**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Oclusão da casca indica o início da formação de clear em árvores
desramadas**

Júlia Carolina Araújo Fideles

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2016**

Júlia Carolina Araújo Fideles
Engenheira Florestal

Oclusão da casca indica o início da formação de clear em árvores desramadas

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Fideles, Júlia Carolina Araújo

Oclusão da casca indica o início da formação de clear em árvores desramadas / Júlia Carolina Araújo Fideles. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Eucalyptus* 2. Manejo 3. Qualidade da tora 4. Serraria 5. Núcleo nodoso
6. Exsudato I. Título

CDD 634.9734
F451o

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

Aos meus pais, Marlene e Tito,
aos meus irmãos, João e Marina,
aos parceiros que surgem, ficam e passam pela nossa vida
e a todos que gostam de construir com madeira,

dedico

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, por me mostrarem como a vida é boa e me fazerem sentir eternamente grata e cheia de sorte. Pela arte e alegria cotidianos e pela carreira que me ajudaram a construir. Por todo o amor e pelo que sou.

À boa saúde, fruto de muito amor.

Ao professor Garcia, pela autenticidade, dedicação ao ensino e, especialmente, por ser um bom amigo.

Aos meus irmãos, por serem carinhosos, criativos e felizes.

À professora Luciana Duque Silva, pelo apoio e entusiasmo com o projeto do início ao fim.

Ao Luca, por me querer (bem) em todo e qualquer lugar.

A toda a equipe da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga e estagiários, por tornarem possível e prazeroso o trabalho de campo. Às turmas do curso de Engenharia Florestal ingressantes em 2014 e 2015, por instalar e medir o experimento comigo.

Ao Facco, do Laboratório de Engenharia da Madeira, sempre eficiente, caprichoso e tranquilo. Aos companheiros de laboratório Bruno Balboni, Kelvin e Aline Cerchiari, por estarem por perto e sempre dispostos a ajudar. Ao Aparecido Siqueira, pela ajuda e pelo carinho.

Aos amigos Frederico Domene, Anibal Deboni e Susane Raser, que eu realmente adoro e que estiveram por perto durante o mestrado. À Denise Petroni, pela amizade genuína desde o primeiro instante.

Aos queridos da “Vem q Tem”, que fizeram os meus dias mais leves e engraçados.

Aos amigos Dalton, Beatriz Meduri, Juliana Ramos, Anna Maria, Suli, Denise Raser e Germano Chagas, por terem aparecido e para sempre ficado em minha vida.

À Zefa, por fazer o meu coração quase explodir.

À experiência universitária e a todos que nela estiveram presentes.

“Tratava-se de expor-se e de expor um fato,
e de não lhe permitir a forma íntima e impune de um pensamento”

“O crime do professor de matemática”, Clarice Lispector

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1 <i>Eucalyptus urophylla</i>	17
2.2 Nodosidade na madeira	17
2.3 Núcleo nodoso	18
2.4 Manejo de galhos.....	19
2.5 Desrama natural.....	20
2.6 Desrama artificial	21
2.7 Oclusão da casca.....	22
2.8 Oclusão do xilema secundário.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Área de estudo	25
3.2 Delineamento experimental em campo	26
3.3 Inventário da floresta aos 18 meses.....	27
3.4 Desrama artificial	28
3.5 Avaliação do incremento secundário e da oclusão da casca	30
3.6 Avaliação do crescimento aos 31 meses.....	32
3.7 Amostragem destrutiva.....	32
3.8 Avaliação da oclusão no plano tangencial.....	33
3.9 Delineamento estatístico.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Características do plantio aos 18 meses	39
4.2 Efeito do espaçamento e da desrama aos 31 meses.....	47
4.3 Oclusão da casca.....	48
4.4 Oclusão no xilema secundário.....	57
4.5 Incremento radial e oclusão em função do tempo	61
4.6 Relações entre a zona de oclusão e outras variáveis	64
4.7 Formação da zona de oclusão em <i>Eucalyptus urophylla</i>	66
5 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	71

RESUMO

Oclusão da casca indica o início da formação de clear em árvores desramadas

O eucalipto é um gênero amplamente cultivado no Brasil desde o início do século XX. É utilizado principalmente na produção de carvão e polpa, apesar da aptidão para produção de toras para serraria. Para as espécies cultivadas no Brasil, as técnicas de manejo para serraria foram pouco desenvolvidas e delas depende a introdução efetiva da madeira serrada de eucalipto no mercado. O presente estudo objetivou identificar as variáveis do manejo florestal do *Eucalyptus urophylla* que determinam, física e temporalmente, a formação de madeira limpa (clear) em árvores manejadas para serraria. O experimento foi implantado em julho de 2013 na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (E.E.C.F.I./ESALQ/USP) e consistiu de 4 espaçamentos, sendo eles (3 x 1), (3 x 2), (3 x 3) e (6 x 1,5) m. Realizou-se o primeiro inventário em janeiro de 2015, aos 18 meses de idade, com medições de atributos das árvores e dos galhos. As parcelas foram subdivididas pela metade e, também em janeiro de 2015, aplicou-se a desrama artificial (poda) até os 2,5 m do tronco em uma de cada par de subparcelas. Daí em diante foram realizadas medições de cicatrizes e incremento secundário (dendrômetros) tomadas periodicamente até fevereiro de 2016, aos 31 meses de idade. Em junho de 2015 foi feita a primeira amostragem destrutiva de toras para medição de espessura da casca e em fevereiro de 2016 uma segunda leva de toras foi amostrada e submetida a análise em laboratório. Esta amostragem não incluiu o tratamento sem poda devido à ausência de desrama natural. Toretas foram gradualmente processados em torno mecânico para observação em plano tangencial da madeira formada após a desrama artificial. Nesta etapa também mediu-se a espessura da zona de oclusão e de madeira clear. A zona de oclusão é essencialmente composta pelo exsudado secretado para proteção periférica da cicatriz na casca. A área calculada do anel de oclusão está altamente correlacionada à área do anel da casca. Portanto, a espessura da casca determina a espessura do anel de oclusão e a formação de clear se inicia quando o xilema secundário sobrepõe o ponto mais externo no plano tangencial marcado pelo exsudado.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; Manejo; Qualidade da tora; Serraria; Núcleo nodoso; Exsudado

ABSTRACT

Bark wound occlusion indicates clear wood formation in pruned trees

Eucalyptus is a genus widely grown in Brazil since the beginning of the 20th century, traditionally used to produce fuel and pulp despite its potential for sawlog production. The silvicultural techniques developed for eucalyptus short rotation woody crops in Brazil have neglected essential traits for high quality sawlog production, without which eucalyptus solid wood is not marketable. The aim of the present study was to identify the variables in silvicultural management of *Eucalyptus urophylla* limiting, physical and temporally, clear wood formation. The experiment was established in July 2013 at the Itatinga Experimental Station, College of Agriculture “Luiz de Queiroz” (ESALQ), University of São Paulo (USP), Brazil, consisting of spacing trials of (3 x 1), (3 x 2), (3 x 3) e (6 x 1,5) m. Measurements of trees and branches attributes were first taken in January 2015, when trees were 18 months old. The plots were split in half (subdivided) and one of the subplots was addressed for a pruning trial in which all live and dead branches were removed to 2,5 m, also in January 2015. From then on, wound occlusion and secondary growth (band dendrometers) were periodically measured until February 2016, when the trees were 31 months old. Destructive samplings were firstly carried out in June 2015, for bark thickness determination, and secondly in February 2016. The latter did not include unpruned subplots, once the trees had not yet shed the branches. Logs were debarked and processed in mechanical lathe while measurements of clear wood and occlusion zone were taken in the tangential plane. High correlation between occlusion zone ring area and bark ring area has been found. The occlusion zone of *Eucalyptus urophylla* is mainly composed by the exudate released by trees during the bark wound closure process. Therefore, the bark thickness establishes the occlusion ring thickness and clear wood formation starts after the secondary xylem overlaps the most external point in the tangential plane marked by the exudate.

Keywords: *Eucalyptus*; Management; Log quality; Sawmill; Knotty core; Exudate

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material natural produzido por árvores, que estão sempre sujeitas a influências que oscilam constantemente, como umidade; condições edáficas e espaço para crescimento. Por isso suas propriedades são bastante variadas, apesar de muitas vezes apresentar aspecto uniforme (KRETSCHMANN, 2010). Não há propriedade na madeira, seja física; mecânica; química; biológica ou tecnológica, que não provenha fundamentalmente do fato que a madeira é formada para satisfazer as necessidades da árvore ao longo de sua vida (WIEDENHOEFT, 2010).

Os galhos da copa formada no início da vida da árvore serão posteriormente os nós na madeira da parte inferior do tronco. A quantidade e o diâmetro final dos galhos são determinados pela dinâmica da copa, que resulta de fatores genéticos, edafoclimáticos e silviculturais (OPIE; CURTIN; INCOLL, 1984; SHEPHERD, 1986). A maioria das propriedades mecânicas da madeira é prejudicada em seções com nós quando comparadas a seções sem nós, pois estes alteram sua constituição fibrosa, responsável pela resistência. No presente estudo, a madeira sem nós é denominada “madeira clear”, ou simplesmente “clear”.

A madeira serrada de muitas folhosas (angiospermas) é tradicionalmente consumida por ser um material que integra uma porção de boas propriedades. Grande parte das espécies comercializadas é de florestas tropicais naturais, onde crescem lentamente e atingem dimensões para industrialização (desdobro) em dezenas a centenas de anos. Uma indústria de madeira serrada abastecida por estas espécies depende de longos e insustentáveis ciclos produtivos.

Tábuas obtidas de grandes toras de florestas naturais têm uma porção significativa de clear, resultado da desrama natural que ocorre em troncos de árvores longevas crescidas em florestas de dossel denso (KEARNEY et al., 2007). Reflorestamentos dedicados à produção de madeira sólida idealizam um material com qualidade igual ou superior àquele que provém de florestas naturais. Neles, as árvores estão geralmente sujeitas a ciclos de corte insuficientemente longos para a ocorrência eficiente da desrama natural.

As florestas plantadas assumem representatividade crescente sobre as florestas naturais na produção de toras e serão a principal fonte de madeira sólida nas próximas duas décadas (JAGELS, 2006). O manejo da copa, ou dos galhos, nestas florestas que se faz ideal à produção de clear depende da integração equilibrada entre o controle do sombreamento pelo dossel, através dos espaçamentos de plantio, e a remoção de galhos através da desrama artificial, ou poda. A longevidade dos galhos depende da interceptação de luz pelas suas

folhas e o início da produção de clear após a desrama artificial depende fortemente do galho estar vivo ou morto.

Muitas das espécies de eucalipto cultivadas no Brasil apresentam altíssimas taxas de crescimento. Porém, o desfrute desta vantagem pela indústria de madeira serrada só é possível se a qualidade da madeira for incrementada por técnicas de manejo que otimizem a produção de clear nos plantios florestais.

O presente estudo objetivou identificar as variáveis do manejo florestal em um plantio clonal de *Eucalyptus urophylla* que determinam, física e temporalmente, a formação de clear em árvores manejadas para serraria.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 *Eucalyptus urophylla*

O *Eucalyptus urophylla* pertence ao grupo “red mahogany” (*Eucalyptus* ser. *Annulares* Blakely), do qual fazem parte 6 outras espécies subtropicais de eucalipto (*E. pellita*, *E. scias*, *E. notabilis*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. botryoides*) (BROOKER, 2000).

A espécie é natural do Timor e de outras ilhas no arquipélago sudeste da Indonésia (8 – 10° S), onde a pluviosidade média anual varia de 1000 a 1500 mm, a temperatura média de 10 a 29° C, o verão é chuvoso e a estação seca é pouco severa. Lá, o *E. urophylla* atinge alturas até 50 m, tem rápido crescimento e o tronco apresenta boa forma para serraria (JACOBS, 1979). A espécie cresce bem sob altitudes que variam entre 300 e 3000 m (TURNBULL; PRYOR, 1984).

O *E. urophylla* foi introduzido no Brasil em 1919, quando era denominado *Eucalyptus alba*. A progênie desta introdução foi utilizada para estabelecer grandes áreas no Brasil e em outros países e consistia principalmente de híbridos, árvores que ficaram conhecidas como “alba brasileiro”. Apresentou crescimento excelente no Brasil e no Congo e é altamente resistente ao cancro *Diaporthe cubense*, que tem origem brasileira. Foi introduzido na Austrália em 1966, mas as tentativas em Nova Gales do Sul e Queensland não tiveram grande sucesso. A principal causa foi a desfoliação provocada por grande quantidade de insetos, que reduziu consideravelmente o crescimento da espécie (TURNBULL; PRYOR, 1984).

A madeira do *E. urophylla* tem cor avermelhada, alta resistência mecânica e durabilidade. No Timor, foi amplamente utilizada na composição de estruturas de grandes construções e pontes no Timor (JACOBS, 1979).

2.2 Nodosidade na madeira

Em árvores jovens, uma alta porcentagem da madeira no tronco contém nós, embora a avaliação da resistência mecânica da madeira, segundo diversas normas vigentes, utilize pequenas peças livres de nós. Quando em grande quantidade e tamanho, os nós reduzem sensivelmente a resistência mecânica da madeira (JAGELS, 2006).

Esta redução na resistência mecânica da madeira serrada está associada ao desvio ou à interrupção das fibras que circundam os nós (KRETSCHMANN, 2010). Galhos vivos produzem nós coesos e galhos mortos, nós soltos (BURGER; RICHTER, 1991; O'HARA, 2007; SHEPHERD, 1986; WANG et al., 2015). Aos nós vivos estão associados os altos

desvios da grã da madeira e aos nós mortos a interrupção das fibras, cada tipo interferindo na resistência mecânica de diferentes maneiras, mas em escalas igualmente prejudiciais (KRETSCHMANN, 2010; SHEPHERD, 1986; WANG et al., 2015; WIEDENHOEFT, 2010). A presença de nós também é indesejada do ponto de vista estético, especialmente para a produção de folheados de madeira (MCGAVIN et al., 2014).

2.3 Núcleo nodoso

O núcleo nodoso é a região do tronco que concentra os galhos, antes de serem desramados, e a madeira formada posteriormente que contém marcas destes galhos, conhecida como “zona de oclusão” (MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; O’HARA, 2007).

Na seção transversal de um tronco, a zona de oclusão é um anel circular com eixo de simetria na medula. O limite inferior de sua espessura é o câmbio da árvore no momento quando foi desramada. O limite superior é o último ponto do xilema secundário, na direção do galho (raio) que contém marcas do processo de oclusão. Após este ponto, o câmbio passa a produzir uma madeira sem marcas dos galhos, denominada “clear” (CARDOSO; ARCE, 2010).

Tipicamente, as marcas na zona de oclusão consistem em resquícios de casca (MARCHI et al., 2013), resina (O’HARA; BUCKLAND, 1996), kino em *Eucalyptus spp.* (ALCORN et al., 2007; MCGAVIN et al., 2014), fragmentos de galhos mortos (POLLI et al., 2006) e qualquer material ou exsudado relacionado à oclusão e que for incorporado pelo xilema secundário.

A zona de oclusão pode ser dividida em duas partes. A primeira é composta pelo fragmento de galho saliente ao xilema secundário após a poda, cujo comprimento é delimitado pela espessura da casca e pela distância entre o ponto onde o galho foi cortado e a superfície da casca. A segunda parte inicia após o incremento radial do tronco atingir a superfície transversal do fragmento de galho e é composta pelas marcas na zona de oclusão descritas acima (O’HARA; BUCKLAND, 1996; PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997). No presente estudo, a expressão “zona de oclusão” trata somente desta segunda parte.

Assim, um núcleo nodoso mínimo será sempre delimitado pelo diâmetro do tronco com casca e após a desrama seu diâmetro somente dependerá da dimensão da zona de oclusão.

A predição do tamanho da zona de oclusão e o tempo necessário para sua formação são imprescindíveis à análise econômica de florestas desramadas. Há estudos sobre o tempo para formação completa da zona de oclusão, ou melhor, do tempo até o início da formação de clear

com espécies que têm anéis anuais de crescimento bem definidos (DĂNESCU et al., 2015; HEIN, 2008; O'HARA; BUCKLAND, 1996; PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997; WANG et al., 2015).

A avaliação da taxa de crescimento do tronco de árvores pode ser feita com faixas dendrométricas (dendrômetros), equipamentos de alta precisão, fácil montagem e baixo custo. Combinados a marcações no câmbio, os dendrômetros fornecem informações sobre a atividade cambial em determinado espaço de tempo (BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001). As marcas na zona de oclusão combinadas à medição do diâmetro do tronco quando desramado e ao incremento medido por dendrômetros permitem a determinação do tempo até a formação de clear em espécies que não têm anéis anuais de crescimento definidos.

A desrama artificial, ou poda, é a técnica de manejo mais eficiente para controlar a dimensão do núcleo nodoso, embora muitas espécies de eucalipto percam seus galhos através da desrama natural (MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; NEILSEN; GERRAND, 1999).

2.4 Manejo de galhos

Em florestas plantadas, quando as copas se encostam no dossel (fechamento do dossel), a entrada de luz é significativamente reduzida e, em espécies que não toleram sombra, resulta na morte dos galhos. A elevação da copa, isto é, o aumento da altura do primeiro galho vivo em relação ao solo, é resultado da morte dos galhos na base do tronco (JACOBS, 1955). Diferentes características de galhos entre espécies são, em certo grau, reflexo de diferentes níveis de tolerância à sombra (KEARNEY et al., 2007).

A tolerância à sombra é determinante sobre muitas práticas silviculturais. Conhecer a dinâmica da copa de espécies em plantios florestais é importante para que sejam desenvolvidas práticas de manejo eficientes a nível específico (FLORENCE, 1996).

A combinação entre a densidade de plantio, o espaçamento, que é a distância entre árvores em uma floresta plantada, e o desbaste são as principais ferramentas de controle do crescimento lateral (secundário) da árvore e do desenvolvimento e mortalidade dos galhos (GERRAND et al., 1997). Devido ao alto custo das mudas e da implantação, é importante garantir que seja plantado apenas o número de árvores necessário para que a floresta produza em qualidade e quantidade aquilo que se planejou (NEILSEN; GERRAND, 1999).

Baixas densidades de plantio beneficiam o crescimento individual das árvores, reduzem os custos de implantação e fornecem madeira comercializável no primeiro desbaste

(MÄKINEN; HEIN, 2006). Altas densidades produzem troncos de menor diâmetro, mas aumentam a área basal e o volume total de madeira produzido (OPIE; CURTIN; INCOLL, 1984).

O crescimento secundário de troncos, galhos e raízes resultam da divisão de células do câmbio (PALLARDY, 2008). Este meristema produz os tecidos vasculares secundários da árvore. É composto pelas células iniciais e respectivas derivadas que formam uma bainha circular e contínua ao redor do xilema de troncos, raízes e galhos (EVERT, 2006).

A saliência no xilema secundário e na casca, visível na junção entre o galho e o tronco, é conhecida como “colar do galho” e tem papel estrutural (SHIGO, 1985). O câmbio, que também é contínuo entre o tronco e o galho, reveste completamente o colar (SLATER; HARBINSON, 2010). Considerando esta continuidade cambial, é esperada certa proporção entre o diâmetro do galho e o diâmetro do tronco. Isto explica a existência de estudos dedicados à determinação de relações alométricas entre estas dimensões (ALCORN et al., 2007; GERRAND et al., 1997; MÄKINEN; HEIN, 2006; NEILSEN; GERRAND, 1999; PINKARD; NEILSEN, 2003). O diâmetro do galho também é reflexo da carga que ele sustenta, altamente determinada pelo seu comprimento (NUTTO et al., 2015).

2.5 Desrama natural

A desrama natural é comum quando árvores estão sob competição, especialmente aquelas cujos galhos morrem facilmente devido à falta de luz, ou seja, espécies com baixa tolerância à sombra. Entre as espécies de eucalipto, algumas são notadamente intolerantes, como o *E. grandis*, que apresenta rápida senescência de galhos basais após o fechamento do dossel (MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003).

Quando os galhos morrem, a árvore forma barreiras protetoras contra infecções na base do galho, através de alterações anatômicas e substâncias antimicrobianas que impedem a dispersão de fungos apodrecedores (SHIGO, 1984). Espécies de eucalipto comumente secretam kino, um exsudado que reveste os galhos mortos para evitar a disseminação de fungos (JACOBS, 1955).

A efetivação da desrama natural pode ocorrer através da abscisão fisiológica do galho, chamada cladoptose, mas que é altamente restrita a galhos finos. Mais comumente, ocorre através da ação combinada de organismos vivos, normalmente fungos saprofíticos e insetos, que provocam o apodrecimento e enfraquecimento dos galhos mortos. Pela ação gravitacional

ocorre a ruptura e queda dos galhos, geralmente estimulada pelo vento, neve, animais etc. (MILLINGTON; CHANEY, 1973).

Neste segundo processo, a ocorrência da desrama natural depende apenas do enfraquecimento dos galhos. Provavelmente, em todas as árvores do mundo este enfraquecimento depende somente do galho ser atacado por fungos xilófagos (JACOBS, 1955). Estes fungos podem ser altamente especializados e são capazes de permanecer ativos por curtos períodos intercalados, quando a chuva umidifica o galho morto. Este ciclo se repete várias vezes até o galho finalmente cair, podendo levar anos, dependendo do diâmetro do galho. Quando o objetivo é produzir clear, uma desrama natural demorada é problemática, especialmente se durante a permanência do galho a árvore tiver crescimento secundário veloz. Em espécies de eucalipto, galhos com diâmetro entre 1 e 2 cm desramam naturalmente com facilidade (JACOBS, 1955).

É ideal que após a queda natural do galho uma nova camada de câmbio se forme sobre a sua concavidade (SHIGO, 1984). A oclusão dos fragmentos de galhos mortos remanescentes no xilema secundário só é bem-sucedida se estes não forem alvo de infecção por fungos (JACOBS, 1955). Existe, porém, o risco do galho não cair, ficar preso ao câmbio e acompanhar o crescimento secundário do tronco, deixando um buraco por onde passar (GERRAND et al., 1997; MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003).

2.6 Desrama artificial

A desrama artificial é a prática silvicultural que melhor garante a produção de clear (ALCORN et al., 2007; MARCHI et al., 2013). Porém, muitos produtores optam por não aplicá-la devido aos custos operacionais, comprometendo a aceitabilidade de toras por mercados que requerem madeira serrada ou laminada de alta qualidade (JAGELS, 2006). A desrama artificial interfere na estrutura da copa e não necessariamente produzirá clear sem minucioso controle de qualidade durante a sua aplicação, onde pequenos detalhes podem limitar significativamente o retorno do investimento operacional.

A decisão sobre a aplicação da desrama artificial requer conhecimento sobre a dinâmica da copa da espécie a ser manejada. É consenso que os galhos devem ser podados vivos (green pruning), porque as cicatrizes de galhos desramados nesta condição ocluem eficientemente. A poda de galhos mortos deve ser evitada porque não garante a produção de clear.

(MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; O'HARA, 2007; SMITH et al., 2006). Portanto, a desrama artificial deve anteceder a elevação da copa.

Ainda que se deseje remover a máxima quantidade possível de galhos a cada intervenção, a desrama artificial só será realmente vantajosa se não reduzir a taxa de crescimento secundário dos troncos, o que retardaria a formação de clear.

Para toda espécie existe um nível de desrama, a intensidade de desrama, a partir do qual decresce o crescimento secundário. A proporção removida do comprimento total da copa é o parâmetro mais utilizado para se determinar a intensidade da desrama. Normalmente, espécies de eucalipto suportam entre 40 e 50% de remoção do comprimento da copa sem que o crescimento secundário seja reduzido (PINKARD; BEADLE, 2000). A intensidade de desrama também pode ser estabelecida segundo um diâmetro mínimo no tronco até o qual os galhos serão removidos (LIU et al., 2012).

A formação de clear depende da oclusão das cicatrizes da desrama, que pode ser dividida em dois processos: a oclusão da casca e a oclusão do xilema secundário.

2.7 Oclusão da casca

A eficiência da oclusão da cicatriz da casca resulta da combinação da ferramenta utilizada, da forma como foi realizado o corte (local, abrangência) e da condição fisiológica do galho.

Tradicionalmente, há dois tipos de ferramenta utilizadas na desrama artificial, o serrote e a tesoura de poda, ambos com as respectivas ramificações. Não necessariamente o uso do serrote ou da tesoura irá resultar em maior ou menor taxa de oclusão (GERRAND et al., 1997). Na realidade, a ferramenta e a forma como é posicionada no momento do corte injuriam em maior ou menor grau os tecidos da casca, que podem ser amassados, desanexados ou arrancados (MARCHI et al., 2013). Injúrias que rompem a casca e ferem levemente o câmbio geralmente ocluem rapidamente (PALLARDY, 2008).

A casca é o conjunto de tecidos externamente ao câmbio que pode envolver tecidos primários e secundários, inclusive o floema. A epiderme é a camada mais externa de células no corpo primário da planta, como raízes, troncos, folhas, flores, frutos e sementes (EVERT, 2006). Com o tempo, o incremento em diâmetro do tronco provoca a extensão e, finalmente, ruptura da epiderme, que é substituída pela periderme (CHATTAWAY, 1953). Em algumas espécies do gênero *Eucalyptus* a formação da periderme jamais acontece (EVERT, 2006).

A periderme é um tecido de proteção e cicatrização de origem secundária, composta pelo felema, ou súber, o felogênio e a feloderme. O felogênio é o meristema secundário que produz o felema centrifugamente e a feloderme centripetamente. Sua atividade varia em função da espécie, órgão da planta que reveste e da localização dentro de um mesmo órgão. O ritidoma é o conjunto de tecidos mortos externos à última periderme formada (GLÓRIA; GUERREIRO, 2006).

O incremento anual em espessura da porção condutora do floema varia conforme a espécie e as condições de crescimento. Tipicamente, o floema cresce relativamente pouco em espessura e tem curto período de vida funcional. A porção não condutora do floema é a parte em que cessou a atividade dos elementos crivados. Mesmo inativas, as células continuam armazenando tanino e outras substâncias até que o tecido seja separado da porção viva da casca pela ação do felogênio. A dilatação e a multiplicação celular na direção radial são os meios através dos quais o floema é ajustado ao crescimento em circunferência do tronco (EVERT, 2006).

O ferimento na casca induz a uma série de eventos metabólicos e reações citológicas que, sob condições favoráveis, resultam na selagem completa de uma cicatriz (BOSTOCK; STERNER, 1989 apud EVERT, 2006). Espécies de eucalipto quando injuriadas costumam secretar extrativos escuros de origem e composição química variadas. São necessários estudos dedicados ao detalhamento da natureza destes exsudados, principalmente dos diferentes papéis que assumem na proteção e cicatrização de ferimentos (EYLES; MOHAMMED, 2003).

Devido às diferenças anatômicas e funcionais, a oclusão após a desrama artificial de galhos vivos e mortos é profundamente diferente. O corte sobre galhos vivos fere tecidos vivos de xilema, floema e câmbio, enquanto o corte de galhos mortos não afeta qualquer tecido vivo. Porém, quando na poda de galhos mortos é removido o colar, tecidos vivos são injuriados e, conseqüentemente, a oclusão será diferente. A remoção ou não do colar há muito é discutida e apesar das vantagens em se empregar cortes com remoção do colar, este é tradicionalmente preservado intacto no manejo florestal (O'HARA, 2007).

Após a aplicação da poda, é essencial que o xilema secundário cubra completamente o fragmento de galho remanescente para que no tronco incie a formação de clear. Neste contexto, a remoção do colar é benéfica porque elimina em maior proporção a protuberância em questão. Ainda assim, é preciso ter certeza sobre o papel do colar do galho na cicatrização da casca, também fundamental no processo de formação de clear.

2.8 Oclusão do xilema secundário

Os ferimentos são portais para a infecção por patógenos. No lenho, a porção viva do alburno responde de forma dinâmica à provocação de ferimentos, formando uma porção descolorida da madeira contendo diversos extrativos ao redor da área invadida por microrganismos. Quando esta barreira química é superada pelos microrganismos, a árvore hospedeira reage com a compartimentalização (PALLARDY, 2008). Estas alterações anatômicas e fisiológicas visam proteger o câmbio vascular (SHIGO, 1984; SMITH, 2006).

A taxa de cicatrização de um ferimento tem correlação positiva com a atividade cambial. Cicatrizes ocluem mais rapidamente em árvores que crescem com vigor. A forma da cicatriz tem pouca influência sobre a taxa de cicatrização (PALLARDY, 2008b).

A taxa de crescimento após a desrama artificial é determinante sobre a quantidade de clear formada nos anos seguintes (DĂNESCU et al., 2015; HEIN, 2008; PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997; WANG et al., 2015). Por isso, é essencial estabelecer um balanço entre o tamanho almejado do núcleo nodoso, bastante determinado pelo diâmetro do tronco no momento da desrama, e o crescimento das árvores após a intervenção. Por este motivo, o desbaste de árvores que circundam indivíduos desramados é altamente recomendado logo após a poda, especialmente em plantios densos (FONTAN et al., 2011; FORRESTER et al., 2010; NICOLESCU; SANDI; PĂUN, 2013; PINKARD; BEADLE, 1998; SMITH et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi feito sobre um plantio clonal de *Eucalyptus urophylla* (clone I144) implantado em julho de 2015 na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (E. E. C. F. I.), que integra o Departamento de Ciências Florestais (LCF/ESALQ/USP). Os detalhes sobre o local do experimento e práticas silviculturais iniciais constam na Tabela 1.

Tabela1 - Informações gerais sobre o experimento

País	Brasil
Estado	São Paulo
Município	Itatinga
Local	Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (E. E. C. F. I. /LCF/ESALQ / USP)
Latitude	23°05'S
Longitude	48°40'W
Altitude	850 m
Precipitação anual	1350 mm
Clima (classificação climática de Koppen)	Cfa: verão úmido e quente, inverno frio e pouco seco (DE SOUZA ROLIM et al., 2007)
Relevo	Levemente inclinado e ondulado.
Solo	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico a moderado textura média – LVAd (GONÇALVES et al., 2012)
Ocupação do solo anterior	Condução de rebrota (1940–88), ciclos de corte curtos seguidos por reforma (1988-2013)
Preparo do solo (técnica)	Cultivo mínimo
Espécie plantada	<i>Eucalyptus urophylla</i> (clone I144)
Plantio**	Mudas clonais, 7/2013
Controle de mato-competição**	Aplicação de herbicida, quando necessário
Combate a formiga	Sempre que necessário

** Técnica, período

Na Figura 1 estão ilustradas as características climáticas na área experimental durante o período de realização do estudo. Os dados foram coletados pela estação meteorológica automatizada que há na E.E.C.F.I.

Figura 1 - Características climáticas durante o período do estudo.

3.2 Delineamento experimental em campo

O experimento foi composto por 4 espaçamentos de plantio, dois deles com mesma densidade de árvores por hectare (árvs.ha⁻¹), mas retangularidades diferentes, descritos detalhadamente na Tabela 2. Os tratamentos foram instalados em blocos ao acaso, distribuídos em 3 repetições com 64 plantas por parcela, onde o efeito da parcela foi representado pelo espaçamento de plantio.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos nas parcelas

Tratamento (parcela)	Espaçamento (m)	Densidade (árvs.ha ⁻¹)	Área por árvore (m ²)	Retangularidade
E1	(3 x 1)	3333	3	3
E2	(3 x 2)	1667	6	1,5
E3	(3 x 3)	1111	9	1
E4	(6 x 1,5)	1111	9	4

Nota: Retangularidade = Distância entre linhas / distância entre árvores na linha

As parcelas foram subdivididas pela metade para que em uma delas fosse aplicada a desrama artificial e a outra ficasse sujeita à observação da ocorrência da desrama natural. Ao final, cada subparcela ficou composta por 32 plantas. Em cada parcela e subparcela foi utilizada bordadura externa simples. Como resultado, a área útil de avaliação na parcela ficou composta por 36 indivíduos (6 linhas com 6 árvores) e na subparcela por de 12 indivíduos (2 linhas com 6 árvores), como ilustrado na Figura 2. De cada área útil na subparcela, 2 árvores foram sistematicamente selecionadas para futura amostragem destrutiva.

Figura 2 - Diagrama ilustrativo da configuração final das parcelas, subparcelas e área útil das subparcelas

Para a coleta de dados, foram adotados delineamentos variados com números variáveis de indivíduos amostrados dentro da área útil das subparcelas, a serem detalhados em cada uma das seções seguintes

3.3 Inventário da floresta aos 18 meses

O primeiro inventário foi conduzido em janeiro de 2015, dias antes da desrama artificial. Por isso, nesta etapa somente foi considerado o efeito da parcela sobre as variáveis medidas, ou seja, o efeito do espaçamento. Ainda assim, a localização das árvores amostradas obedeceu a subdivisão de parcelas, selecionando somente árvores na área útil das subparcelas para que na remedição posterior programada pudesse ser avaliado o efeito da desrama artificial sobre o crescimento das árvores.

Em 16 árvores de cada parcela mediu-se o perímetro a altura do peito (PAP, cm, 1,3 m de altura), a altura total (H, m) e a altura da base da copa (HCB, m). Os valores de PAP foram convertidos em diâmetro a altura do peito (DAP, cm) e utilizados para cálculo da área basal. Calculou-se o comprimento da copa (LC, m, eq. (1)) e o comprimento da copa relativo à altura da árvore (LRC, %, eq. (2)).

(1)

$$LC = H - HCB$$

(2)

$$LRC = \frac{LC}{H}$$

Em 12 árvores de cada parcela mediram-se os raios de copa (RC, m) em 8 direções que variaram de 0 a 315° (intervalos de 45°) em relação à árvore correspondente na linha frontal.

Com cada par de RCs vizinhos, calculou-se a área do triângulo (ATC, m², eq. (3)). A partir da soma das oito ATCs calculadas para cada copa, estimou-se a área de projeção de copa (AC, m², eq. (4)).

(3)

$$ATC_n = \frac{RC_n * RC_{n+1} * \text{sen}45^\circ}{2}$$

(4)

$$AC = \sum_{i=1}^8 ATC_i$$

Onde: $1 \leq n \leq 7$

Em 10 árvores de cada parcela, no trecho entre 0 e 2,5 m do tronco, contou-se o número de galhos vivos (NV), mortos (NM) e total (NG), este resultando da soma de NV e NM. As quantidades de galhos vivos e mortos foram posteriormente convertidas em percentuais de galhos vivos (GV) e mortos (GM) sobre o total de galhos contados (NG). Nestas mesmas 10 árvores, dividiu-se o tronco em 3 toretes de 60 cm, o primeiro entre 0,5 e 1,1 m, o segundo entre 1,1 e 1,7 m e o terceiro entre 1,7 e 2,3 m.

Em cada torete foram selecionados e marcados 2 galhos para medição do diâmetro vertical (DG) com paquímetro digital, a 3 cm de distância da inserção no tronco para assegurar que a saliência do colar não fosse medida. Também foi registrada a altura de cada um destes galhos (HG, m). Ao todo, foram medidos 6 galhos por árvore, somando 60 galhos por parcela. O único critério de seleção foi a condição fisiológica do galho, isto é, o galho estar vivo/verde (V) ou morto (M). Foram considerados verdes os galhos carregados com folhas ou senescentes, bastando que apresentassem tecido verde sob a casca quando injuriados com a unha. Priorizou-se a seleção de um galho vivo e um morto por torete quando presente ambos.

Ainda das mesmas 10 árvores por parcela, mediu-se dois perímetros do tronco a 0,5 (P1, cm) e 2,3 m (P3) do solo. A partir de P1 e P3, foi calculado o quociente de afilamento (QA, cm.m^{-1} eq. (5)). Com os três perímetros, incluindo o PAP, foram gerados 4 modelos lineares de afilamento da tora, um por espaçamento. Os modelos foram utilizados para estimar os diâmetros do tronco (DT, cm) a alturas situadas no intervalo entre 0 e 2,5 m de distância do solo.

(5)

$$QA = \frac{(P1 - P3)/\pi}{2,3 - 0,5}$$

3.4 Desrama artificial

A desrama artificial foi conduzida em janeiro de 2015. Com tesoura de poda e gabarito, todos os galhos presentes no tronco entre 0 e 2,5 m de distância do solo foram cortados no ponto mais próximo possível ao colar do galho, sem que este fosse injuriado (Figura 3). A intensidade de desrama (IDR, %) foi calculada para cada tratamento, considerando-se o comprimento de copa viva removido em relação ao comprimento da copa (LC).

Figura 3 – Desrama artificial de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses de idade com tesoura de poda (a); gabarito utilizado para delimitação da altura da desrama (b) e cicatriz vista de frente (c) e de perfil (d)

A opção por não ferir e nem remover o colar do galho foi adotada por ser esta a técnica mais popularmente recomendada e empregada em plantios florestais (O'HARA, 2007; PULROLNIK; REIS; REIS, 2009), de modo que o presente estudo poderia então avaliar a qualidade da poda e da cicatrização quando utilizada tal técnica.

Dos galhos previamente sujeitos à medição do diâmetro (DG), foi medido o diâmetro vertical e o horizontal das cicatrizes (DCV e DCH, mm) imediatamente após a desrama artificial com paquímetro digital, conforme a metodologia empregada por Pulrolnik (2002). Na medição das cicatrizes, as extremidades foram alinhadas à medula do galho (Figura 4).

Figura 4 – Medição do diâmetro vertical (a) e horizontal (b) das cicatrizes após a desrama artificial de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses de idade

Com os diâmetros medidos, foi calculada a área da cicatriz assumindo que esta apresentava forma elíptica (ACZ, cm², eq. (6)).

(6)

$$ACZ = \frac{\left(\frac{DCH}{2}\right) * \left(\frac{DCV}{2}\right) * \pi}{100}$$

3.5 Avaliação do incremento secundário e da oclusão da casca

O incremento secundário, medido com dendrômetros, e a oclusão da casca foram estudados em função do tempo (meses), monitorados por remedições sucessivas entre janeiro de 2015 e fevereiro de 2016. Na avaliação do incremento secundário, foram amostradas as árvores das subparcelas submetidas à desrama artificial e das subparcelas não desramadas, de modo que os 4 tratamentos resultantes dos diferentes espaçamentos (E1; E2; E3 e E4) assumiram duas ramificações: desramados e sem desrama (testemunha), somando então 8 tratamentos.

Os dendrômetros utilizados na avaliação do incremento secundário foram confeccionados segundo a metodologia descrita por Botosso e Tomazello Filho (2001). As cintas foram instaladas nas mesmas 3 árvores da área útil da subparcela em que foram medidos os diâmetros das cicatrizes, excluindo-se as duas árvores reservadas para amostragem destrutiva. Os dendrômetros foram confeccionados com as medidas de perímetro a altura do peito (PAP) e instalados na respectiva altura.

Figura 5 – Dendrômetro utilizado para avaliação detalhada do incremento secundário

A medição de cicatrizes e a leitura de dendrômetros foram feitas nas mesmas ocasiões, a intervalos médios de 36 dias entre inventários. Ao todo foram 12 medições de cicatrizes e 11 leituras de dendrômetros durante os 13 meses de avaliação do experimento.

Para a avaliação da taxa de oclusão da casca, primeiramente calculou-se a taxa de área ocluída entre intervalos de medição (AO , cm^2 , eq. (7)). A partir de AO , calculou-se a área ocluída acumulada (AOC , cm^2 , eq. (8)). Finalmente, as áreas ocluídas foram calculadas em relação a área da cicatriz imediatamente após a desrama artificial (ACZ_1), denominada área ocluída relativa (AOR , eq. (9)). Todas estas variáveis foram convertidas para valores mensais de área ocluída.

$$AO_n = ACZ_n - ACZ_{n+1} \quad (7)$$

$$AOC_n = AO_1 + AO_2 + \dots + AO_n \quad (8)$$

$$AOR_n = \frac{AOC_n}{ACZ_1} \quad (9)$$

Onde $1 \leq n \leq 11$

O incremento secundário do tronco foi medido pela diferença entre os valores lidos nos dendrômetros, que foram convertidos de nônio para milímetros e de circunferência para raio. Foi calculada a taxa mensal de incremento (IC, mm) e o incremento acumulado mensalmente (IAC, mm).

3.6 Avaliação do crescimento aos 31 meses

Em fevereiro de 2016, nas mesmas 16 árvores medidas no primeiro inventário, estando 8 árvores na área útil da subparcela desramada e 8 na subparcela testemunhal, mediu-se o perímetro aos 0,5 m (P1), na altura do peito (1,3 m, PAP) e aos 2,3 m (P3) de distância do solo e a altura total (H) com os quais calculou-se o diâmetro a altura do peito (DAP), a área basal (AB) e o coeficiente de afilamento (QA). A coleta destes dados objetivou avaliar, além do efeito do espaçamento, o efeito da desrama artificial sobre as características das árvores e produtividade florestal 13 meses após aplicada a desrama artificial.

3.7 Amostragem destrutiva

Neste estudo, houve duas ocasiões de amostragem destrutiva, ambas realizadas com auxílio de motosserra e consistindo na coleta de toras dos primeiros 3,0 m do tronco, isto é, da tora basal. A primeira amostragem foi conduzida em junho de 2015, quando foram coletadas toras de 4 indivíduos por espaçamento que estavam disponíveis em áreas remanescentes nos limites das parcelas. As toras foram transportadas ao Laboratório de Máquinas e Engenharia da Madeira (ESALQ/USP) e nelas avaliado o estágio da oclusão no xilema secundário. Após a constatação de que nenhuma cicatriz havia totalmente ocluído no xilema secundário, decidiu-se coletar as toras das duas árvores reservadas para amostragem destrutiva por subparcela somente ao final do período de coleta de dados em campo, programado para fevereiro de 2016.

Das toras coletadas na primeira amostragem, de cada base (0,3 m) e topo (3,0 m) mediu-se a espessura da casca em dois pontos com paquímetro digital, sendo eles o mais e o menos espesso. Foi calculada a média da espessura da casca na base e no topo e com as médias foi gerado um modelo linear por espaçamento para estimar a espessura da casca (ECC, mm) em função da altura no tronco. A partir dos modelos, foi estimada uma ECC na altura de cada galho amostrado (HG).

A segunda amostragem destrutiva foi feita em fevereiro de 2016. Dias antes, nas subparcelas que concentraram o tratamento testemunha, foi averiguada a ocorrência de desrama natural nos galhos marcados, os mesmos em que se mediu o diâmetro (DG). Somente 5 dos 360 galhos marcados haviam sido desramados naturalmente. Assim, as árvores nas subparcelas testemunhais não foram submetidas a amostragem destrutiva, já que não possibilitariam o estudo da oclusão no xilema secundário em laboratório. Foram coletadas as toras basais das duas árvores destinadas a amostragem destrutiva nas subparcelas desramadas, totalizando 24 toras (6/espacamento) e três excedentes, para sistematização metodológica.

3.8 Avaliação da oclusão no plano tangencial

As toras foram seccionadas transversalmente em toretes para encaixe no torno mecânico. Cada torete foi posicionado no torno com o eixo horizontal determinado pela respectiva medula.

No carro longitudinal do torno, fixou-se um gabarito para posicionamento de um relógio comparador digital de precisão milimétrica, permanecendo o gabarito intacto até o final do experimento. Todas as variáveis foram medidas através do posicionamento da ponta deste relógio comparador precisamente sobre as cicatrizes (Figura 6).

Figura 6 – Medição de desgaste no torete com relógio comparador digital sobre a cicatriz localizada sob a casca (a) e após realização de desgaste com torno (b)

A sistematização metodológica consistiu principalmente na definição dos pontos indicativos das diferentes qualidades de madeira formada sobre o galho após a desrama artificial, principalmente dos limites entre a zona de oclusão e a madeira clear.

O ponto inicial de medição (PI), onde o medidor foi zerado, foi a parte mais pronunciada da protuberância da cicatriz sob a casca (Figura 6 (a)). Em seguida, foi feito o primeiro desgaste até o ponto de nivelamento da protuberância com as superfícies circundantes no torete (PN). Neste ponto, registrou-se o status do grau de oclusão, incompleto (IN) ou completo (CP).

Quando em PN foi atribuído o status completo (CP, Figura 7 (a)), o desgaste seguiu até o primeiro sinal de oclusão, limite entre o clear e a zona de oclusão (PZO, Figura 7 (b)). A partir do primeiro sinal de oclusão (PZO) ou quando atribuído o status incompleto (IN) no ponto de nivelamento (PN), o desgaste seguiu até o ponto onde era completamente visível a superfície da ponta do galho (PG, Figura 7 (c)).

A partir de PG ou quando atribuído o status com galho (GL) no ponto de nivelamento (PN), somente foram desgastados galhos cortados mortos. O desgaste seguiu até que fosse identificada a integração entre a madeira do tronco e a madeira do galho, assumida como indicativo de que o galho estava vivo (PGV, Figura 7(d)).

Após medidas as distâncias entre o ponto inicial de medição (PI) e os demais pontos, alguns toretes foram desgastados para observação desta integração entre galho e tronco, sem limite preestabelecido. O ponto final de desgaste (PFD) foi registrado, o torete removido do torno e seccionado transversalmente na direção da medula. Foi medido o raio de distância entre a medula do tronco e a superfície do galho (RMG).

Figura 7 – Aspecto da superfície da tora desgastada quando identificado o clear (a), a zona de oclusão (b), a superfície de corte do galho (c) e o galho vivo (d)

Após a medição das espessuras desgastadas com o relógio comparador sobre os pontos, calculou-se o comprimento total do galho (LG , cm, eq. (10)), a espessura da zona de oclusão (EZO , mm, eq. (11)), a espessura de clear (ECL , mm, eq. (12)) e o diâmetro do núcleo nodoso (DNN , cm, eq. (13)). A partir de EZO e ECL , foram calculadas as áreas (cm^2) correspondentes ao anel de oclusão (AZO) e de clear (ACL). Com a espessura da casca (ECC), medida em junho de 2015 e estimada para cada altura de galho (HG) com os modelos lineares, calculou-se a área do anel da casca (ACC , cm^2) sobre o perímetro total das seções dos toretes desgastados.

$$LG = RMG + PFD - PG \quad (10)$$

$$EZO = PG - PZO \quad (11)$$

$$ECL = PZO - PN \quad (12)$$

$$DNN = LG + EZO \quad (13)$$

O diagrama na Figura 8 ilustra a lógica implementada na conversão das variáveis medidas para as variáveis avaliadas no presente estudo, conforme as equações descritas acima. Os valores obtidos com o relógio comparador (-mm) foram convertidos para “cm”.

Figura 8 – Diagrama representando no plano transversal as espessuras e o raio medidos tangencialmente com relógio comparador (a) e as respectivas variáveis calculadas (b) sobre os toretes processados em trono mecânico

No presente estudo, considerou-se o comprimento do fragmento de galho remanescente da poda, saliente ao xilema secundário (madeira do tronco sem casca) equivalente à espessura da casca (ECC). A soma de ECC e da quantidade de madeira marcada pelo exsudado, isto é, a espessura da zona de oclusão (EZO) foi então considerada a espessura da zona de oclusão total (EZOt, mm, eq. 14). Aqui, EZOt representa a espessura total de madeira que precisou ser formada desde o momento em que se realizou a desrama artificial até o início da produção de clear.

$$EZOt = EZO + ECC \quad (14)$$

A partir dos valores de incremento acumulado mensalmente (IAC) foram gerados modelos lineares para cada espaçamento. Com estes modelos e com os valores da zona de oclusão total (EZOt) de cada espaçamento, calculou-se o tempo necessário para a produção de clear (TPC).

3.9 Delineamento estatístico

Todas as análises estatísticas e gráficos foram feitos com o software R (versão 3.3.1).

A análise de variância (ANVA) não considerou o delineamento em blocos por comprometer (reduzir) os graus de liberdade do resíduo. A ANVA foi então realizada adotando-se um delineamento inteiramente aleatorizado. No plantio aos 18 e 31 meses foi considerado o efeito do espaçamento sobre as variáveis avaliadas.

Em todos os testes estatísticos foi adotado nível de significância de 5%. Na comparação entre os efeitos dos espaçamentos, quando apontadas diferenças significativas pela ANVA, foi utilizado Teste de Tukey para a comparação entre médias.

A verificação do o efeito da desrama artificial sobre o diâmetro a altura do peito (DAP) e quociente de afilamento do tronco (QA) aos 31 meses foi feita através da ANVA sem posterior comparação entre médias com Teste de Tukey.

Modelos regressão linear foram gerados para identificação de variáveis que melhor explicassem a variação do diâmetro do galho (DG), da espessura da zona de oclusão (EZO) e da área da zona de oclusão (AZO). A avaliação das relações entre variáveis considerou o coeficiente de determinação (R^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características do plantio aos 18 meses

Na Tabela 3 estão expostos os efeitos da densidade de plantio e da retangularidade sobre as características de árvores de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses.

Tabela 3 – Valores médios de área basal (AB), diâmetro a altura do peito (DAP), diâmetro do galho (DG), altura total (H), área da copa (AC), quociente de afilamento (QA), altura da base da copa (HC), comprimento da copa (LC), comprimento relativo da copa (LCR), intensidade de desrama (IDR), comprimento de copa removido (LCRM), número total de galhos (NG), percentual de galhos vivos (GV) e de galhos mortos (GM) para cada espaçamento em *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses de idade.

Variável	E1	E2	E3	E4
AB (m ² .ha ⁻¹)	9,2 (0,3) a	7,6 (0,2) b	5,9 (0,1) c	5,2 (0,3) c
DAP (cm)	5,9 (0,1) c	7,6 (0,1) b	8,2 (0,1) a	7,6 (0,2) b
DG (mm)	7,2 (0,2) c	8,7 (0,2) b	9,7 (0,2) a	8,7 (0,2) b
H (m)	9,6 (0,1) b	10,1 (0,1) a	10,0 (0,1) ab	10,3 (0,2) a
AC (m ²)	5,8 (0,2) c	9,9 (0,4) b	12,6 (0,4) a	9,3 (0,4) b
QA (cm.m ⁻¹)	0,8 (0,03) c	0,9 (0,3) bc	1,1 (0,03) a	0,9 (0,02) b
HBC (m)	0,8 (0,07) a	0,6 (0,05) ab	0,5 (0,03) b	0,7 (0,5) ab
LC (m)	8,7 (0,1) b	9,5 (0,1) a	9,5 (0,1) a	9,6 (0,2) a
LCR (%)	91,8 (0,7) b	93,6 (0,5) a	95,2 (0,3) a	93,7 (0,4) a
IDR (%)	19,8 (0,8)	19,5 (0,4)	21,3 (,3)	19,9 (0,8)
LCRM (m)	7,0 (0,1) b	7,6 (0,1) a	7,5 (0,1) ab	7,8 (0,2) a
NG	30,1 (0,6)	29,7 (0,8)	30,1 (0,8)	31,2 (0,6)
GV (%)	28,0 (4,2) b	32,3 (2,5) b	50,3 (1,7) a	44,9 (3,9) a
GM (%)	72,0 (4,2) a	67,7 (2,5) a	49,7 (1,7) b	55,1 (3,9) b

Nota: Valores entre parênteses representam o erro padrão dos dados. Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p = 0,05$). E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m

Aos 18 meses, a maior quantidade de indivíduos no espaçamento (3 x 1) m (E1) resultou em maior área basal (AB), portanto, maior de disponibilidade de madeira por hectare. No entanto, a esta idade, os troncos em E1 eram sensivelmente mais finos que em todos os outros espaçamentos, conforme demonstrado pelo diâmetro a altura do peito (DAP). A competição por recursos entre indivíduos a esta idade já se mostra negativa no tratamento E1 para a produção de toras grossas. A densidade de plantio de 3333 árvs.ha⁻¹ dificilmente seria justificável a menos que um desbaste comercial se mostrasse economicamente vantajoso até os 18 meses de idade.

No presente estudo, não foi avaliada a forma transversal do tronco em função da retangularidade, que quando alta potencialmente produzirá troncos com formato oval. Porém, em plantios de *Eucalyptus pilularis* de sete anos na Austrália, retangularidades de até 6 em espaçamentos de (6 x 1) m não geraram troncos significativamente mais ovais que espaçamentos quadrados (CASSIDY; PALMER; SMITH, 2013).

O espaçamento (3 x 2) m (E2) também apresentou área basal (AB) estatisticamente superior aos dois outros espaçamentos, (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4). Porém, os tratamentos E2 e E4, com 1667 e 1111 árvs.ha⁻¹, respectivamente, apresentaram iguais valores médios de diâmetro a altura do peito (DAP), enquanto em E3 o DAP foi significativamente superior a todos os demais tratamentos.

O crescimento secundário tem relação com a sustentação da árvore, que deve ter tronco suficientemente resistente para manter-se ereta, especialmente quando isolada (SAVIDGE, 2003). A maior proximidade entre indivíduos na linha no espaçamento (6 x 1,5) m (E4) em relação ao (3 x 3) m (E3) pode ter aumentado o suporte estrutural às árvores e poupado o crescimento secundário.

É possível ainda que a diferença entre os valores de DAP e de área basal (AB) para os tratamentos E3 e E4, que têm idênticas densidades de plantio (1111 árvs.ha⁻¹) resulte de uma falha na adubação de uma das parcelas de E4 nos primeiros meses de vida da floresta, confirmada pela equipe técnica responsável pelo plantio. Esta falha foi posteriormente corrigida e os efeitos de tal correção serão averiguados e discutidos posteriormente. Ainda assim, é válida a discussão a respeito da influência da retangularidade sobre o crescimento secundário de árvores em florestas plantadas.

Em plantios de *E. pilularis* de 6 anos, Austrália, foi avaliada a influência de diferentes retangularidades sobre iguais densidades de plantio. incluindo espaçamentos idênticos aos dos tratamentos E3 e E4. Verificou-se que a distância entre árvores dentro da linha de plantio exerce forte influência sobre o DAP, onde maiores distâncias entre árvores produziu troncos mais grossos. (SMITH, 2007 apud CASSIDY; PALMER; SMITH, 2013)..

Em plantios de *Eucalyptus nitens* aos 5 anos de idade, Austrália, o crescimento não foi afetado por diferentes retangularidades, que variaram entre 1 e 3 em espaçamentos de, por exemplo, de (6 x 2) m e (3 x 3) m (GERRAND; NEILSEN, 2000). Portanto, não é certo o efeito da retangularidade sobre o crescimento secundário de árvores cultivadas em espaçamentos com mesma densidade de plantio.

O espaçamento (3 x 1) m (E1) apresentou quociente de afilamento (QA) significativamente inferior aos demais espaçamentos. Neste espaçamento, a maior

proximidade entre árvores também resulta em um fechamento de dossel mais precoce. Consequentemente, a elevação da base da copa ocorre mais rapidamente, vide HBC (Tabela 1), o que tem forte influência sobre a conicidade da porção basal do tronco (LARSON, 1963).

Em plantios de *Eucalyptus nitens* de 7 anos, Austrália, crescidos em diferentes espaçamentos, comparou-se o afilamento do tronco na seção entre 1,3 e 6 m de altura. As árvores cultivadas em densidades de 500 a 1667 árvs.ha⁻¹ apresentaram diferença significativa entre os quocientes de afilamento, equivalentes a 1,4 e 1,1 cm².m⁻¹, respectivamente (PINKARD; NEILSEN, 2003).

Plantios de *Eucalyptus nitens* aos 7 anos, Austrália, apresentaram alturas da base da copa significativamente diferentes entre as densidades de 500 e 1667 árvs.ha⁻¹, esta apresentando a altura média do primeiro galho vivo mais de 2 m acima daquela (PINKARD; NEILSEN, 2003).

A altura média da base da copa em plantios de *Betula alnoides* aos 14 anos, China, não foi significativamente diferente entre densidades de plantio que variaram entre 500 e 3333 árvs.ha⁻¹. (WANG et al., 2015).

Eucalyptus grandis cultivados em cerrado brasileiro sob arranjo espacial de (3 x 3) m, apresentaram altura média do primeiro galho vivo igual a 0,13 e 0,46 m aos 20 e 28 meses, respectivamente (PULROLNIK et al., 2005). Estes valores são inferiores aos encontrados pelo presente estudo e podem indicar tanto menores níveis de tolerância à sombra em *Eucalyptus urophylla* quanto a influência climática e da qualidade de sítio sobre a mortalidade de galhos basais.

A mortalidade de galhos nos 2,5 m basais do tronco, representada por GV e GM (Tabela 3; Figura 9), confirmam a elevação de copa mais veloz nos espaçamentos (3 x 1) m (E1) e (3 x 2) m (E2) em relação aos espaçamentos (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4).

Um estudo com plantios de *E. pilularis* e *E. cloeziana* de 4 anos, na Austrália, também registrou maior mortalidade de galhos na porção basal do tronco quando aumentada a densidade de plantio de 1250 para 1667 árvs.ha⁻¹. Porém, neste mesmo estudo o aumento da densidade de plantio de 1667 para 3333 árvs.ha⁻¹ também aumentou significativamente a mortalidade dos galhos (ALCORN et al., 2007), o que não ocorreu no presente experimento.

Em todos os espaçamentos, ao menos metade dos galhos estavam mortos nos 2,5 m basais do tronco aos 18 meses de idade. Isto indica que para que fossem podados apenas galhos vivos nos plantios componentes do presente estudo, o primeiro ciclo de desrama artificial deveria ter sido conduzida antes dos 18 meses, independentemente da densidade populacional. Em plantios de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil, com densidade de plantio

de 715 árvs.ha⁻¹, em espaçamento de (5 x 2,8) m, também foram contadas grandes quantias de galhos mortos nas árvores aos 18 meses de idade. Os autores também recomendam que a poda fosse conduzida antes desta idade (NUTTO et al., 2015).

Figura 9 – Percentual de galhos vivos (GV) e mortos (GM) entre 0 e 2,5 m do tronco de florestas plantadas de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses nos espaçamentos (3 x 1) m (E1), (3 x 2) m (E2), (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4).

A quantidade total de galhos nos 2,5 m basais das árvores (NG) não variou em função do espaçamento. Espécies com desrama natural eficiente, como muitas espécies de eucalipto (FLORENCE, 1996; JACOBS, 1955; MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003), podem variar a quantidade de galhos com a idade, uma vez que no momento da contagem alguns galhos podem já ter desramado naturalmente.

Em plantios de *E. pilularis* e *E. grandis* aos 5 anos de idade, Austrália, crescidos em densidades de 833; 1111; 1667 e 3333 árvs.ha⁻¹, a quantidade total de galhos na porção entre 0 e 6 m do tronco também não diferiu significativamente entre espaçamentos (KEARNEY et al., 2007).

Em plantios de *E. pilularis* e *E. cloeziana* de 4 anos de idade, Austrália, foi observada uma redução significativa na quantidade total de galhos entre 0 e 6 m do tronco de árvores crescidas em densidade de 1250 árvs.ha⁻¹ comparadas àquelas cultivadas em densidades de 1667 e 3333 árvs.ha⁻¹ (ALCORN et al., 2007).

Em florestas plantadas de *Picea abies* aos 28 anos, Alemanha, a densidade de 1667 árvs.ha⁻¹ apresentou número de galhos ligeiramente menor que apresentaram as densidades

de 350 e 700 árvores.ha⁻¹, tendo havido grande variação entre indivíduos sob igual densidade (MÄKINEN; HEIN, 2006).

Assim, é possível afirmar que nem a densidade populacional e nem a retangularidade em plantios florestais tem forte influência sobre a quantidade total de galhos nas porções basais de troncos. Logo, a nodosidade na madeira serrada de plantios clonais dificilmente será afetada pela quantidade de nós, mas pelo tipo de nó presente (vivo ou morto). O efeito da densidade sobre o diâmetro dos galhos será discutido nos próximos parágrafos.

O comprimento de copa (LC) foi muito semelhante entre os tratamentos E2, E3 e E4. Somente a mais alta densidade populacional, de (3 x 1) m (E1) apresentou comprimento de copa significativamente inferior aos demais tratamentos.

Na Alemanha, plantios de *Picea abies* (L. Karst.) crescidos em densidades que variaram entre 350 e 1600 árvs.ha⁻¹, foram avaliados aos 28 anos. As diferentes densidades não afetaram a altura total, mas evidentemente afetaram a estrutura da copa, que se apresentou mais curta sob altas densidades (MÄKINEN; HEIN, 2006).

O comprimento relativo de copa (LCR) foi superior a 90% em todos os tratamentos e estatisticamente inferior aos demais no tratamento (3 x 1) m (E1). Em plantios de *Eucalyptus nitens* de 7 anos, Austrália, em árvores crescidas em densidades de 500 árvs.ha⁻¹ também foram observadas copas com comprimentos significativamente superiores àqueles das árvores cultivadas a 1667 árvs.ha⁻¹ (PINKARD; NEILSEN, 2003).

Em todos os espaçamentos, a intensidade de desrama (IDR) foi de aproximadamente 20%, sem terem diferido estatisticamente. O comprimento de copa remanescente (LCRM) variou entre 7 e 8 m, representando uma redução média de aproximadamente 1,9 m no comprimento original de copa (LC) em todos os tratamentos.

Os espaçamentos influenciaram significativamente na dimensão transversal e longitudinal do galho, representados pelo diâmetro do galho (DG) e pela área de projeção da copa (AC), respectivamente (Tabela 3).

Em espaçamentos mais amplos, como (3 x 3) m (E3), as copas têm maior área de projeção (AC) e, portanto, são compostas por galhos mais longos que necessariamente serão mais espessos para formarem estruturas com o devido momento de inércia.

Em plantios de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil, a análise do comprimento em função do diâmetro dos galhos na porção entre 0 e 6 m do tronco demonstrou forte correlação linear ($R^2 = 0,82$) (NUTTO et al., 2015). Este dado confirma que a espessura do galho varia conforme a o espaço ocupado pela copa.

Na Tabela 3 é possível observar que a diferença entre as médias do diâmetro do galho (DG), da área de projeção da copa (AC) e do diâmetro a altura do peito (DAP) entre espaçamentos têm igual comportamento. Logo, é possível presumir que o DAP é uma boa variável preditora de DG e de AC.

O tamanho individual de cada árvore teve grande influência sobre o diâmetro dos galhos em plantios de *Picea abies* de 28 anos cultivados em densidades que variaram entre 350 e 1600 árvs.ha⁻¹. Também neste estudo foi observado que o diâmetro dos galhos aumentou com o aumento da distância do solo. (MÄKINEN; HEIN, 2006).

Para uma melhor compreensão das variáveis influentes sobre o diâmetro dos galhos (DG) no presente estudo, na Figura 10 constam os gráficos de dispersão com os respectivos modelos de regressão linear, onde a variação de DG é estudada em função do DAP, da altura do galho (HG), do diâmetro do tronco (DT) e da área de projeção da copa (AC).

Os gráficos na Figura 10 apresentam um aglomerado de pontos que não permitem o estabelecimento de uma clara relação entre o diâmetro dos galhos e as variáveis estudadas. Apesar da diferença significativa entre médias de DG apresentadas na Tabela 3, não existe tamanha discrepância entre as espessuras dos galhos em cada espaçamento. Isto é, o máximo DG no espaçamento (3 x 1) m (E1) não é muito inferior ao máximo no espaçamento (3 x 3) m (E3) e nem o oposto ocorre para os mínimos em ambos os tratamentos. Também, a maioria dos galhos tinha diâmetro superior a 5 mm e inferior a 15 mm. Assim, o ajuste de qualquer reta a tais aglomerados não permite a visualização de tendências.

O pequeno diâmetro dos galhos em todos os espaçamentos indica que todas as densidades de plantio testadas no presente estudo foram suficientemente altas para controlar a espessura dos galhos, dispensando a necessidade de plantios com densidades de 3333 ou 1667 árvs.ha⁻¹ para tal finalidade.

Figura 10 – Relação entre o diâmetro do galho (DG) e o diâmetro a altura do peito (DAP, A), a altura do galho (HG, B), o diâmetro do tronco (DT, C) e a área de projeção da copa (AC, D) de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses cultivado em quatro espaçamentos. E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m

É possível que a fragmentação das medidas de DG segundo a condição fisiológica (vivo ou morto) e/ou os valores máximos e mínimos medidos em cada árvore revelassem com maior clareza as relações entre a espessura dos galhos e as outras variáveis.

Eucalyptus nitens de 5 anos, Austrália, crescidos em densidades que variaram entre 500 e 1667 árvs.ha⁻¹, apresentaram alta relação entre o máximo diâmetro de galho e o DAP, que variou significativamente com a densidade de plantio (NEILSEN; GERRAND, 1999).

Em *E. pilularis* e *E. grandis* de 5 anos, Austrália, cultivados em densidades que variaram entre 833 e 3333 árvs.ha⁻¹, o diâmetro do galho variou significativamente em função do

espaçamento e da posição vertical no tronco, esta mais influente que o espaçamento. Tais variáveis, porém, explicaram pouco a variação total do diâmetro dos galhos (KEARNEY et al., 2007).

Em estudo com *E. pilularis* e *E. cloeziana* de 4 anos, Austrália, o aumento da densidade de 1250 para 1667 árvs.ha⁻¹ fez cair o diâmetro médio de galhos mortos e o diâmetro máximo de galhos vivos situados entre a base e os 5,5 m do tronco. O mesmo efeito não foi observado quando comparadas as densidades de 1667 e 3333 árvores.ha⁻¹ (ALCORN et al., 2007).

Na Figura 11 a distribuição do diâmetro dos galhos (DG) em função da localização na base do tronco foi avaliada segundo a distribuição de médias divididas em toretes. Observa-se que em todos os espaçamentos os galhos mais próximos do solo, no torete 1 (T1), são mais espessos que nos demais toretes (T2 e T3). A provável causa para tal distribuição é a mais longa exposição à luz dos galhos basais antes do fechamento do dossel, permanecendo vivos e ativos por mais tempo e ficando, conseqüentemente, mais vigorosos.

Figura 11 – Diâmetro médio dos galhos de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses de idade em função do espaçamento (E1; E2; E3 e E4) e da localização na base do tronco, dividido em toretes de 60 cm localizados entre 0,5 e 1,1 m (T1); 1,1 e 1,7 m (T2) e 1,7 e 2,3 m (T3) de distância do solo.

4.2 Efeito do espaçamento e da desrama aos 31 meses

Os resultados da análise de variância (ANVA) para o DAP e o quociente de afilamento do tronco (QA) não apontaram diferença significativa entre os valores calculados para as subparcelas desramadas e não desramadas. Somente quando avaliadas as diferenças entre as subparcelas do espaçamento (3 x 3) m (E3), foi identificada diferença significativa ($p < 0,1$). Porém, já aos 18 meses esta mesma diferença já existia, comprovando que era uma característica das árvores selecionadas para amostragem e não o efeito da desrama artificial. Este resultado indica que uma intensidade de desrama (IDR) de aproximadamente 20% de remoção do comprimento de copa não afetou quantitativa nem qualitativamente a produção de madeira na porção basal do tronco.

A remoção de 50%, 50%, e 33% do comprimento da copa, não afetou o crescimento das árvores em plantios de *E. nitens*, Austrália (PINKARD; BEADLE, 1998), *E. dunnii*, Brasil (DOBNER JR.; SEITZ, 2015) e híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, Brasil (FONTAN et al., 2011), respectivamente.

Também, o comprimento da copa remanescente em todos os espaçamentos (LCRM, Tabela 3) foi superior a 4 m, que foi um valor mínimo de LCRM estabelecido para plantios de *E. dunnii*, Brasil, para não reduzir o crescimento de árvores submetidas a desrama artificial (DOBNER JR.; SEITZ, 2015).

Nas subparcelas sem desrama artificial, a desrama natural completa ocorreu somente em 5 dos 360 galhos avaliados. Definitivamente, a desrama artificial acelerou a formação de clear.

A remoção de 50 a 70% da copa em plantios de *E. nitens* desramados aos 3 anos, Austrália, alterou leve e temporariamente a forma do tronco passados 2 anos da aplicação da desrama (PINKARD; BEADLE, 1998). *Eucalyptus grandis*, Brasil, submetidos a diferentes intensidades de desrama não apresentaram diferentes conicidades (POLLI et al., 2006).

Após confirmado um efeito insignificante da desrama artificial sobre o crescimento das árvores, o efeito do espaçamento sobre a floresta aos 31 meses de idade foi avaliado sem distinção entre subparcelas para a área basal (AB), o diâmetro a altura do peito (DAP) e o quociente de afilamento (QA), cujos resultados constam na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios da área basal (AB), diâmetro a altura do peito (DAP) e quociente de afilamento (QA) de *Eucalyptus urophylla* aos 31 meses em função do espaçamento.

Variável	E1	E2	E3	E4
AB (m ² .ha ⁻¹)	18,31 (0,9) a	15,0 (0,6) b	12,2 (0,4) c	11,1 (0,6) c
DAP (cm)	8,3 (0,2) c	10,7 (0,2) b	11,8 (0,2) a	11,1 (0,3) ab
QA (cm.m ⁻¹)	0,6 (0,03) b	0,7 (0,03) a	0,8 (0,03) a	0,8 (0,04) a

Nota: Valores entre parênteses representam o erro padrão dos dados. Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p = 0,05$). E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

A esta idade, o espaçamento (3 x 1) m (E1) continuou produzindo maior quantidade de madeira por unidade de área que os demais espaçamentos, como demonstrado pelo valor médio de AB. O diâmetro médio dos troncos (DAP) permaneceu significativamente inferior em E1 e a principal mudança desde os 18 meses foi no espaçamento (6 x 1,5) m (E4), que aos 18 meses (Tabela 4) apresentava média igual à do espaçamento (3 x 2) m (E2), mas que aos 31 meses apresentou valor médio intermediário entre E2 e (3 x 3) m (E3). Houve uma redução no quociente de afilamento (QA) dos 18 meses para os 31 meses, em todos os espaçamentos, uma tendência natural em árvores com o passar do tempo e a elevação da copa (LARSON, 1963).

4.3 Oclusão da casca

O processo de oclusão da casca está certamente associado à formação de madeira após a desrama artificial. Nesta seção, o desenvolvimento da oclusão medido e observado em campo foi discutido em função do tempo, espaçamento e condição fisiológica do galho.

A tesoura de poda utilizada neste experimento não foi a melhor opção entre as disponíveis no mercado, pois as lâminas eram desniveladas, fazendo o galho fletir quando estava sendo cortado. Os galhos vivos são mais flexíveis e por isso encurvam até serem finalmente cortados pela lâmina enquanto os galhos mortos são secos e tendem a quebrar onde é feita a pressão antes de serem cortados. Desta forma, são grandes as chances de maiores fragmentos resultarem de galhos cortados mortos (Figura 12).

Figura 12 – Fragmento saliente resultante de galho cortado morto

O tamanho da cicatriz varia não apenas em função do diâmetro do galho, mas também em função da ferramenta utilizada e da maneira como o galho foi cortado. Foi encontrada alta correlação linear positiva entre a área da cicatriz imediatamente após a desrama artificial (ACZ_1) e o diâmetro do galho (DG), conforme ilustrado no gráfico da Figura 13. Este resultado indica que com a ferramenta e o tipo de corte utilizados neste estudo, DG é um importante preditor do tamanho da cicatriz.

Figura 13 – Área da cicatriz em função do diâmetro do galho de *Eucalyptus urophylla* aos 18 meses desramado com tesoura de poda. E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

Passado um mês da desrama artificial, já era possível notar a formação de casca sobre a cicatriz (Figura 14 (a)). Em março de 2015, dois meses após a desrama artificial, a oclusão externa era ainda mais evidente e sobre alguns galhos encontrava-se em estágio consideravelmente avançado (Figura 14 (b)). Em junho de 2015, algumas cicatrizes já estavam completamente ocluídas (Figura 14 (c)).

Figura 14 – Cicatrizes de gahos podados de *Eucalyptus urophylla* passados 1 (a), 2,5 (b) e 5 meses (c) da desrama artificial.

Na casca de árvores injuriadas, uma camada ligno-suberizada é formada ao redor da cicatriz para propiciar uma rápida proteção dos tecidos saudáveis contra a perda de água e a infecção por microrganismos (STOBBE et al., 2002). No processo de cicatrização, também ocorre a regeneração do felogênio (PALLARDY, 2008a). Em árvores do gênero *Pupulus* e *Acer* que tiveram a casca injuriada, a regeneração do câmbio foi precedida pela formação do felogênio, que se tornou ativo logo após a cobertura total da cicatriz (SOE, 1959 apud PALLARDY, 2008).

As cicatrizes resultantes da desrama artificial do presente estudo foram pequenas e bastante localizadas. É possível presumir que oclusão medida em campo seja, de fato, uma reação mais vinculada à casca que ao câmbio vascular, este provavelmente não tendo participado da selagem da cicatriz.

Com o passar do tempo, a quantidade de cicatrizes mensuráveis foi cada vez menor, devido a dois fatores que prejudicaram a visualização de seus limites verticais e horizontais: primordialmente, a presença de exsudado nas bordas (Figura 15) e/ou a profundidade das cicatrizes. A profundidade foi uma dificuldade mais pronunciada ao final do experimento, enquanto o exsudado foi uma dificuldade mais precoce e recorrente.

Figura 15 – Bordas das cicatrizes da casca de *Eucalyptus urophylla* desramado seladas pelo exsudato secretado, indicado pelas setas

A Figura 16 apresenta a proporção de cicatrizes que não puderam ser medidas ao longo do período de medição. É possível notar que até julho de 2015 a visualização dos limites foi gradualmente prejudicada e que em fevereiro de 2016 os limites de uma proporção entre 70 e 100% das cicatrizes não era mensurável. É provável que, embora não fosse visível um padrão como o da Figura 14 (c), onde se vê uma cicatriz perfeitamente ocluída, muitas das cicatrizes não mensuráveis nos meses finais do experimento estivessem, na realidade, totalmente ocluídas.

Figura 16 – Percentual de cicatrizes de árvores de *Eucalyptus urophylla* desramadas artificialmente em diferentes espaçamentos (A) e com diferentes condições fisiológicas (B) cuja medição dos diâmetros verticais e/ou horizontais foi impossibilitada ao longo do experimento

A visibilidade das cicatrizes diferiu entre espaçamentos (Figura 16 (a)), sendo que nos espaçamentos (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4) houve mais cicatrizes não mensuráveis no decorrer do estudo. Como demonstrado na Tabela 3 e na Figura 9, nos dois espaçamentos mais densos (E1 e E2) eram semelhantes as proporções de galhos vivos e mortos, assim como eram semelhantes entre os espaçamentos menos densos (E3 e E4).

Na Figura 16 (b) pretendeu-se estudar a relação entre a dificuldade de visualização dos limites da cicatriz e a condição fisiológica do galho (vivo/morto), onde ficou claro que a medição de galhos vivos foi mais prejudicada que a medição de galhos mortos.

Estes resultados indicam que em cicatrizes de galhos cortados vivos o mecanismo de proteção através da secreção de exsudados, até que a casca seja capaz de cobrir a cicatriz por completo, é mais eficiente, sustentando a recomendação de se priorizar a poda de galhos vivos.

A produção de exsudados sobre ferimentos em árvores a partir de estruturas secretoras especializadas no xilema secundário e floema da árvore ocorre em uma diversidade de espécies (PALLARDY, 2008). Porém, não é clara a função destes exsudados, que podem ser para proteção contra microrganismos, desidratação, entre muitas outras possibilidades.

Eyles e Mohammed (2003) afirmaram que no *Eucalyptus spp.* só é possível ter certeza que a secreção de exsudados, comumente de cor avermelhada e escura, é uma reação à provocação de ferimentos. Foi neste mesmo estudo que as autoras recomendaram que a palavra “kino” somente fosse utilizada quando comprovada a origem e a composição química destes exsudados. Portanto, no presente estudo, tal terminologia somente será empregada quando presente nas bibliografias utilizadas.

O efeito da adubação com nitrogênio e fósforo (N e P) sobre a ocorrência de podridão foi estudado em plantios de *Eucalyptus nitens* desramados aos 6 anos de idade, Austrália. A proporção de kino no xilema secundário das populações sem fertilização foi muito superior à encontrada para populações fertilizadas. A presença de kino também foi associada às cicatrizes de galhos desramados mortos. Portanto, a adubação reduziu a quantidade de kino porque reduziu a mortalidade dos galhos (WISEMAN et al., 2006). Isto indica que no xilema secundário de *Eucalyptus spp.*, a presença de galhos mortos desramados exigiu das árvores maior proteção contra o apodrecimento.

Em plantios de *E. globulus* e *E. nitens*, Austrália, foi estudada a exsudação de kino em árvores submetidas a injúrias mecânicas, químicas e biológicas. Imediatamente após a desrama foi observada a presença de extrativos escuros em ambas as espécies, apesar do *E. nitens* não ser uma espécie que não costuma exsudar kino (EYLES; MOHAMMED, 2003).

Na Venezuela foi conduzido um estudo sobre a patogenicidade de espécies da família *Botryosphaeriaceae* para um híbrido (clone) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Foi observada exsudação de kino preto sob a casca em resposta à inoculação de *N. parvum* e *N. Ribis* (cancro) (MOHALI; SLIPPERS; WINGFIELD, 2009).

A Figura 17 apresenta, para cada espaçamento, a evolução da oclusão ao longo do experimento das cicatrizes onde não houve dificuldade na visualização das extremidades. O padrão de variação na taxa de oclusão foi semelhante entre espaçamentos, particularmente até setembro de 2015 (Figura 17 (a)). Nos meses seguintes, os espaçamentos assumiram padrões diferentes, que podem ser reflexo da redução da quantidade de cicatrizes medidas. Padrões de variação semelhante foram observados na oclusão de *Eucalyptus grandis* desramados, Brasil (PULROLNIK, 2002).

A quantidade de tecido produzido sobre a cicatriz (Figura 17 (a, b)) diferiu entre espaçamentos. É possível notar que os espaçamentos (3 x 1) m (E1) e (3 x 3) m (E3) formaram maior e menor quantidade de tecido sobre a cicatriz, respectivamente. Estes mesmos espaçamentos apresentaram os mínimos e máximos valores de diâmetro do galho (DG) aos 18 meses e do tronco (DAP) aos 31 meses. Este resultado indica que o tamanho da árvore é um preditor da taxa de oclusão da casca absoluta de cicatrizes.

No entanto, devido aos diferentes valores médios de diâmetro do galho (DG) é preciso reconhecer que onde os galhos eram mais espessos (E3) mais tecido era necessário para ocluir as cicatrizes. Na Figura 17 (c) a taxa de oclusão relativa ao tamanho da cicatriz imediatamente após a desrama artificial (ACZ_1) mostra que ao final do experimento, em fevereiro de 2016, a oclusão externa de cicatrizes foi igualmente eficiente entre espaçamentos.

Para as densidades de plantio avaliadas no presente estudo, o maior diâmetro do galho resultante do espaçamento mais amplo não foi prejudicial à oclusão das cicatrizes na casca. Igualmente, a taxa de oclusão absoluta mais lenta no espaçamento mais denso não atrasou a oclusão, já que nele os galhos eram menores.

Diversos estudos demonstraram haver associação entre a taxa de oclusão na casca e o incremento em DAP, onde foi identificada relação positiva entre as variáveis (LIU et al., 2012; NICOLESCU; SANDI; PĂUN, 2013; SMITH et al., 2006).

Figura 17 - Médias de área ocluída absoluta (A), acumulada (B) e percentual acumulada relativa a área da cicatriz imediatamente após a desrama artificial (C) em plantios de *Eucalyptus urophylla* crescidos nos espaçamentos (3 x 1) m (E1); (3 x 2) m (E2); (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4).

Plantios de 4 espécies de eucalipto, *E. pilularis*, *E. grandis*, *E. cloeziana* e *E. dunnii*, Austrália, foram desramadas aos 3,5 anos de idade. A oclusão externa esteve altamente associada ao tamanho da cicatriz, mas não ao incremento em diâmetro. Galhos menores ocluíram mais rapidamente (SMITH et al., 2006).

Em florestas naturais de *Picea abies* com 50-60 anos de idade, Lituânia, foram removidos fragmentos de casca de diferentes tamanhos para simular injúrias provocadas por operações florestais ou animais. Medidas após 19 a 21 anos, as cicatrizes inicialmente menores apresentaram mais rápida oclusão. Concluiu-se que injúrias com diâmetro horizontal superior a 5 cm devem ser evitadas pela grande possibilidade de não ocluírem (VASAITIS et al., 2011).

Em florestas plantadas de *Corymbia torelliana*, China, podadas aos 40 meses de idade, a oclusão externa foi mais eficiente nas cicatrizes maiores. Porém, os autores apontaram a possibilidade das cicatrizes maiores estarem associadas a uma maior remoção de colar, que pode ter alarmado a árvore, que por sua vez desprende mais energia na oclusão externa para proteger uma grande cicatriz (LIU et al., 2012).

A oclusão externa na desrama artificial está altamente associada à injúria que a ação provoca sobre tecidos vivos (MARCHI et al., 2013; O'HARA, 2007). Pelo tipo de corte empregado no presente experimento, sem ferir o colar, era esperada uma diferença na taxa de oclusão da casca de cicatrizes de galhos vivos e mortos, já que a desrama destes tipicamente não fere qualquer tecido vivo.

Na Figura 18 está ilustrada a taxa de oclusão da casca em função da condição fisiológica do galho. Fica claro que a aclusão de galhos mortos é sensivelmente mais lenta, como esperado. O corte dos galhos vivos é imediatamente sentido pela árvore, que reage prontamente. Retomando a Figura 16 (b) e a respectiva interpretação, galhos vivos não apenas ocluem em maior velocidade, mas também são protegidos através da secreção de exsudados com maior intensidade. É possível que a árvore leve algum tempo até notar que o galho morto foi cortado para então reagir com a intenção de proteger e ocluir a cicatriz. Portanto, cicatrizes de galhos mortos permanecem desprotegidas por mais tempo, levando mais tempo até a formação do felogênio e do câmbio vascular.

Figura 18 - Médias de área ocluída absoluta (A), acumulada (B) e percentual acumulada relativa a área da cicatriz imediatamente após a desrama artificial (C) em função da condição fisiológica do galho, vivo (V) ou morto (M) de plantios de *Eucalyptus urophylla*

4.4 Oclusão no xilema secundário

Na Figura 19 são apresentados os padrões de cicatriz na casca das toras avaliadas em laboratório e o aspecto do xilema secundário correspondente a estes padrões. As cicatrizes na casca apresentaram 3 padrões clássicos: com fragmento de galho, oclusão incompleta ou completa. Sob cada cicatriz observaram-se as marcas no xilema secundário, para as quais foram atribuídos os mesmos 3 padrões. Não necessariamente os padrões no xilema secundário sob a casca corresponderam aos padrões observados na casca.

Figura 19 - Cicatriz com fragmento de galho (a, d), com oclusão incompleta (b, e) e completa (c, f) na casca (a, b, c) e sob a casca, no xilema secundário (d, e, f)

Durante o desgaste da madeira em torno rotativo, as marcas tipicamente encontradas no xilema secundário consistiam do mesmo exsudado observado nas medições de cicatrizes em campo, cujas imagens constam na Figura 15. Estas marcas não só eram claramente compostas pelo exsudado, mas também tinham forma definida.

Pelas observações do padrão de oclusão das cicatrizes na casca e das marcas de exsudado nos toretes desgastados, ilustrados na Figura 20, é possível presumir que as margens do tecido da casca formado sobre as cicatrizes tenham delimitado a abrangência do exsudado no plano tangencial do xilema secundário. Nas próximas sessões serão apresentados os estudos sobre a atuação da casca na delimitação da abrangência do exsudado no plano radial da zona de oclusão dos toretes avaliados.

Figura 20 – Padrões de oclusão observados na casca (a, b, c) e no xilema secundário (d, e, f) de cicatrizes de árvores de *Eucalyptus urophylla* submetidas a desrama artificial

Em plantios de *Eucalyptus grandis*, Brasil, onde as árvores foram podadas entre os 16 e 45 meses de idade, nas zonas de oclusão foram encontrados fragmentos de galhos, provavelmente associados a galhos cortados mortos (POLLI et al., 2006), semelhante à situação exemplificada na Figura 20 (a, d).

Das toras levadas ao laboratório, em 54 dos 133 galhos avaliados neste estudo, quantia equivalente a 41% do total, foi registrado o início da produção de clear. Foram 4; 9; 25 e 16, correspondentes a 10; 25; 70 e 45% de galhos totalmente ocluídos nos espaçamentos E1, E2, E3 e E4, respectivamente. Somente estes galhos foram incluídos nas análises de variância e de

regressão linear que serão apresentadas a seguir. As porcentagens são importantes indicadores da produção de clear em cada espaçamento e serão interpretadas no decorrer deste capítulo.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da análise de variância das variáveis avaliadas em laboratório. Também constam as espessuras de casca (ECC) referentes a amostragem destrutiva de junho de 2015 conforme a metodologia previamente descrita.

Tabela 5 – Medidas de espessura e diâmetro no plano radial (variáveis lineares) e de área das respectivas circunferências e dos anéis circulares (variáveis bidimensionais) medidas no plano tangencial dos toretes desgastados em torno rotativo de árvores de *Eucalyptus urophylla* de 31 meses, 13 meses após a desrama artificial

	E1	E2	E3	E4
Variáveis lineares				
Diâmetro do núcleo nodoso (DNN, cm)	6,8 (0,4) b	8,9 (0,8) b	11,3 (0,3) a	8,9 (0,4) b
Espessura da casca (ECC, mm)	3,0 (0,2) b	4,2 (0,1) a	4,7 (0,2) a	4,3 (0,2) a
Espessura da zona de oclusão (EZO, mm)	3,4 (0,7) b	4,5 (0,8) ab	6,2 (0,4) a	4,4 (0,7) b
Espessura de clear (ECL, mm)	3,8 (0,7)	4,0 (1,0)	3,8 (0,4)	2,6 (0,7)
Variáveis bidimensionais				
Área da casca (ACC, cm ²)	7,5 (0,6) c	13,6 (0,7) b	19,8 (0,9) a	14,4 (1,0) b
Área da zona de oclusão (AZO, cm ²)	10,9 (0,5) b	21,33 (3,8) b	32,4 (2,0) a	18,0 (1,5) b
Área de clear (ACL, cm ²)	7,5 (2,8) ab	11,0 (2,1) ab	13,8 (1,5) a	7,2 (1,8) b

Nota: Valores entre parênteses representam o erro padrão dos dados. Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p = 0,05$). E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

O diâmetro médio do núcleo nodoso (DNN) foi estatisticamente superior no espaçamento (3 x 3) m (E3), exclusivamente. Este resultado já era esperado, pois este espaçamento tinha o maior diâmetro a altura do peito (DAP) aos 18 meses, quando foi executada a desrama artificial, conforme os resultados apresentados na Tabela 3. Da mesma forma, esperava-se que os espaçamentos (3 x 2) m (E2) e (6 x 1,5) m (E4) produzissem valores médios de DNN muito semelhantes.

A espessura da casca (ECC) somente foi estatisticamente inferior no espaçamento (3 x 1) m (E1).

A zona de oclusão (EZO) apresentou espessura significativamente superior no espaçamento (3 x 3) m (E3). Este resultado é de fundamental importância, pois indica que árvores de maior dimensão tendem a apresentar maiores zonas de oclusão. É necessário

compreender quais características nas árvores maiores gera maior zona de oclusão e em que plano do xilema secundário ela está, isto é, no plano tangencial, como o diâmetro do galho (DG), ou radial, como o comprimento do toco remanescente da poda. Por fim, é importante notar que a espessura média da zona de oclusão em todos os espaçamentos foi inferior a 0,7 cm.

Como já citado, para cada espaçamento foram contabilizadas, em laboratório, diferentes proporções de galhos desramados com produção de clear iniciada (E1=10%; E2=25%; E3=70%; E4=45%). Onde foi maior a espessura da zona de oclusão (EZO) foi também produzido clear em maior quantidade, ou seja, a dimensão de EZO não limitou a produção de clear nos 13 meses após a desrama artificial. A espessura média de clear (ECL) não diferiu estatisticamente entre espaçamentos, novamente apontando EZO como uma variável pouco relevante ao início da produção de clear no presente estudo.

Na Tabela 5, as áreas dos anéis na seção transversal compostas pela zona de oclusão (AZO) e pela madeira clear (ACL) consideram a dimensão da tora sobre a qual foi produzido o xilema secundário e por isso estas variáveis evidenciaram a diferença entre espaçamentos. Assim, esta perspectiva demonstrou que entre os espaçamentos (3 x 1) m (E1) e (3 x 3) m (E3) a quantidade de clear formado não era tão semelhante, já que o anel de madeira clear (ACL) produzido por E3, apesar de ter igual espessura, tinha raio muito superior ao de E1. Não ficou claro o motivo que fez no espaçamento (6 x 1,5) m (E4) ser menor a quantidade média de clear produzido. Esperava-se que, por ter mesma densidade de plantio que E3, isto é, 1111 árvs.ha⁻¹, E4 apresentaria ACL médio superior.

Toras de *Eucalyptus grandis*, Brasil, foram avaliadas aos 55 meses de idade após diferentes ciclos de desrama até os 6 m de distância do solo. Zonas de oclusão com espessura média igual a 0,48 cm resultaram de galhos com diâmetro inferior a 1,5 cm e com espessura média de 0,78 cm quando os galhos eram mais grossos. Neste estudo, as zonas de oclusão mais extensas estavam associadas à presença de fragmentos de galhos (POLLI et al., 2006).

Em troncos de árvores podadas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, Canadá e E. U. A., foi estudada a espessura da zona de oclusão em função de fatores como o diâmetro do tronco, condição fisiológica do galho e qualidade do corte. Árvores de crescimento lento produziram zonas de oclusão de aproximadamente 12 mm enquanto zonas de até 40 mm de espessura foram produzidas por árvores de crescimento mais rápido. Os autores estimam que até 6,3 mm podem ser acrescidos à espessura da zona de oclusão pelo galho ter sido cortado morto e 4,7 mm por cortes com acabamentos grosseiros (PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997).

4.5 Incremento radial e oclusão em função do tempo

Na Figura 21 são apresentados os valores médios da taxa mensal de incremento (I) e do incremento acumulado mensalmente (IAC) por espaçamento medidos com dendrômetro sem distinção entre as subparcelas desramadas e não desramadas.

Os espaçamentos apresentaram semelhantes padrões de variação da atividade cambial, isto é, com vértices coincidentes (Figura 21 (a)). As taxas de incremento mensal no espaçamento (3 x 2) m (E2) foram sutilmente inferiores àquelas nos espaçamentos (3 x 3) m (E3) e (6 x 1,5) m (E4). Já o espaçamento (3 x 1) m (E1) apresentou taxas muito inferiores aos demais espaçamentos.

A variação na atividade cambial ocorre tanto em espécies decíduas quanto em espécies de folhagem perene (EVERT, 2006). A influência da precipitação sobre a produtividade de ecossistemas tropicais é reconhecida inclusive em plantios de eucalipto. Espécies deste gênero quando sob déficit hídrico transferem a alocação de carbono da parte aérea para o sistema radicular. Quando aumenta a precipitação, aumenta a eficiência na captura de luz e nitrogênio (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004).

O incremento acumulado foi linear em todos os espaçamentos (Figura 21 (b)). Em E3 e E4 foram idênticas as quantidades de lenho produzida. Este resultado não condiz com os diferentes valores de DAP quando o plantio tinha 18 meses (Tabela 3) e indicam que a falha na adubação em alguma das parcelas do espaçamento E4, citada anteriormente, pode, de fato, ter prejudicado o desenvolvimento das árvores antes dos 18 meses. Com a adubação de correção posterior, a produção de xilema secundário em E4 se igualou àquela em E3. Assim, é possível concluir que entre os 20 e 31 meses de idade, a densidade de plantio de 1111 árvs.ha⁻¹ resultante de espaçamentos com diferentes retangularidades produziu iguais quantidades de xilema secundário.

No tratamento E2 a quantidade de xilema secundário produzida foi sutilmente inferior em relação a E3 e E4. As retas formadas pelo incremento acumulado (IAC) nas densidades de plantio de 1667 e 1111 árvs.ha⁻¹ (Figura 21 (b)) foram evidentemente mais inclinadas que a reta formada pelo tratamento E1 (3333 árvs.ha⁻¹). É possível que futuramente a área basal (AB) em E1 seja superada pelos demais espaçamentos, já que produz relativamente cada vez menor quantidade de madeira.

Figura 21 – Taxa de incremento radial mensal (a) e incremento radial acumulado (b) em plantios de *Eucalyptus urophylla* dos 20 aos 31 meses de idade e crescidos em 4 espaçamentos diferentes. E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

A Tabela 6 apresenta o tempo necessário à formação de clear (TPC), os coeficientes angulares e lineares dos modelos gerados a partir do incremento acumulado mensalmente e os respectivos valores da zona de oclusão total (EZOt) utilizados na predição deste tempo para cada espaçamento.

A diferença entre o máximo e o mínimo tempo para a formação de clear (TPC), nos espaçamentos E3 e E4, respectivamente, foi igual a 2 meses. Por terem produzido quantidades muito semelhantes de xilema secundário no período entre 20 e 31 meses, conforme demonstrados na Figura 21 (b), e pelos coeficientes de regressão α e β na Tabela 6, é possível concluir que a espessura da zona de oclusão total (EZOt) foi o determinante sobre o TPC previsto para cada espaçamento.

Tabela 6 - Valores médios da zona de oclusão total (EZOt) e do tempo para a produção de clear (TPC) calculados a partir dos modelos lineares da taxa de incremento radial de *Eucalyptus urophylla* de idade entre 20 e 31 meses crescidos em espaçamentos diferentes.

Espaçamento (m)	α	β	EZOt (mm)	TPC (meses)
E1	-0,71	0,74	6,4	9,6
E2	-1,15	1,0	8,7	9,8
E3	-1,13	1,07	10,9	11,2
E4	-1,08	1,07	8,7	9,2

Nota: α = coeficiente linear, β = coeficiente angular. E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

A explicação mais aceitável para densidades iguais (1111 árvs.ha⁻¹) terem apresentado máxima discrepância entre os valores de TPC é o menor porte das árvores no espaçamento (6 x 1,5) m (E4) anteriormente à aplicação da desrama artificial (Tabela 3), principalmente o menor diâmetro do galho (DG) e a menor espessura da zona de oclusão (EZO). Posteriormente, com o aumento da taxa de crescimento radial provocada pela correção na adubação, o espaçamento foi favorecido, com relativamente alto incremento radial acumulado (IAC) sobre um menor diâmetro de tora a ser ocluído. Tal resultado reforça as vantagens de se aumentar o incremento secundário através do desbaste imediatamente após a desrama artificial em árvores finas de plantios de altas densidades (DĂNESCU et al., 2015).

De modo geral, é possível dizer que maiores densidades de planto resultaram em menor tempo de oclusão. Este resultado condiz com aqueles obtidos para *Betula alnoides* sob espaçamentos diferentes e desramadas naturalmente (WANG et al., 2015).

Porém, modelos gerados para populações de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, desramadas entre 9 e 22 anos, apontaram a taxa de crescimento secundário como fator de grande relevância ao tempo de oclusão (PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997).

Em populações de *Fraxinus excelsior* e *Acer pseudoplatanus*, Alemanha, troncos de árvores podadas entre os 7 e 30 anos de idade foram amostrados 8 anos depois da desrama. Houve intensa relação entre o tempo à formação de clear e o diâmetro do galho, onde galhos mais finos ocluíram mais rapidamente. Também houve relação significativa entre as taxas de incremento radial durante a oclusão e o tempo à formação de clear, mais curto para árvores vigorosas (DĂNESCU et al., 2015).

Em plantios de *Fagus sylvatica*, Alemanha, o período de oclusão respondeu ao diâmetro dos galhos, à taxa de incremento radial durante a oclusão e ao comprimento do fragmento de galho morto (HEIN, 2008).

Árvores provenientes de plantios de *Quercus robur* foram submetidas a amostragem destrutiva 5 anos após a desrama artificial, aplicada com diferentes ferramentas. Foi gerado um modelo de regressão linear para explicar o tempo de oclusão. A combinação dos efeitos do diâmetro do galho e da ferramenta de poda explicaram 25% do tempo de oclusão (MARCHI et al., 2013).

Apesar da reconhecida importância no processo de oclusão, o diâmetro do galho já foi declarado pouco relevante sobre o tempo até a formação completa da zona de oclusão (O'HARA; BUCKLAND, 1996). Também já foi atribuída importância à espessura da casca sobre a da zona de oclusão. Árvores jovens e de pequeno diâmetro costumam ter casca fina, que eventualmente contribui na redução do comprimento do fragmento de galho remanescente da poda em relação a árvores mais velhas (PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997).

4.6 Relações entre a zona de oclusão e outras variáveis

Na Figura 22 estão apresentados os modelos lineares testados para prever a espessura e a área da zona de oclusão (EZO e AZO). Os modelos incluíram como variáveis preditoras o diâmetro do galho (DG), conforme Dănescu et al. (2015); Hein (2008) e Wang et al. (2015) e a espessura da casca (ECC), como sugerido por O'Hara; Buckland (1996).

Os modelos de regressão mostram que tanto a espessura da casca (ECC) quanto a área da casca (ACC), componentes do plano radial do xilema secundário, explicaram a dimensão da zona de oclusão muito mais precisamente que o diâmetro do galho (DG), componente do plano tangencial. Este resultado sustenta resultados de estudos anteriores (DĂNESCU et al., 2015; O'HARA; BUCKLAND, 1996; PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997; WANG et al., 2015).

O estudo da área da zona de oclusão, isto é, na forma de anel, por considerar o diâmetro do tronco, contribuiu sensivelmente na adequação dos modelos lineares. Definitivamente, a adoção da perspectiva bidimensional no estudo da formação de zonas de oclusão e clear é benéfica, pois considera o efeito da dimensão (diâmetro/raio) do tronco sobre o qual tais qualidades de madeira são produzidas.

Figura 22 – Relação entre as dimensões da zona de oclusão do xilema secundário e o diâmetro do galho (A, B) e as dimensões da casca (C, D) de *Eucalyptus urophylla* desramados. E1 = espaçamento (3 x 1) m; E2 = (3 x 2) m; E3 = (3 x 3) m; E4 = (6 x 1,5) m.

A alta correlação entre a área da zona de oclusão (AZO) e a área da casca (ACC) (Figura 22 (d)), cujo modelo de regressão linear apresentou altíssimo coeficiente de determinação ($R^2=0,69$) aponta a oclusão da casca como processo de fundamental importância sobre a oclusão no xilema secundário (MARCHI et al., 2013; O'HARA; BUCKLAND, 1996; PETRUNCIO; BRIGGS; BARBOUR, 1997). No presente estudo, esta relação foi previamente considerada quando constatada a presença do mesmo exsudado observado em campo (Figura 15) nas marcas tipicamente encontradas na zona de oclusão (Figura 20)

4.7 Formação da zona de oclusão em *Eucalyptus urophylla*

A reflexão sobre os resultados discutidos no parágrafo anterior levaram à elaboração do diagrama na Figura 23, que representa a provável sequência da formação da zona de oclusão em *Eucalyptus urophylla* após a desrama artificial.

Figura 23 – Avanço sequencial do processo de liberação de exsudado na borda entre o tecido cicatrizante da casca e a superfície do fragmento de galho remanescente da desrama artificial até a total incorporação do exsudado pelo xilema secundário em *Eucalyptus urophylla*

Como já comentado, a liberação do exsudado é um mecanismo de proteção contra a infiltração de organismos e substâncias e contra a perda de água através do espaço entre a borda da casca, em processo de oclusão, e o fragmento de galho remanescente da poda. É a consistência pegajosa do exsudado que resulta em uma selagem eficiente desta borda. Tal consistência combinada à dinâmica de formação de tecido cicatrizante da casca, resulta na permanência do exsudado sobre a superfície do fragmento do galho. O próprio tecido cicatrizante da casca aos poucos sobrepõe o exsudado liberado outrora e, posteriormente, é incorporado pelo xilema secundário, formando a zona de oclusão.

Enquanto a cicatriz estiver aberta, haverá chance de deposição de exsudado, com a casca delimitando sua abrangência tanto no plano tangencial quanto no plano radial. A conclusão da oclusão da casca indica que mais nenhum exsudado será liberado para além da casca e que a produção de clear pode ser iniciada.

5 CONCLUSÕES

A produção de toras de *Eucalyptus urophylla* com um determinado núcleo nodoso só é possível com a prática benéfica da desrama artificial, que deve anteceder a elevação da copa para que sejam podados galhos vivos, cuja oclusão da casca é muito mais eficiente.

Plantios com densidade igual a 1111 árvs.ha⁻¹ produzem árvores com galhos finos que são facilmente elimináveis através da desrama artificial e que são rapidamente ocluídos. Densidades superiores a esta são dispensáveis para se produzir madeira para serraria. A zona de oclusão em *Eucalyptus urophylla* é marcada pelo exsudado secretado pela árvore para proteger o câmbio e outros tecidos saudáveis. A oclusão periférica da casca delimita a abrangência deste exsudado.

A espessura da casca determina a espessura do anel da zona de oclusão e a formação de clear se inicia quando o xilema secundário sobrepõe o último ponto no plano radial marcado pelo exsudado.

A casca de árvores de maior diâmetro é mais espessa e por isso a zona de oclusão é maior em plantios de baixa densidade. A desvantagem desta maior dimensão é compensada pela maior taxa de crescimento dessas árvores, que resulta em rápida formação de clear.

REFERÊNCIAS

- ALCORN, P.J.; PYTTEL, P.; BAUHUS, J.; SMITH, R.G.B.; THOMAS, D.; JAMES, R.; NICOTRA, A. Effects of initial planting density on branch development in 4-year-old plantation grown *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana* trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 252, n. 1/3, p. 41–51, Nov. 2007.
- BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. Em: MAIA, N. B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. (Ed.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo, SP: EDUC/COMPED/INEP, 2001. 285p.
- BROOKER, M.I.H. A new classification of the genus *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae). **Australian Systematic Botany**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 79–148, 1 Jan. 2000.
- CASSIDY, M.; PALMER, G.; GLENCROSS, K.; NICHOLS, J. D.; SMITH, R. G. B. Stocking and intensity of thinning affect log size and value in *Eucalyptus pilularis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 264, p. 220–227, Jan. 2012.
- CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R.G.B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, Dordrecht, v. 44, n. 6, p. 919–936, 2013.
- CARDOSO, D. J.; ARCE, J. E. Aplicação do índice de tora podada para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. **Pesquisa Florestal Brasileira (Impresso)**, v. 30, p. 119–128, 2010.
- CHATTAWAY, M.M. The anatomy of bark. I. The genus *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 1, n. 3, p. 402–433, 1 Jan. 1953.
- DĂNESCU, A.; EHRING, J.; BAUHUS, J.; ALBRECHT, A.; HEIN, S. Modelling discoloration and duration of branch occlusion following green pruning in *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 335, p. 87–98, Jan. 2015.
- DOBNER JR, M.; SEITZ, R.A. Intensidade ótima de poda em *Eucalyptus dunnii* para a produção de madeira livre de nós. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 45.n. 4, p. 791-796, Ago. 2015.
- EVERT, R.F. **Esau's Plant Anatomy, Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: their Structure, Function, and Development**. 3rd. ed. New Jersey: John Wiley, 2006. 601p.
- EYLES, A.; MOHAMMED, C. Kino vein formation in *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 66, n. 3, p. 206–212, 2003.
- FLORENCE, R.G. **Ecology and Silviculture of Eucalypt Forests**. Collingwood: CSIRO, 1996. 413p.
- FONTAN, I.C.I.; REIS, G.G.; F. REIS, M.G.; LEITE, H.G.; MONTE, M.A.; RAMOS, D.C.; SOUZA, F. C. Growth of pruned eucalypt clone in an agroforestry system in southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 83, n. 2, p. 121–131, 8 Set. 2011.
- FORRESTER, D.I.; MEDHURST, J.L.; WOOD, M.; BEADLE, C.L.; VALENCIA, J.C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1819–1835, Abr. 2010.

- GERRAND, A.M.; NEILSEN, W.A.; MEDHURST, J.L. Thinning and pruning eucalypt plantations for sawlog production in Tasmania. **Tasforests**, Hobart, v. 9, p. 15–34, Dec. 1997.
- GERRAND, A. M.; NEILSEN, W. A. Comparing square and rectangular spacings in *Eucalyptus nitens* using a Scotch plaid design. **Forest Ecology and Management**, v. 129, n. 1, p. 1–6, 2000.
- GLÓRIA, B.A. da; GUERREIRO, S.M.C. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 438p.
- HEIN, S. Knot attributes and occlusion of naturally pruned branches of *Fagus sylvatica*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 12, p. 2046–2057, 2008.
- JACOBS, M.R. **Growth habits of the eucalypts** Canberra: Forestry Timber Bureau, 1955. 262p.
- JACOBS, M.R. **Eucalypts for planting**. FAO Forest ed. Roma, Itália: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 398p.
- JAGELS, R. **Management of wood properties in planted forests**: a paradigm for global forest production. Planted Forests and Trees Working Papers, WP FP/36/E. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 31p.
- KEARNEY, D.; JAMES, R.; MONTAGU, K.; SMITH, G. The effect of initial planting density on branching characteristics of *Eucalyptus pilularis* and *E. grandis*. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 70, n. 4, p. 262–268, 2007.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G.; ROY, J. **The Physiological Ecology of Woody Plants**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.
- KRETSCHMANN, D.E. Mechanical properties of wood. Em: **Wood Handbook**: wood as an engineering material. General Te ed. Madison: Forest Products Laboratory, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, 2010. 509p.
- LARSON, P. R. Stem Form Development of Forest Trees. **Forest Science**, v. 9, n. 4, 1963.
- LIU, Q.; CHEN, S.X.; LI, Z.H.; ARNOLD, R.J. Growth response and wound occlusion in pruned *Corymbia torelliana*. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 24, n. 2, p. 187–197, 2012.
- MÄKINEN, H.; HEIN, S. Effect of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce. **European Journal of Forest Research**, Estocolmo, v. 125, n. 3, p. 239–248, 2006.
- MARCHI, E. (UNIVERSITY OF F. et al. Effects of Cutting Patterns of Shears on Occlusion Processes in Pruning of High-Quality Wood Plantations. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 34, n. 2, p. 295–304, 2013.
- McGAVIN, R.; BAILLERES, H.; HAMILTON, M.; BLACKBURN, D.; VEGA, M.; OZARSKA, B. Variation in Rotary Veneer Recovery from Australian Plantation *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. **BioResources**, Raleigh, v. 10, n. 1, p. 313–329, 2014.
- MILLINGTON, W. F.; CHANEY, W. R. Shedding of plants parts. In: _____ **Shedding of Plants Parts**. [s.l.] Elsevier, 1973. p. 149–204.
- MONTAGU, K.; KEARNEY, D.; SMITH, R.G. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production—a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1/3, p. 1–13, Jul. 2003.

- NEILSEN, W. A.; GERRAND, A.M. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacing and the effect on final crop selection. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 123, n. 2/3, p. 217–229, Nov. 1999.
- NICOLESCU, V.-N.; SANDI, M.; PĂUN, M. Occlusion of pruning wounds on northern red oak (*Quercus rubra*) trees in Romania. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Estocolmo, v. 28, n. 4, p. 340–345, Jun. 2013.
- NUTTO, L.; MALINOVSKI, R.; DOBNER Jr., M.; BRUNSMEIER, M. Branch development of eucalypts managed for sawlogs. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 413–421, Set. 2015.
- O'HARA, K.L. Pruning wounds and occlusion: a long-standing conundrum in forestry. **Journal of Forestry**, Washington, v. 105, n. 3, p. 131–138, 2007.
- O'HARA, K.L.; BUCKLAND, P. A. Prediction of pruning wound occlusion and defect core size in ponderosa pine. **Western Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 11, n. 2, p. 40–43, 1996.
- OPIE, J. E.; CURTIN, R.A.; INCOLL, W.D. Stand management. Em: HILLIS, W. E.; BROWN, A. D. (Eds.). **Eucalypts for wood production**. 2nd. ed. [s.l.] Australia: Academic Press 1984. p. 179–197.
- PALLARDY, S.G. The woody plant body. Em: **Physiology of Woody Plants**. New York: Academic Press, 2008. p. 9–38.
- PETRUNCIO, M.; BRIGGS, D.; BARBOUR, R. J. Predicting pruned branch stub occlusion in young, coastal Douglas-fir. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 7, p. 1074–1082, 1997.
- PINKARD, E.; NEILSEN, W. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n. 2–3, p. 215–227, Jan. 2003.
- PINKARD, E.A.; BEADLE, C.L. A physiological approach to pruning. **International Forestry Review**, Dinchope, v. 2, n. 4, p. 295–305, 2000.
- PINKARD, E.A.; BEADLE, C. L. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. **New Forests**, Dordrecht, v. 15, n. 2, p. 107–126, 1998.
- POLLI, H.Q.; REIS, G.G.; REIS, M.G.D.F.; VITAL, B.R.; PEZZOPANE, J.E.M.; FONTAN, I.D.C.I. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 557–566, 2006.
- PULROLNIK, K. **Crescimento, dinâmica de copa e qualidade da madeira para serraria de clone de *Eucalyptus grandis* [HILL EX MAIDEN] submetido à desrama artificial**. 2002. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- PULROLNIK, K.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F. **Desrama artificial de florestas plantadas de eucalipto**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009, 32p.
- SAVIDGE, R. Tree growth and wood quality. Em: BARNETT, J. R.; JERONIMIDIS, G. (Eds.). **Wood Quality and Its Biological Basis**. Boca Raton: CRC Press, 2003. 226p. (Biological sciences series).
- SHEPHERD, K.R. **Plantation silviculture**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. 322p.

SHIGO, A.L. Compartmentalization: a conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. **Annual Review of Phytopathology**, St. Paul, v. 22, n. 1, p. 189–214, 1984.

SHIGO, A.L. How tree branches are attached to trunks. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 63, n. 8, p. 1391–1401, 1985.

SLATER, D.; HARBINSON, C. Towards a new model of branch attachment. **Arboricultural Journal**, Hampshire, v. 33, n. 2, p. 95–105, 2010.

SMITH, K.T. Compartmentalization today. **Arboricultural Journal**, Hampshire, v. 29, n. 3, p. 173–184, 2006.

STOBBE, H. et al. Developmental Stages and Fine Structure of Surface Callus Formed after Debarking of Living Lime Trees (*Tilia* sp.). **Annals of Botany**, v. 89, n. 6, p. 773–782, 2002.

SMITH, R.G.B. DINGLE, J.; KEARNEY, D.; MONTAGU, K. Branch occlusion after pruning in four contrasting sub-tropical eucalypt species. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 18, n. 2, p. 117–123, 2006.

STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1, p. 17–31, 2004.

TIPPETT, J.T. Formation and Fate of Kino Veins in Eucalyptus L'herit. **IAWA Journal**, Leiden, v. 7, n. 2, p. 137–143, 1986.

TURNBULL, J.W.; PRYOR, L.D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalypts for wood production**. 2nd. ed. Melbourne/Sydney/Florida/London: CSIRO/ACADEMIC PRESS, 1984. 434p.

WANG, C.; ZHAO, Z.; HEIN, S.; ZENG, J.; SCHULER, J.; GUO, J.; GUO, W.; ZENG, J. Effect of planting density on knot attributes and branch occlusion of *Betula alnoides* under natural pruning in southern china. **Forests**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 1343–1361, 21 Abr. 2015.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: GENERAL, T.E. (Ed.). **Wood Handbook - Wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, 2010. 508p.

WISEMAN, D.; SMETHURST, P.; LIBBY, P.; WARDLAW, T.; BEADLE, C.; HALL, M.; BAILLIE, C.; MOHAMMED, C. Pruning and fertiliser effects on branch size and decay in two *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 225, n. 1/3, p. 123–133, 2006.