favorece uma maior transpiração para a planta pois essa tende a perder água para o meio. O  $\psi_{Hr}$  será menor ou mais negativo e a planta terá menos água em seu metabolismo, devido a maior transpiração e perda de água para o meio. Deus Junior (2014) estudando a transpiração e a eficiência de uso da água em plantios solteiros de *E. grandis* e consorciados com *Acacia mangium* observou maior transpiração em eucalipto nos plantios solteiros quando comparado com o plantio consorciado.

A variação da transpiração é devido à variação dos fatores abióticos tais como a temperatura diária, o déficit de vapor de pressão e a radiação solar e bióticos como a ocorrência de doenças.

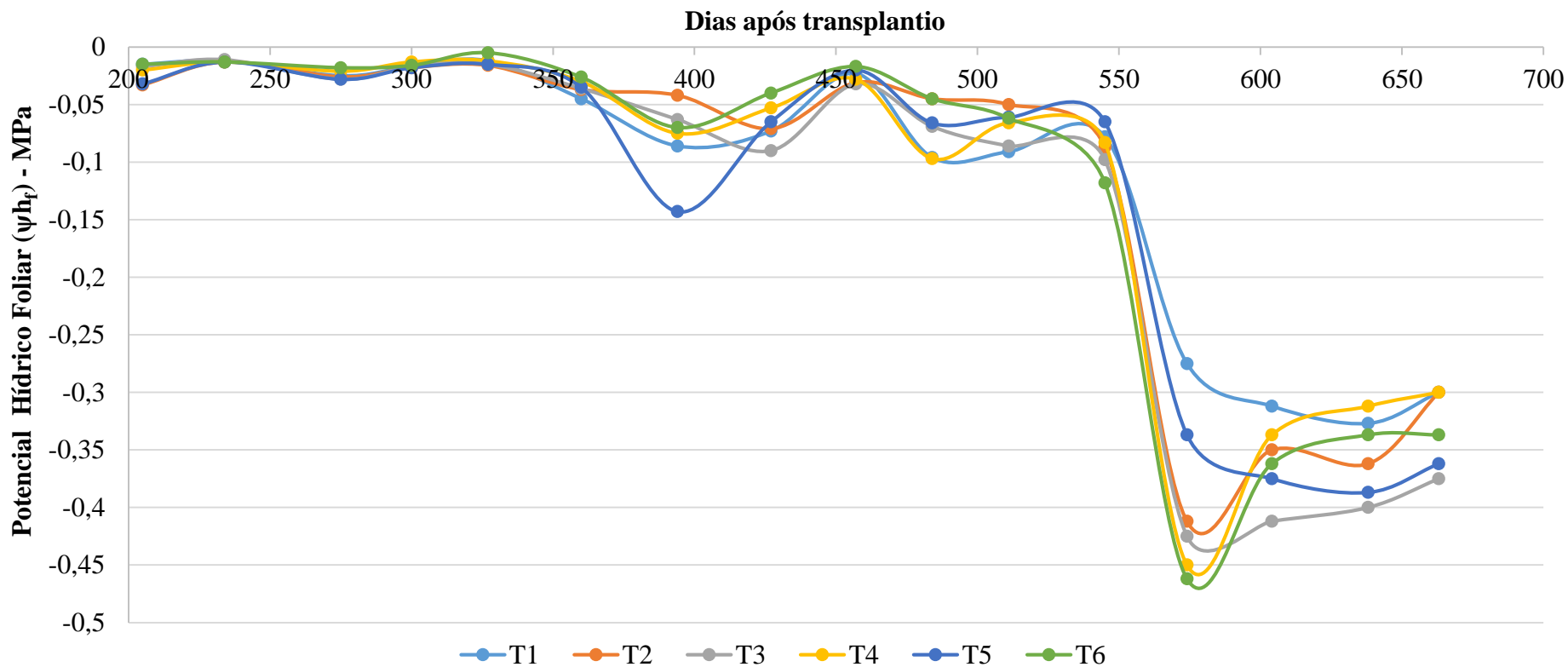
Com isso, se correlacionarmos os valores de  $\psi_{H_f}$  e DPV com a curva representativa da epidemia de ferrugem (Figura 3), pode-se observar que o pico da ferrugem ocorreu entre os 154 e 250 dias após o aparecimento dos sinais (d.a.a.s) permanecendo estável próximo aos 370 d.a.a.s.

Analisando o DPV (Figura 6) nota-se que os valores de DPV estavam baixos desde o plantio até o aparecimento dos primeiros sinais da doença (90 dias após o replantio), ou seja, um DPV adequado para o estabelecimento da doença. Os maiores picos de DPV de 2,0 e 4,50 aos 275 e 330 d.a.t. respectivamente, não afetaram a doença, uma vez que já estava estabelecida no plantio.

De acordo com Bedendo e Amorim (2011), a umidade na folha está intimamente ligada à severidade da doença até um certo período, à partir desse limiar, a doença encontra-se no seu ponto máximo de infecção e a umidade adicional passa a não ter mais influência. Contudo, o fitopatógeno pode sofrer influência direta tanto da umidade do ar quanto do solo associados à temperatura.

Tonello e Teixeira Filho (2011) avaliaram o comportamento ecofisiológico em diferentes clones de eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*) observaram valores bons de  $\psi_{H_f}$  para ambos os clones nos meses de janeiro e fevereiro, tendo um declínio nos meses de julho (-0,4 a -0,5 MPa). Os valores de  $\psi_{H_f}$  deste experimento diferem do encontrado pelos autores. As avaliações deste experimento que correspondem aos meses de janeiro e fevereiro de 2014 tiveram o mesmo comportamento, já no ano seguinte esses valores sofreram um declínio mesmo os valores de DPV sendo relativamente bons (0,5kPa), demonstrando que as plantas estavam em desequilíbrio energético em função da variação ambiental e também por variações acarretadas pela doença. Os valores de DPV encontraram-se entre 0,3 e 2,8 kPa. Esses valores corroboram com os obtidos neste experimento.

**Figura 8** - Valores médios do potencial hídrico foliar nos seis tratamentos ao longo das avaliações.



Tratamentos: T1 (100E com), T2 (A/E com), T3 (50E com), T4 (100E sem), T5 (A/E sem), T6 (50E sem).

## **. 4.3 Variáveis de Crescimento**

### **4.3.1 Altura e Diâmetro a altura do peito (DAP)**

Com relação ao desenvolvimento em altura das plantas ao longo do tempo (Tabela 6), verifica-se que nos três primeiros meses (agosto de 2013) houve diferença significativa entre os tratamentos T1 e T4 e T3 e T6, no entanto aos 24 meses nota-se a diferença entre os tratamentos, em 2 grupos, com e sem adubação.

Na avaliação aos seis, nove, 12 e 24 meses, os tratamentos com adubação, independente do modelo de implantação, foram superiores estatisticamente na variável altura. Aos seis meses, quando adubados, os plantios solteiros (T1 e T3) foram semelhantes entre si e superior ao consórcio. Porém quando não adubados não houve influência do modelo adotado.

A partir dos nove meses, não houve diferença estatística nas alturas das plantas entre os modelos, independente da adubação.

**Tabela 6** - Médias da altura (m) de plantas do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* cultivadas em plantios solteiros e consorciados, com e sem adubação, aos 3, 6, 9, 12 e 24 meses após o transplântio.

Tratamentos	3 meses		6 meses		9 meses		12 meses		24 meses	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
100E	0,52 aA	0,45 aB	1,14 aA	0,73 aB	2,87 aA	1,80 aB	4,33 A	2,97 B	10,99 A	7,94 B
A/E	0,38 bA	0,36 bA	0,85 bA	0,65 aB	2,36 aA	1,79 aB	4,15 A	2,67 B	10,37 A	7,56 B
50E	0,52 aA	0,42 abB	1,10 aA	0,66 aB	2,79 aA	1,56 aB	4,38 A	2,87 B	9,63 A	7,01 B
Média	0,47	0,41	1,03	0,68	2,67	1,72	4,28	2,84	10,33	7,50
C.V. (%)	6,50		7,03		11,00		11,03		11,52	

Diferentes letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).



Quanto às médias de DAP (Tabela 7), só houve diferença significativa aos 12 meses entre os plantios solteiros de eucalipto no maior espaçamento com e sem adubação, sendo favorável às plantas adubadas.

**Tabela 7** - Média do diâmetro a altura do peito (DAP) (m) de plantas do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação, aos 12 e 24 meses após o transplântio.

Tratamentos	12 meses		24 meses	
	Com	Sem	Com	Sem
100E	0,036 ns	0,023 ns	0,094 ns	0,082 ns
A/E	0,031 ns	0,023 ns	0,089 ns	0,073 ns
50E	0,030 a	0,025b	0,098 ns	0,094 ns
Média	0,028		0,088	
C.V. (%)	31,5		24,5	

Letras diferentes na linha diferem a 5% pelo teste de Tukey.

ns= não significativo

#### 4.3.2 Volume

O volume foi afetado apenas pela adubação, sendo que os maiores valores foram encontrados nos tratamentos adubados, tanto aos 12 quanto aos 24 meses (Tabela 8).

A Tabela 9 mostra o incremento médio anual entre as datas avaliadas. Novamente os tratamentos com adubação se destacam entre os sem adubação, tendo um maior incremento médio anual as plantas de eucalipto com maior espaçamento para 1 ano quanto para o segundo ano.

**Tabela 8** - Média do volume individual (m<sup>3</sup>) de plantas do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação, aos 12 e 24 meses após o transplântio.

Tratamentos	12 meses		24 meses	
	Com	Sem	Com	Sem
100E	0,0050 a	0,0026 b	0,0251 a	0,0123 b
A/E	0,0066 a	0,0019 b	0,0270 a	0,0088 b
50E	0,0077 a	0,0037 b	0,0287 a	0,0138 b
Média	0,0046		0,0193	
C.V. (%)	55,9		36,0	

Letras minúsculas diferentes na linha diferem a 5% pelo teste de Tukey.

**Tabela 9** - Volume total de madeira (m<sup>3</sup>) por parcela e por ha e incremento médio anual (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>/ano) entre os tratamentos com 1 e 2 anos após o transplântio.

<b>Volume Total (madeira com casca) – 1 ano</b>				
<b>Tratamento</b>	<b>Adubação</b>	<b>Vol/ parcela (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol/ha (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IMA (m<sup>3</sup>.ha.ano)</b>
100E	com	0,2747	7,99	7,99
A/E	com	0,3603	10,48	10,48
50E	com	0,4252	6,19	6,19
100E	sem	0,1426	4,15	4,15
A/E	sem	0,1052	3,06	3,06
50E	sem	0,2035	2,96	2,96
<b>Volume Total (madeira com casca) – 2 ano</b>				
<b>Tratamento</b>	<b>Adubação</b>	<b>Vol/ parcela (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol/ha (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IMA (m<sup>3</sup>.ha.ano)</b>
100E	com	1,3822	40,21	20,10
A/E	com	1,4703	42,77	21,39
50E	com	1,5798	22,98	11,49
100E	sem	0,6790	19,75	9,88
A/E	sem	0,4859	14,14	7,07
50E	sem	0,7594	11,05	5,52

#### 4.3.3 Biomassa

Quanto à biomassa total do experimento, a Tabela 10 apresenta os dados com 12 e 24 meses após o transplântio. Não houve diferença entre as formas de plantio em nenhuma das avaliações realizadas.

Maiores diferenças foram observadas nos dados do 1º ano quando se compara o fator adubação. Houve diferenças nos tratamentos 100E, no plantio consorciado e no plantio com maior espaçamento (50E), tendo os tratamentos com adubação os melhores incrementos em biomassa.

Os mesmo foi observado na biomassa aos 24 meses após o transplântio, não diferindo as formas de plantio apenas o fator adubação, em destaque o plantio consorciado que teve um maior incremento quando comparado ao mesmo tratamento sem adubação.

O plantio com 100E com adubação foi àquele que obteve as maiores médias de biomassa, seguido do plantio consorciado. O plantio com maior espaçamento (50E), portanto com menor competição não mostrou-se o fator que contribui para o maior rendimento em biomassa área.

**Tabela 10** - Média da Biomassa total (folhas, galhos e tronco) em kg/ha<sup>-1</sup>, após o primeiro e segundo ano do transplante, de plantas do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* cultivadas em plantios solteiros e consorciados com e sem adubação.

Tratamentos	Biomassa 1º ano		Biomassa 2º ano	
	Com	Sem	Com	Sem
100E	8239,1 Aa	4655,7 Ab	42284,9 Aa	32019,5 Aa
A/E	8870,9 Aa	4269,2 Ab	39538,5 Aa	24256,9 Ab
50E	6700,9 Aa	3709,7 Ab	29159,8 Aa	22180,2 Aa
<b>Média</b>	7937,0	4211,5	36994,4	26152,2
<b>C.V. (%)</b>	41,9		46,2	

Diferentes letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

DeBell e colaboradores (1989) estudando o plantio consorciado de *Eucalyptus saligna* com a leguminosa *Albizia falcataria* observaram em quatro anos depois do plantio um incremento de nitrogênio 34% maior em árvores de eucalipto consorciados quando comparado ao monocultivo. Com isso, a biomassa total teve um aumento de 28 kg no plantio consorciado (89% eucalipto 11% albizia) e 66 kg no plantio consorciado (34% eucalipto 66% albizia). Foi observado que a biomassa total nos plantios consorciados 66:34; 50:50; 34:66 (eucalipto:albizia) foi bem maior quando comparados ao monocultivo de eucalipto mesmo recebendo adubação.

Tal fator deve ser considerado neste trabalho uma vez que no segundo ano a biomassa do plantio consorciado foi de 2746,4 Kg/ha<sup>-1</sup> de biomassa aérea total a menos que o plantio com 100E ambos com adubação, quando comparado a 13125,1 Kg/ha<sup>-1</sup> da biomassa do plantio com maior espaçamento de eucalipto (50E).

Vezzani, Tedesco e Barros (2001) analisando alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto também com uma leguminosa (*Acacia mearnsii*) observaram após quase quatro anos do plantio, um maior teor de matéria orgânica e nitrogênio total no solo do plantio consorciado em relação ao monocultivo. Foi observado que as plantas de eucalipto no plantio consorciado absorveram mais

nitrogênio (22%) quando comparado ao monocultivo. Embora o favorecimento do eucalipto pelo suprimento de nitrogênio ofertado pela acácia, o crescimento em altura e o DAP, respectivamente, das árvores de eucalipto em monocultivo (15,1 m e 12,4 cm) e consorciados (15,7 m e 13,2 cm) não diferiram estatisticamente entre os sistemas de cultivo.

Segundo os mesmos autores o mesmo ocorreu com o volume total de madeira, onde o volume obtido em plantios consorciados não diferiu estatisticamente do monocultivo.

Na avaliação de danos causados por *Puccinia psidii* em eucalipto, Takahashi (2002), observou diferenças significativas entre plantas sadias e acometidas pela doença. Entre as variáveis analisadas, a altura média, a diferença entre plantas sadias e doentes com o maior nível de severidade foi de 35,81%, para o diâmetro essa diferença foi de 50,49%.

Embora a autora tenha concluído que a doença possa causar reduções da ordem de até 50% na produção de volume de madeira, neste experimento, para as avaliações do crescimento inicial do eucalipto (2 anos), a redução nas variáveis de crescimento, são observadas à nível de adubação. Se adubadas, as árvores mesmo com o ataque de *P. psidii*, apresentam um bom crescimento, volume e DAP. Porém foi observado por Balmelli e colaboradores (2013) que, plantas atacadas pela ferrugem, no final da rotação podem apresentar uma diminuição de 20 a 25% no diâmetro.

Levantamentos efetuados nas regiões do Vale do Paraíba e sul do estado de São Paulo revelaram incidências de até 35% de árvores doentes em plantios de *Eucalyptus grandis*, com idade em torno de 6 meses. As plantas infectadas apresentaram reduções médias entre 25-35% em altura e diâmetro, quando comparadas com plantas sadias (SILVEIRA & HIGASHI, 2003).

No trabalho de Rondon (2006), o autor avaliou durante mais de seis anos a circunferência, a altura total e a biomassa de plantas de *Tectona grandis* em diferentes densidades populacionais, obtidas com diferentes espaçamentos (3 x 2 m; 3 x 3m; 4 x 3 m; 5 x 3 m; 4 x 4 m; 5 x 5 m) e arranjos de plantio. Verificou que houve com o aumento da densidade populacional houve a diminuição da circunferência das plantas embora a altura permaneceu constante e, nos espaçamentos mais adensados houve maior produção da biomassa aérea total.

Nesta pesquisa também foi verificado uma menor circunferência nos tratamentos mais adensados, sem inferir tanto na altura, a qual foi mais influenciada pela adubação que pelo espaçamento. Os dados de biomassa corroboram com os dados de Rondon (2006) em que, o tratamento mais adensado, com adubação (100E) foi o que apresentou maior valor de biomassa área total.

Rossi (2013) no trabalho de análise temporal e quantificação de danos de *Puccinia psidii*, em dois clones diferentes, entre eles o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* (2392) e o híbrido de *E. grandis* x *E. dunnii* (2156) em espaçamento 3 x 3 m, avaliando a incidência da doença, a altura, o diâmetro e a biomassa nesses clones, observou que o clone 2392 é o mais suscetível comparado ao outro clone testado. Foi verificado que somente após o controle da ferrugem com químico houve um aumento do crescimento da planta, tendo a diferença de 1,72 m (planta tratada) contra 1,41 m (planta não tratada). O mesmo foi observado para a biomassa dessas árvores. Para a outra variável, o volume, o clone 2392 produziu maior volume em relação ao outro clone testado, independentemente da utilização ou não do controle químico.

No crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes arranjos de plantio (quatro espaçamentos) no sistema de curta rotação, Machado (2014) analisou aos 12 e 24 meses o comportamento desse clone quanto ao diâmetro, área basal, volume, densidade básica da madeira e biomassa seca. Dentre essas variáveis, foi observado pelo autor um maior diâmetro das árvores de eucalipto em plantios mais espaçados, para o volume e a biomassa, o autor detectou aumento significativo entre os plantios com maiores espaçamentos, esses dados não corroboram com os resultados obtidos neste experimento na avaliação da biomassa, tendo o plantio mais espaçado (50E) um menor incremento em biomassa aérea total.

Tumura (2015) avaliando o acúmulo de biomassa em seis genótipos de *Eucalyptus* spp. sob influência do cancro, causado pelo fungo *Chrysosporthe cubensis*, constatou, uma diminuição do volume das árvores atacadas. Diferenças estatísticas foram encontradas entre a densidade básica de tronco e casca entre os clones estudados, apresentando os menores valores os clones que mais apresentaram suscetibilidade à doença. O mesmo foi observado em perda de DAP e volume em função do aumento da severidade.

Caron e colaboradores (2015) estudaram a capacidade de produção de biomassa aérea das espécies de *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa*

*scabrella* e *Ateleia glazioviana*, distribuídas em diferentes espaçamentos de plantio (2,0 x 1,0 m; 2,0 x 1,5 m; 3,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,5 m) nas idades de 1 e 3 anos. Os autores verificaram que a maior produção de biomassa foi obtida nos espaçamentos mais adensados concentrando-se principalmente em tronco e galhos das árvores derrubadas, sendo as espécies de acácia e eucalipto àquelas que se destacaram. Os resultados obtidos neste experimento mais uma vez corroboram com os encontrados também por esses autores.

Mesmo quando a planta está sob ataque de *Puccinia psidii*, como verificado neste estudo, um maior espaçamento acrescido de uma adubação provê à planta suporte para um melhor desenvolvimento, em razão de uma menor competição quando comparado aos plantios mais adensados, principalmente nos dois primeiros anos do eucalipto, onde a biomassa da copa é maior devido ao crescimento da espécie. Com uma menor competição, a planta se beneficia de água, nutrientes e condições de luminosidade, tendo um maior crescimento nos dois primeiros anos e posteriormente um maior incremento da biomassa.

Neste experimento não foi avaliado o incremento do teor do nitrogênio nas árvores de eucalipto mas foi possível observar um maior desenvolvimento do eucalipto nos plantios consorciados (T2 e T5), seguidamente do plantio 100E. O eucalipto ocupa o dossel superior, estabelecendo uma competição interespecífica por água, nutrientes e luz, na qual a acácia beneficia a espécie de eucalipto através da decomposição e liberação de nutrientes da sua serapilheira. Porém a acácia é suprimida nesses dois primeiros anos quanto ao seu desenvolvimento.

Para este experimento, considerando que todos os tratamentos estavam sob influência da ferrugem, quanto ao crescimento (altura e diâmetro a altura do peito), volume e biomassa, constata-se que o plantio consorciado não influenciou nas variáveis de crescimento, tendo a adubação como o fator de variação entre os tratamentos, ou seja, os tratamentos que receberam adubação (T1, T2 e T3), embora também infectados por *Puccinia psidii* em maior intensidade, o uso da adubação química resultou num maior crescimento em altura, DAP, volume e biomassa. Apesar do estresse sofrido pelas plantas sob estresse biótico, as plantas com adubação conseguiram se desenvolver mais que àqueles que não receberam adubação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os plantios consorciados de eucalipto com espécies de leguminosas arbóreas podem, segundo DeBell e Harrington (1993) serem mais produtivos que o monocultivo, pois no plantio consorciado as plantas de cada espécie apresentam diferenças no crescimento fenológico, na formação da copa, no sistema radicular bem como nas exigências nutricionais. Com isso, plantas de diferentes espécies podem se complementar para a captação de recursos como água e nutrientes, resultando numa diferenciação metabólica quando comparado ao monocultivo e também, a associação com duas espécies pode favorecer a formação de barreira física entre plantas, o que dificulta a inoculação.

Como visto no presente estudo, nos dois primeiros anos o eucalipto se desenvolve muito bem, mesmo em competição com *A. mangium*. Porém para a epidemia de ferrugem os plantios consorciados não diferiram do monocultivo em nenhum dos espaçamentos avaliados. A adubação foi o fator preponderante.

Observou-se que o eucalipto ocupou o dossel superior do plantio, estabelecendo uma competição interespecífica com a acácia. Esta, embora seja uma espécie pioneira, devido a competitividade com o eucalipto ocupou o estrato inferior nos dois primeiros anos, não estabelecendo a barreira física desejada para reduzir o estabelecimento da ferrugem, que ocorre normalmente nos primeiros dois anos de plantio.

Nos plantios consorciados, o eucalipto apresentou a média de altura e DAP, respectivamente, 4,15 m/0,031 m com adubação e, 2,67 m/0,023 m sem adubação aos doze meses, e aos vinte e quatro meses com 10,77 m/0,089 m com adubação e, 7,56 m/0,073 m sem adubação. Para a acácia, 3,59m/0,03m com adubação, 2,97m/0,03m sem adubação, aos doze meses estabilizando o crescimento no ano seguinte. Essa supressão de árvores de *Acacia mangium* quando comparadas entre plantios mistos com eucalipto também foi observada por Deus Junior (2014). Essa supressão ocorreu aos 17 e 24 meses de idade do plantio, acarretando em diminuição da altura e da área basal das árvores de acácia, segundo Bouillet et al. (2013) e Laclau et al. (2008).

Portanto, a acácia não é eficaz como barreira física ao agente causal de ferrugem.

Uma proposta para melhorar este consórcio e atingir os objetivos desejados, seria realizar, primeiramente, o plantio de árvores de acácia, de modo que ela se estabeleça sem competição e, doze meses depois o plantio com eucalipto nas entrelinhas, pois a barreira física que a acácia poderá proporcionar estará estabelecida, bem como a oferta de nutrientes, principalmente o nitrogênio, através da matéria orgânica da serapilheira oferecida pela acácia e decomposta pela ação microbiana, trazendo dessa forma, benefícios como a barreira física aos plantios de eucaliptos suscetíveis à ferrugem, bem como benefícios ecológicos como a diversidade ambiental e econômicos como a redução de custos com adubação nitrogenada, uma vez que a demanda de nitrogênio é alta em plantios de eucalipto até a formação da copa.



## 6 CONCLUSÕES

A epidemia de ferrugem teve duração de 454 dias após o aparecimento dos primeiros sinais (d.a.a.s.) da doença, tendo seu nível máximo aos 184 d.a.a.s., o índice de risco e o déficit de pressão de vapor foram favoráveis à epidemia.

Os plantios consorciados não diferiram do monocultivo em nenhum dos espaçamentos avaliados, quanto a intensidade da doença. A adubação foi o fator preponderante.

O plantio de eucalipto adubado com maior espaçamento (T3) obteve maior DAP; o mesmo foi obtido quanto ao volume, quando comparado aos outros sistemas de plantio com adubação e, para a biomassa o mesmo efeito foi verificado;

Até os dois anos de idade plantas de acácia ocupam o estrato inferior e as de eucalipto o dossel superior, com isso plantas de *A. mangium* não constituíram uma barreira física para a epidemia de ferrugem.

Dentre os fatores testados, a adubação foi o de maior relevância, apesar da maior intensidade de ferrugem, os arranjos de plantio obtiveram os melhores resultados de crescimento.

## REFERÊNCIAS

ALFENAS, A.C.; et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. (2ª ed.). Viçosa: Editora UFV, Viçosa, MG:, 2009. 500 p.

ALVARENGA, C. B. et al. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.

ALVARES, C.A. et al. Climatic favourability zones for *Eucalyptus* rust in Brazil. **Forest Pathology**, jun. p. 1-17, 2016. [<http://dx.doi.org/10.1111/efp.12301>].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

AUER, C.G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E.J. et al. **Microbiologia do solo**. Campinas: Ed. da UNESP, 1992. p. 160-167.

BALMELLI, G. et al. Long term losses caused by foliar diseases on growth and survival of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. **New Forest**, v. 44, n. 2, p. 249-263, 2013.

BEDENDO, I.P.; AMORIM, L. Ação do ambiente sobre o patógeno e sobre o ciclo das relações patógeno-hospedeiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIM FILHO, A. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 4 Ed., v. 1, cap. 7, p. 139-147, 2011.

BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1996, 299p.

BERGER, R.D. The analysis of the effects of control measures on the development of epidemics. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Eds) **Experimental techniques in plant disease epidemiology**, Heidelberg, Springer-Verlag, 1988, p. 137-151.

BOAVA, L.P. et al. Atividade de quitinases e peroxidases em folhas de eucalipto em diferentes estágios de desenvolvimento após o tratamento com acibenzolar-S-metil (ASM) e inoculação com *Puccinia psidii*. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 2, p. 124-128, 2010.

BORA, K.C. et al. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 24-42, 2016.

BOUILLET, J.P. et al. *Eucalyptus* and *Acacia* tree growth over entire rotation in single and mixed species plantation across five sites in Brazil and Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 89-101, 2013.

CARON, B.O. et al. Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 106-112, 2015.

CASTRO, H. A. de, et al. .Inoculação cruzada de *Eucalyptus*, goiaba (*Psidium guajava*) e jameiro (*Syzygium Syzygium jambos*) com *Puccinia psidii*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 8, p. 491-497, 1983

CASTRO, H.A. de. **Padronização de metodologia de inoculação e avaliação de resistência de *Eucalyptus* sp. à ferrugem causada por *Puccinia psidii* Winter.** Piracicaba, 1983. 116 p. Tese de Doutorado. ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos.** Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 864 p., 2008.

COELHO, S.R.F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas.** 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em, Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

COLL, J.B. et al. **Fisiología vegetal.** Ed. Pirámide, Madrid, Spain, 566p., 2001.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA - CIB. 2008. Guia do Eucalipto: Oportunidades para um desenvolvimento sustentável. 2008. 20p. Disponível em: [http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia\\_do\\_Eucalipto\\_junho\\_2008.pdf](http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf) Acesso em: 22 de Outubro de 2016.

DeBELL, D.S.; WHITESELL. C.D.; SCHUBERT, T.H, Using N<sub>2</sub>- fixing *Albizia* to increase growth of *Eucalyptus* plantations in Hawaii. **Forest Science**, v. 35, p. 64-75, 1989.

DEUS JUNIOR, J.C. de. **Transpiração e eficiência de uso da água em plantios puros e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*.** Dissertação de Mestrado. Unesp, Botucatu, SP, 69 p., 2014.

DI STEFANO, J. F. et al. Invasive potential of *Syzygium jambos* (Myrtaceae) in forest fragments: the case of Ciudad Colon, Costa Rica. **Revista de Biologia Tropical**, San Jose, v. 46, p. 567-573, 1998.

DIANESE, J.C.; MORAES, T.S.A.; SILVA, A.R. Response of *Eucalyptus* species to field infection by *Puccinia psidii*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 68, p. 314-316, 1984.

DIAS, V.M. et al. Progresso da ferrugem em quatro épocas de plantio do feijoeiro em Campos do Goytacazes, RJ. **Fitopatologia brasileira**, Abstract 248, v. 25, p. 369, 2000.

DUFFY, B.K.; DÉFAGO, G. Macro-and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in soilless production system. **Hortscience**, Alexandria, v.34, n.2, p.287-291, 1999.

FERREIRA, F.A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do Eucalipto no Brasil**. Mogi Guaçu, SP, International Paper, 98p., 2002.

FERREIRA, F. A. Ferrugem do Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, p. 91-109, 1983.

FERREIRA, F. A. Ferrugem do Eucalipto. In: **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1989. p. 129-152.

FIGUEIREDO, M. B. Doenças fúngicas emergentes em grandes culturas. **O Biológico**, São Paulo, v. 63, n. 1/2, p. 23-32, 2001.

FIGUEIREDO, M. B.; COUTINHO, L. N.; HENNEN, J. F. Estudos para determinação do ciclo vital de *Puccinia psidii* Winter. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 53-54, 1984.

FIGUEIREDO, M. B.; PASSADOR, M. M. Morfologia, funções dos soros e variação dos ciclos vitais das ferrugens. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 75, n. 1, p. 117-134, 2008.

FOELKEL, C. Os Eucaliptos e as Leguminosas: *Acacia mangium*. In: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 112p., 2012, Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em 30 jan. 2013.

FORRESTER, D.I. et al. Assessing nitrogen fixation in mixed- and single-species plantations of 62 *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Tree Physiology*, Oxford, n. 27, p.1319–1328, 2007.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. Carbon allocation in a mixedspecies plantation of *Eucalyptus globulos* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p.275-284, 2006.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 209, n. 1/2, p. 144-155, 2005.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; KHANNA, P.K. Growth dynamics in a mixedspecies plantation of *Eucalyptus globulos* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n.1/2, p.81-95, 2004.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FUJIHARA, A. K.; KAZI, M.C.M.; SARTORI, M. S. **Zoneamento de *Eucalyptus* spp. no Brasil e ocorrência de patógenos.** Trabalho apresentado na Disciplina de Patologia Florestal. Botucatu: FCA/UNESP, 1994. 35 p. Não publicado.

FURTADO, E.L.; MARINO, C.L. *Eucalyptus* rust management in Brazil. In: Of the Second IUFRO RUSTS OF FOREST TREES WORKING PARTY CONFERENCE, 2., 2003. Yangling. **Proceedings...** Yangling: Chinese Academy of Forestry, 2003. p. 118-124.

FURTADO, E.L., SANTOS, C.A.G. **Doenças em viveiros de *Eucalyptus* spp.: diagnóstico e manejo.** Votorantim Celulose e Papel, Botucatu. 2001. 23 p.

FURTADO, E.L. et al. **Doenças do eucalipto no Brasil.** Botucatu. 2009, 74 p.

GALLI, F. Doenças da goiabeira. In: GALLI, F. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 335-337.

GARÇON, C.L.P. et al. Progresso da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) em diferentes altitudes. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, SP, v. 28, p. 267-270, 2002.

GASPAROTTO, L. et al. Efeito da temperatura e umidade sobre a infecção de seringueira (*Hevea* spp.) por *Microcyclus ulei*. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 38-41, 1989 a.

GASPAROTTO, L. et al. Epidemiologia do mal das folhas da seringueira. I – Ponte Nova – MG. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 65-70, 1989 b.

GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Influência da duração do molhamento foliar e da temperatura no desenvolvimento da ferrugem do milho causada por *Puccinia polysora*. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n.2, p. 160-165, 1999 a.

GODOY, C.V. et al. Avaliação do progresso da ferrugem do milho em diferentes localidades e épocas de plantio. In: **Congresso Paulista de Fitopatologia**, 21, Abstract 144, Botucatu, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, p. 117, 1999 b.

GOMES, E.R. et al. Potencial hídrico foliar da melancia em resposta a variação no conteúdo de água no solo. **Irriga, Edição Especial 01**, p. 29-39, 2014.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. Qualidade da Madeira. In: BOREM, A. **Biociência Florestal**. Viçosa Ed., Viçosa, 2007. 144 p.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypts plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 45-61, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.601-616, 2001.

GRAHAM, R.D.; WEBB, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; Welch, R.M. (eds.), **Micronutrients in Agriculture**, 2ed. Soil Science Society of America. 1991. p. 329-370.

HAWKSWORTH, D.L. et al. **Dictionary of the fungi**. 8ª ed. CAB International, New York, USA, p. 759, 1995.

HARWOOD, C.E.; NAMBIAR, E.K.S. Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 2. Trends and variations. **International Forestry Review**. Oxford, v.16, p.249–260, 2014.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 273-283. 2016.

HUBER, D.M. **The role of mineral nutrition in defense**. In :Horstall, J.G. & Cowling, E.B.(eds). *Plant disease an advanced treatse*, v.5. Academic Press Inc, ed. 1980. p. 381- 406.

HUBER, L.; GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review Phytopathology**, v. 30 p. 553-577, 1992.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBÁ 2016. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em 30 de outubro de 2017.

JOFFILY, J. Ferrugem do *Eucalyptus cloeziana*. **Bragantia**, Campinas, v. 4, p. 475-487, 1944.

JOLY, A.B. **Botânica: Introdução à taxonomia vegetal**. 13ª ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2002. 634 p.

JUNGHANS, D.T. **Quantificação da severidade, herança da resistência e identificação de marcadores RAPD ligados à resistência à ferrugem (*Puccinia psidii*) em *Eucalyptus grandis***. Viçosa, 2000. 53p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

KAWANISHI, T. et al. First report of rust disease on ohia and the causal fungus, *Puccinia psidii*, in Japan. **Journal of General Plant Pathology**, Tokyo, v. 75, n. 6, p. 428-431, 2009.

KRANZ, J. Comparasion of epidemics. **Annual Review of Phytopathology**, 12, p. 355-374, 1974.

KRUGNER, T.L. Doenças do eucalipto. In: GALLI, F. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**, 2ª ed. São Paulo, Agronômica Ceres, v. 2, 1980, p. 275-296.

KERN, F.D.; THURSTON, H.W.; WETZEL, H.H. Annotated index of the rusts of Colombia. **Mycologia**, New York, v. 25, n. 6 p. 448-503, 1933.

LACLAU, J.P. et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3905-3917, 2008.

LACLAU, J.P. et al. Nutrient cycling in a clonal stand of eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo. Input – output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 201, n. 1/3, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J.-P. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.9, p. 1771-1785, 2010.

LACLAU, J.P. et al. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolenses *Eucalyptus* plantations. **Annals of Botany**, London, v.53, p. 249-261, 2004.

LAUDON, G.F.; WATERSTON, J.M. *Puccinia psidii*. Kew: Commonwealth Mycological Institute - Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria, 56, 1965.

MACHADO, F.C. **Crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes arranjos de plantio no sistema de curta rotação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu-São Paulo, 45p., 2014.

MACLACHLAN, J.D. A rust of the pimento tree in Jamaica. **British West Indies Phytopathology**, St. Augustine, v. 28, n.8, p. 157-170, 1938.

MAIER, W. et al. A new *Eucalyptus* rust from Mozambique and South Africa. **Phytopathologia Mediterranea**, Bologna, v. 49, n. 3, p. 423, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p .

MAFIA, R.G.; MARCHESI, H.P.; AUN, C.P. Avaliação de clones de eucalipto para resistência à ferrugem em condições de micropropagação. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v. 36, n. 5, p. 843-849, 2012.

MARLATT, R. B.; KIMBROUGH, J. W. *Puccinia psidii* on *Pimenta dioica* in South Florida. **Plant Disease Report**, Illinois, v. 63, p. 510-512, 1979.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888 p.

MAY-DE-MIO, L.L.; AMORIM, L. Influência da temperatura e da duração de molhamento foliar nos componentes monocíclicos da ferrugem do álamo. **Summa Phytopathologica**, v. 28, p. 33-40, 2002.

MENDES, B.M.J.; BERGAMIM FILHO, A. Influência da idade da folha na quantificação dos parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 26-28, 1989.

MONTAGNINI, F. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 134, 1/3, p. 257-270, 2000.

MONTAGNINI, F.; GONZALES, E.; PORRAS, C. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. **Commonwealth Forest Review**, Oxford, v. 74, n.4, p. 306-314, 1995.

MONTEIRO, J.E.B.A. et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n. 01 p. 15-24, 2005. .

MORAES, W.B. et al. Mapeamento de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 2, p. 147-155, 2014.

MOURA, J.I.L.; LEITE, J.B.V. Consórcios com coqueiro no sul da Bahia. Disponível em:<<http://www.ceplac.gov.br/radar.pdf>> Acesso em: 10 abril 2013.

PEGG, G. et al. **Understading myrtle rust epidemiology and host specificity to determine disease impact in Australia**. Cooperative Research Centre for National Plant Biosecurity, p. 1-35, 2012.

PEREIRA, A.V. et al. **Seringueira em sistemas agroflorestais**. Planaltina: Embrapa-CPAC, Documentos, 63, 1996. 42 p.

PEREIRA, J.C.D. et al. Características da madeira de algumas espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas-CNPQ, Documentos, 38, 2000. 112 p.

PEREZ, C. A. et al. *Puccinia psidii* infecting cultivated *Eucalyptus* and native myrtaceae in Uruguay. **Mycological Progress**, Heidelberg, v. 10, n.3, p. 273-282, 2010.

PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berna, International Potash Institute, 1990. 363 p.

PIERI, C. de. **Caracterização de *Puccinia psidii*, identificação de mirtáceas diferenciadoras de raças fisiológicas e estudos anatômicos do limbo foliar relacionados à resistência**. 2012. 186 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.



RAYACHHETRY, M. B.; ELLIOTT, M. T.; VAN, T. K. Natural epiphytotic of the rust *Puccinia psidii* in *Malaleuca quinquenervia* in Florida. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, p. 831, 1997.

REICH, P.B.; HINCKLEY, T.M. Influence of pre-dawn water potencial and soil-to-leaf hydraulic conductance of maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. **Ecology**, New York, v. 3, p. 719-726, 1989.

RODRIGUES, L.A.; MARTINS, M.A.; SALOMÃO, M.S.M.B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. I – Crescimento, absorção e transferência de nitrogênio entre plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 583-591, 2003.

RONDON, E.V. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 337-341, 2006.

ROSSI, A.N. **Ferrugem do eucalipto: análise temporal e quantificação de danos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, ES, 40p., 2013.

RUIZ, R.A.R. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) do eucalipto**. Viçosa, 1988, 108 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

RUIZ, R.A.R. et al. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii*, em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, p. 55-61, 1989a.

RUIZ, R.A.R. et al. Progresso da ferrugem do *Eucalyptus cloeziana*, causada por *Puccinia psidii*, em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, p. 73-81, 1989b.

SANTOS, C.A.G.dos. **Estudos epidemiológicos da ferrugem do eucalipto causada por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. Dissertação de mestrado. Unesp, Botucatu, São Paulo, 66p., 2006.

SCHLICHTING, C.D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. Texas, **Annual Review of Ecological and Systematics** 17:667-693. 1986.

SCHOLANDER, P.F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v.148, p.339-346, 1965.

SCHWIDER, Y.S. et al. Efeito do deficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiania, GO, v. 9, n. 16, 2013. p. 888-900.

SCHUMACHER, M.V.; VIEIRA, M. Biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho em sistema agrossilvicultural. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 259-265, 2011.

SCHUMACHER, M.V.; VIEIRA, M. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n.2, p. 225-233, 2010.

SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v. 67, n. 6408, p. 1051-1056, 1997.

SCOTT, K.J.; MACLEAN, D.J. Culturing of rust fungi. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, p. 123-46, 1969.

SILVA, R. R. et al. Pr-Infection Stages of *Austropuccinia psidii* the Epidermis of *Eucalyptus* Hybrid Leaves with Different Resistance Levels. **Forests**, v. 8, n. 10, p. 362- 374, 2017.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. **Levantamento e estudo do mercado e uso de fertilizantes em florestas brasileiras**. Piracicaba, **Relatório técnico**, IPEF/ESALQ. 1995. 117 p.

SILVEIRA, R.L.V.A.; GAVA, J.L.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus* In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**, Piracicaba: POTAFOS. 2005. 841 p.

SILVEIRA, R.L.V.A. et al. Resultados Preliminares do Projeto “Influência do Estado Nutricional do *Eucalyptus* na Predisposição à Ocorrência da Ferrugem (*Puccinia psidii*). **Relatório Técnico**. 44p. 1998.

SILVEIRA, R.L.V.A; HIGASHI, E.N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, n. 200, p. 1-13, dez., 2003.

SILVEIRA, V. D. Elementos de fitopatologia *Puccinia psidii*, ferrugem das Mirtáceas. **Agronomia**, v. 10, p. 218-24, 1951.

SOUZA, R. R. S. **Caracterização anatômica quantitativa e composição de óleos essenciais em três estágios foliares de clones de eucalipto e sua relação com a ferrugem**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 104 p., 2008.

SPEGAZZINI, C. Uredineas argentinas. **Revista Argentina de Botanica**, La Plata, v. 1, n. 2/3 p. 93-145, 1925.

SANTANGARLIN, J.R. et al. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-46, 2011.

TAKAHASHI, S.S. **Ferrugem do eucalipto: Índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionados à intensidade da doença no campo.**

Botucatu, 2002. 101p. Dissertação (Mestrado/Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002.

TATAGIBA, S.D. et al. Crescimento de clones de eucalipto em diferentes condições microclimáticas e lâminas de água no substrato. **Irriga**, Botucatu, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 104-118, janeiro-março, 2016.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, Paraná, v. 38, n. 2, abr./jun., p. 387-400, 2008.

TONELLO, K.C.; TEIXEIRA FILHO, J. Efeito das variáveis ambientais no comportamento ecofisiológico de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*: condições de campo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, São Paulo, v. 39, n. 92, p. 419-431, 2011.

TONINI, H.; VIEIRA, B.A.H. Desrama, crescimento e predisposição à podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41 n.7, p. 1077-1082, 2006.

TUMURA, K.G. **Dinâmica espaço-temporal, quantificação de danos e perdas e influência do cancro (*Chrysosporthe cubensis*) no acúmulo de biomassa e fixação de carbono em seis genótipos de *Eucalyptus* spp.** Tese de Doutorado. Unesp, Botucatu, SP, 74 p., 2015.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, p. 339-366, 1981.

UCHIDA, J.; ZHONG, S.; KILLGORE, E. First report of rust disease on ohia caused by *Puccinia psidii* in Hawaii. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 90, n. 4, p. 524, 2006.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G.M. Efeito do binômio temperatura – duração do molhamento foliar sobre a infecção por *Phakospora pachyrhizi* em soja. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 3, p. 200-202, 1990.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. Influência da temperatura e da umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 4 p. 149-207, 1996.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. . **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte- MG, Editora Perfil, 2004. 531 p.

VEZZANI, F.M.; TEDESCCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 25, p. 225-231, 2001.

VIÉGAS, R.M.F. Consorciação seringueira x pimento-do-reino, resultados dos três primeiros anos. In. Simpósio sobre sistemas de produção e consórcio para exploração permanente dos solos da Amazônia. Belém, PA. **Anais... Embrapa – CPATU/GTZ**, 1982. p. 93-103.

VITAL, M.H.F. Impacto ambiental de florestal de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

VITTI, A.J. et al. Epidemiologia comparativa entre a ferrugem comum e a helmintosporiose do milho: I. Efeito de variáveis climáticas sobre os parâmetros monocíclicos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, SP, v. 21, p. 127-130, 1995.

ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C. Efeitos de doenças nas funções fisiológicas das plantas: classificação das doenças infecciosas. In. ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C.; PEREIRA, O.L. (Ed.). **O Essencial da Fitopatologia: agentes causais**. Viçosa,: UFV, v. 01, p. 75-108, 2012.

ZAMPROGNO, K.C. et al. Utilização de análise de segregantes agrupados na identificação de marcadores ligados a genes que controlam a resistência à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) em *Eucalyptus* sp. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 34, n. 3, p. 253-255, 2008.

ZAUZA, E.A.V. et al. Wind dispersal of *Puccinia psidii* urediniospores and progress of eucalypt rust. **Forest Pathology**, v. 45, p. 102-110, 2015.