

GILSON RICARDO TRESSMANN

**SECAGEM DE ÁRVORES DE EUCALIPTO POR APLICAÇÃO DE
HERBICIDA NO TRONCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Tressmann, Gilson Ricardo, 1982-
T799s Secagem de árvores de eucalipto por aplicação de herbicida
2019 no tronco / Gilson Ricardo Tressmann. – Viçosa, MG, 2019.
 xi, 68 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Benedito Rocha Vital.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 56-68.

1. Madeira - Secagem. 2. Árvores - Secagem. 3. Herbicidas.
4. Eucalipto. 5. Carvão vegetal. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.98476

GILSON RICARDO TRESSMANN

**SECAGEM DE ÁRVORES DE EUCALIPTO POR APLICAÇÃO DE
HERBICIDA NO TRONCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

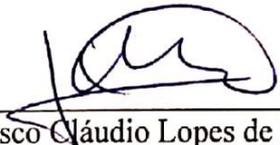
APROVADA: 8 de julho de 2019.



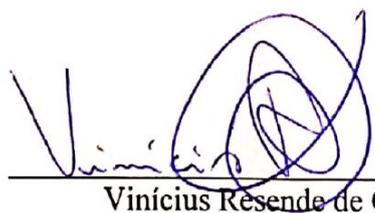
Angélica de Cassia Oliveira Carneiro
(Coorientadora)



Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho



Francisco Cláudio Lopes de Freitas



Vinícius Resende de Castro



Benedito Rocha Vital
(Orientador)

*Somos parte de algo maior, temos um propósito,
por isso nem mesmo a vida eterna será suficiente
para saciarmos nossa busca por respostas. Todas
as coisas criadas, desde as microscópicas até o
vasto universo serão matéria-prima suficiente para
infindáveis milênios de pesquisa – e quão
prazeroso isso será!*

AGRADECIMENTOS

À minha querida esposa Deise por ser tão amorosa e por me acompanhar em cada passo,

Aos meus sogros e cunhada Abel, Delza e Karina por tanto me ajudarem,

Aos meus pais Anselmo e Ruth pelo carinho, mesmo distantes

Aos amigos Eduardo e Renata e Zita Lucas pela hospitalidade,

Aos queridos professores Benedito Vital e Angélica de Cássia pela orientação perita, amizade, confiança e por serem sempre acessíveis apesar de tantos compromissos,

Aos amigos e professores Ana Márcia, Vínicius Castro, Marcos de Paula, Francisco

Cláudio e José Ivo pelas sugestões e por sanarem tantas dúvidas,

À Fazenda Guaxupé e seus colaboradores, por viabilizar a pesquisa, em especial aos senhores Sebastião e Fernando.

À Plantar pela doação de materiais à pesquisa.

Aos amigos do LAPEM e LPM que tanto me ajudaram: Chico Bezerra, Paulinho, Bráulio, Fernanda, Edna, Lawrence, Éder, Sálvio (Moiado), Wellington, Leila, Paula, Emanuelle, Camila, Wellington, Matheus Magalhães, Déborah, Miguel, Danilo, Bruno, Humberto, Luciano, Fabiana, Diego, Bruna, Lucas, Clarissa, Larissa, Márcia, Marcela, Letícia, Emerson, Vínicius, Rafaela, Emily, Amanda.

Aos funcionários da Silvicultura Nilmar, Jorge, Mauro e Pedro

Aos funcionários do DEF

Aos estagiários Matheus Berger, Matheus Araújo e Gabriel.

À Universidade Federal de Viçosa

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

BIOGRAFIA

GILSON RICARDO TRESSMANN, filho de Anselmo Tressmann e Ruth Reblin, nascido em 10 de março de 1982, na cidade de Nova Venécia, Espírito Santo.

Em 2002 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2007.

De 2007 a 2016 atuou no segmento siderúrgico, especificamente na produção de carvão vegetal. Em março de 2017 iniciou o curso de pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa submetendo-se à defesa de dissertação, para obtenção do título de *Magister Scientiae* em 8 de julho de 2019.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS E QUADROS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. O gênero <i>Eucalyptus</i>	4
3.2. Água na madeira	5
3.3. Secagem e fluxo de água na madeira	6
3.3.1. Capilaridade	7
3.3.2. Difusão	8
3.3.3. Fatores que afetam a secagem	9
3.3.4. Secagem de toras ao ar livre	10
3.4. Secagem do eucalipto	11
3.5. O uso de herbicidas	12
3.5.1. Redução de defeitos de secagem	13
3.5.2. Controle de espécies infestantes	13
3.5.3. Redução de área basal	14
3.5.4. Controle de rebrota	15
3.5.5. Limitações ambientais do uso de herbicidas	16
3.5.6. Mecanismos de ação dos herbicidas	16

4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Área de estudo	22
4.2. Delineamento experimental.....	22
4.4. Preparo das amostras	25
4.4.1. Teor de Umidade.....	27
4.4.2. Densidade básica.....	27
4.4.3. Relação cerne/alburno.....	27
4.4.4. Diâmetro e frequência de poros	28
4.4.5. Permeabilidade	28
4.5. Amostras para determinação do teor de umidade por meio de serragem.....	29
4.6. Análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. Mortalidade da parte aérea e rebrota	32
5.2. Características dendrométricas.....	34
5.3. Teor de umidade das árvores com mortalidade da parte aérea.....	35
5.4. Teor de umidade ao longo das árvores (todos os tratamentos)	37
5.5. Teor de umidade a partir de serragem	43
5.6. Propriedades da madeira	47
5.7. Composição anatômica.....	50
5.8. Permeabilidade	52
6. CONCLUSÕES	54
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	55
8. BIBLIOGRAFIA	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Umidade de equilíbrio da madeira em função da umidade relativa e da temperatura.....	7
Figura 2. Secadores de madeira em toras para produção de carvão vegetal.....	11
Figura 3. Representação da atuação dos herbicidas inibidores da enzima ALS.....	18
Figura 4. Representação da atuação dos herbicidas inibidores da enzima EPSP.....	19
Figura 5. Croqui de instalação do experimento	23
Figura 6. Esquema sequencial do procedimento adotado para as árvores testemunhas.	24
Figura 7. Procedimento para aplicação dos herbicidas.....	25
Figura 8. Procedimento sequencial adotado para as árvores tratadas com herbicidas....	26
Figura 9. Corte transversal evidenciando os vasos da madeira. Aumento de 10X.....	28
Figura 10. Coleta de serragem para determinação do teor de umidade.....	30
Figura 11. Comparação visual das brotações de árvores de eucalipto tratadas e não tratadas com herbicidas.....	34
Figura 12. Gradiente longitudinal do teor de umidade médio das árvores 180 dias após a aplicação dos herbicidas, em formato de escala de cores.....	42
Figura 13. Valores médios do teor de umidade da madeira medido no DAP.....	45
Figura 14. Valores estimados e observados do teor de umidade das amostras em discos em função do teor de umidade da serragem.....	46
Figura 15. Valores estimados e observados do teor de umidade ponderado para árvore inteira em função do teor de umidade da serragem.....	46
Figura 16. Permeabilidade do alburno em função do diâmetro e frequência dos vasos.	53

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1. Descrição dos tratamentos	23
Quadro 2. Descrição dos produtos e as respectivas doses aplicadas.....	25
Quadro 3. Percentual médio de mortalidade da parte aérea (%) das árvores tratadas com herbicidas 180 dias após a aplicação.....	32
Quadro 4. Percentual médio (%) de rebrota das árvores tratadas com herbicidas.....	33
Quadro 5. Valores médios de DAP, altura e volume das árvores	34
Quadro 6. Valores médios de teor de umidade (%) da madeira no sentido longitudinal	35
Quadro 7. Teores de umidade médios (%) ponderados para a árvore inteira	36
Quadro 8. Desdobramento da interação entre herbicida e dose para o teor de umidade na seção longitudinal 0-25% da altura	37
Quadro 9. Desdobramento da interação entre herbicida e dose para a seção longitudinal 26-50% da altura	39
Quadro 10. Medianas dos teores de umidade (%) da seção longitudinal de 51-75% da altura das árvores aos 180 dias após a aplicação dos herbicidas.....	40
Quadro 11. Medianas dos teores de umidade (%) da seção longitudinal de 76-100% da altura das árvores aos 180 dias após a aplicação dos herbicidas.....	40
Quadro 12. Desdobramento da interação entre o herbicida e dose para o teor de umidade da árvore inteira.....	43
Quadro 13. Teores médios de umidade na altura do DAP 180 dias após aplicação dos herbicidas	44
Quadro 14. Valores médios de densidade básica (kg/m ³) da madeira em função dos tratamentos	47
Quadro 15. Valores médios da relação cerne/alburno da madeira em função dos tratamentos	48
Quadro 16. Valores médios da relação C/A da madeira na base das árvores	48
Quadro 17. Valores médios da relação C/A da madeira a 25% da altura das árvores	49
Quadro 18. Valores médios do diâmetro (µm) dos vasos da madeira na região do alburno.....	50

Quadro 19. Valores médios do diâmetro (μm) dos vasos da madeira na região do cerne	50
Quadro 20. Valores médios de frequência de vasos (vasos/mm^2) da madeira na região do alburno	51
Quadro 21. Valores médios de frequência de vasos (vasos/mm^2) da madeira na região do cerne	51
Quadro 22. Valores médios de permeabilidade ao ar ($\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$) da madeira da região do alburno.....	52

RESUMO

TRESSMANN, Gilson Ricardo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2019. **Secagem de árvores de eucalipto por aplicação de herbicida no tronco.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Coorientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

A secagem da madeira é um dos mais importantes fatores a serem considerados nos processos produtivos que utilizam a madeira como matéria-prima, pois afeta o rendimento, a qualidade e o custo dos produtos. A secagem de madeira em toras é realizada em campo de forma natural, sendo esse processo lento. Por isso, faz-se necessário desenvolver meios para acelerar a secagem de modo a reduzir custos e garantir a qualidade da matéria-prima nos diferentes segmentos da indústria madeireira. O presente trabalho teve como objetivo principal estudar o efeito da aplicação de herbicidas no tronco de árvores de eucalipto para secagem da madeira. Teve como objetivos específicos comparar os teores de umidade destas árvores com os das toras secas ao ar provindas de árvores colhidas pelo processo convencional, obter o percentual de mortalidade e rebrota, bem como determinar a relação entre as propriedades da madeira e as diferentes combinações de herbicidas e doses. Todos os herbicidas em suas maiores doses promoveram a morte das árvores. Os teores de umidade das árvores que receberam a aplicação dos herbicidas 2,4-D+picloram nas doses de 5 e 15 ml e de *Glyphosate* na dose de 10 ml por planta, não diferiram significativamente dos teores de umidade das toras cortadas e empilhadas, após 6 meses da aplicação. O herbicida *Glyphosate* apesar de promover a secagem das árvores, permitiu também a rebrota das cepas. Ao se comparar as quatro seções ao longo da altura das árvores intoxicadas, verificou-se diferenças significativas em relação à testemunha na seção de 0 a 25% da altura, devido ao efeito do diâmetro. Conclui-se que, por meio da aplicação de herbicidas no tronco de árvores de eucalipto é possível se obter teores de umidade semelhantes à secagem de toras ao ar livre, e em áreas de reforma, esta técnica pode ser utilizada para que as etapas de corte, arraste, processamento e transporte ocorram de forma simultânea como alternativa ao estoque da madeira em pilhas.

ABSTRACT

TRESSMANN, Gilson Ricardo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Eucalyptus trees drying by herbicide application in its trunk.** Advisor: Benedito Rocha Vital. Co-advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

Wood drying is one of the most important factors to be considered in productive process which uses wood as raw material because it has an effect on product performance, quality and cost. The log drying accomplish in the field in a natural way, but it is a slow process. So, it is necessary to develop means to speed up the drying to reduce cost and ensure the raw material quality in all segments of lumber yard industry. The main objective of this project was to study the effect of herbicide application in *Eucalyptus* trunk as a way of drying wood. It had as specific objective to compare the moisture content of these with air dried logs from a conventional process, to get the mortality and regrowth percentage, as well as to determine the relationship between wood properties and different combinations of herbicides and doses. All herbicides in their highest doses promoted the death of trees. The moisture levels of trees that received application of the herbicide 2,4-D+Picloram with dose 5 and 15 ml and herbicide Glyphosate with dose 10 ml by plant do not differentiate significantly from the moisture content levels in logs that were cut and piled, after 6 month of the application. The herbicide Glyphosate besides promoting the trees drying, allowed too the strains regrowth. Comparing the four sections along the intoxicated trees height, it as verified significant differences from the witness in the section from 0 to 25% of height, due to the diameter effect. It is concluded that through the herbicide application in the *Eucalyptus* tree trunk it is possible to get moisture contents similar to natural air drying logs, and in reform areas this technique can be used so that the cutting, dragging, processing and transportation steps occur simultaneously as an alternative to piled wood.

1. INTRODUÇÃO

A secagem da madeira é requisito importante a ser considerado pelas indústrias de base madeireira, pois impacta nos custos de transporte, rendimento, resistência a organismos xilófagos, resistência mecânica, instabilidade dimensional, dentre outras (REZENDE *et. al.*, 2015; BATISTA *et al.*, 2015; FERREIRA, 2012; BRAND *et al.*, 2011).

No setor de carvão vegetal, por exemplo, o teor de umidade da madeira é um dos mais importantes parâmetros a serem monitorados no fluxo produtivo, pois afeta o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão. Além disso, afeta a produtividade dos fornos devido ao aumento do ciclo de carbonização (BRAZ, 2015; REZENDE, 2009).

Com o objetivo de reduzir o teor de umidade da madeira a valor inferior a 40%, conforme orientação do Copam (MINAS GERAIS, 2018), por exemplo, as empresas produtoras de carvão vegetal optam pela estocagem das toras ao ar livre, na forma de pilhas, próximas aos carregadores dos talhões. Estas pilhas permanecem no campo até se obter o teor de umidade desejado, o que pode levar de 3 a 6 meses ou mais, dependendo das condições climáticas do local, da altura das pilhas, do diâmetro e comprimento das toras, do período do ano e das características da espécie (WERNEBURG, 2015; ZANUNCIO, 2014).

Alguns trabalhos têm sido conduzidos variando-se o comprimento das toras, a altura de pilhas, bem como a separação das toras em pilhas com diferentes diâmetros ou com a remoção da casca visando reduzir o tempo de secagem em campo (PINHEIRO, 2013; TEIXEIRA, 2015).

Embora a secagem natural seja de baixo custo, principalmente por não exigir nenhuma estrutura física, o longo tempo necessário para se atingir a umidade desejada, a torna onerosa em função do capital imobilizado não remunerado (exaustão da madeira + custo agregado das operações de corte, arraste e traçamento). Isto pode chegar a representar mais de 50% do custo da madeira entregue na unidade de produção (ZANUNCIO *et. al.*, 2015; SILVA *et. al.*, 2014). Vale mencionar ainda que a secagem da madeira em pilhas gera custos extras com deslocamento e transporte das máquinas e veículos ligados às atividades de colheita florestal, bem como de pessoal para sua operação e manutenção, devido às longas distâncias entre talhões em diferentes operações de colheita.

Além disso, o longo tempo de estocagem das toras, principalmente daquelas em contato direto com o solo, reduz a taxa de secagem e favorece o crescimento de fungos apodrecedores, acarretando perda de massa e redução das propriedades físicas e mecânicas (NEGRÃO, 2011; ABREU *et al.*, 2002).

Por causa dos efeitos negativos da umidade no rendimento e na qualidade do carvão, bem como pelo custo e longo tempo de espera pela secagem natural, grandes empresas do setor têm investido em formas alternativas para acelerar a secagem. Estas pesquisas têm como base fundamental o aproveitamento da energia liberada pela combustão dos gases gerados na produção de carvão, os quais são canalizados para secadores artificiais ou para outros fornos (OLIVEIRA, 2015).

Além destas, há a possibilidade de secagem de árvores em pé, por meio da utilização de herbicidas. Esta técnica é utilizada para melhorar as condições de luminosidade para as espécies de interesse econômico, além da colheita de espécies indesejáveis. Pratica-se a técnica de abertura de dossel a partir do anelamento físico e/ou químico das árvores. Essa técnica leva à perda gradual das folhas, dos ramos, propiciando a secagem natural das árvores (SANDEL e CARVALHO, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A aplicação de herbicidas em árvores em pé, também pode ser empregada para reduzir os defeitos de secagem decorrentes das tensões de crescimento, às quais são diminuídas quando a árvore é morta sem a realização de corte (SOUZA *et al.*, 2013; DA ROCHA e TRUGILHO, 2006).

Vale salientar que, em comparação com as toras empilhadas, que estão sempre sombreadas e com pouca ventilação, com exceção apenas das toras da parte superior da pilha, as árvores em pé estão mais expostas ao efeito do vento, da umidade relativa do ar e da radiação solar.

Logo, a alternativa de secar a madeira a partir de árvores em pé, torna-se atrativa, principalmente em áreas de reforma de plantios. No entanto, ainda são escassos os estudos que demonstrem a viabilidade técnica de aplicação de herbicidas para secagem de madeira.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo Geral

Avaliar o efeito da aplicação de herbicidas no tronco de árvores de eucalipto, visando a secagem da madeira.

2.2.Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da aplicação de quatro tipos de herbicidas em três diferentes doses no teor de umidade da madeira de árvores de eucalipto;
- Obter os teores de umidade da madeira no sentido longitudinal das árvores em função dos tratamentos;
- Comparar os teores de umidade de toras oriundas de árvores que receberam aplicação de herbicidas com os teores de umidade de toras colhidas e secas no campo pelo método tradicional;
- Correlacionar as propriedades da madeira com os efeitos dos herbicidas e doses para a secagem das árvores;
- Obter o percentual de mortalidade das árvores de eucalipto em diferentes combinações de herbicidas e doses;
- Determinar o percentual de rebrota nos tocos das árvores que receberam a aplicação dos herbicidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália, pertence à família *Myrtaceae*, com mais de 800 espécies, além de muitas variedades e híbridos desenvolvidos para fins tecnológicos, de acordo com as peculiaridades das diferentes regiões de plantio do Brasil e do mundo (COPPEN, 2003; TRUGILHO *et al.*, 1996).

Os plantios florestais no Brasil ocupam 7,84 milhões de hectares. O gênero *Eucalyptus*, principal espécie plantada, compõe 73% desse total e sua área aumenta em torno de 2,4% ao ano. Os três principais segmentos responsáveis por essa demanda são 1) celulose e papel: 35%; 2) comércio da madeira *in natura* (proprietários independentes): 30%; e 3) siderurgia a carvão vegetal: 13% da área plantada. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Bahia concentram 67% das florestas de eucalipto (IBÁ, 2017; 2018).

Devido aos fatores edafoclimáticos favoráveis e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento pelas empresas dos principais setores madeireiros, os plantios de eucalipto no Brasil se destacam como os de maior produtividade e de menor rotação do mundo, superando a média de 35 m³/ha/ano aos 7 anos (IBÁ, 2017).

A opção pelo plantio de eucalipto no Brasil se deve aos inúmeros atributos em uma única espécie requisitados pelos mais diversos segmentos da indústria madeireira, tais como alta produtividade, rusticidade, adaptabilidade às diferentes regiões, versatilidade de aplicações, amplo domínio técnico do seu manejo, características estas que inclusive promovem a redução da pressão sobre as florestas nativas. As indústrias de celulose, carvão vegetal, chapas de fibras/partículas e madeira serrada bem como pequenos produtores, investem cada vez mais em plantios de eucalipto à medida que suas demandas aumentam.

Dentre as diversas espécies do gênero *Eucalyptus*, as principais atualmente cultivadas para a produção de carvão são: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus pellita*. *Corymbia citriodora* e *Corymbia torelliana* e os híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* também são muito cultivados (CARNEIRO, 2017; 2014; DE ASSIS, 2014; PROTÁSIO *et al.*, 2013; CASTRO, 2013; SANTOS, 2010; BOTREL *et al.*, 2007). Estas espécies ou híbridos, além de alta produtividade, têm características favoráveis, tais como alta

densidade básica e poder calorífico, baixo teor de minerais e alto teor de lignina (TRUGILHO *et al.*, 1997).

3.2. Água na madeira

A água é fundamental para a sobrevivência da árvore. A absorção pelas raízes, o transporte da seiva até as folhas e das folhas até as raízes pelos elementos condutores do xilema e floema, a fotossíntese e a transpiração garantem o crescimento e as atividades metabólicas das plantas. O volume de água perdido pelas folhas diariamente é restaurado continuamente num processo dinâmico proporcionando um elevado teor de umidade contínuo nas árvores fisiologicamente ativas (GUL *et al.*, 2017).

Embora o teor de umidade varie entre espécies e com a densidade, é possível encontrar na literatura teores de umidade em árvores vivas variando de 30 a 200%, em base seca (PERTUZATTI, 2013; ROSS, 2010; TRUGILHO, 2005; STEWART, 1967). Teoricamente, para uma madeira com densidade básica de 300 kg/m³ o teor máximo de umidade estimado pode chegar a 268% (ROWELL, 2005).

Portanto, quando a árvore está fisiologicamente ativa, a água é o componente químico em maior abundância na madeira atuando no seu metabolismo e interferindo nas suas propriedades físicas e mecânicas (ROWELL, 2005).

Em termos químicos, Rowell (2005) define a madeira como biocompósito tridimensional composto por uma rede de polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina interconectados e por pequenas quantidades de extrativos e minerais. Em geral, a holocelulose, formada pela celulose e hemiceluloses, corresponde a quase 70% da massa seca da madeira.

Esses polissacarídeos formam conjuntos moleculares chamados cristalinos, que por sua vez se ligam longitudinalmente formando fibrilas elementares. As fibrilas elementares possuem cerca de 30% de regiões amorfas capazes de interagir com a água devido aos grupos hidroxílicos livres. Os grupos hidroxilas existentes nas regiões amorfas, bem como nos espaços microfibrilares conferem higroscopicidade à madeira (MORESCHI, 2014; ROWELL, 2005; ROSS, 2010).

Conforme destacado acima, além da umidade adsorvida pelas paredes celulares, chamada também de água de adesão, impregnação ou higroscópica, a água presente na madeira pode ocorrer na forma de água livre ou água de constituição.

A água livre, também conhecida como água de capilaridade, mantida por fracas ligações moleculares, é aquela que preenche, em estado líquido (SANTOS, 2003), os

espaços intercelulares, as cavidades e o lúmen das células, bem como os canais resiníferos, nas coníferas (SKAAR, 1972). A água livre é considerada de fácil remoção, sendo eliminada por capilaridade após o corte da árvore (JANKOWSKY, 1990).

A água de constituição faz parte da estrutura química dos componentes primários da madeira e só pode ser eliminada quando acompanhada por uma degradação irreversível (BRITO *et al*, 2006), geralmente, acima dos 200°C, com o início da degradação das hemiceluloses (PEREIRA *et al.*, 2013).

3.3.Secagem e fluxo de água na madeira

A secagem é parte importante na maioria dos processos de transformação da indústria de base madeira, pois é uma das fases que mais agrega valor ao produto. A secagem aumenta o rendimento gravimétrico e a qualidade na transformação de madeira em carvão, melhora a trabalhabilidade e estabilidade nos produtos manufaturados, diminui a atratividade aos organismos xilófagos, reduz os custos de transporte, dentre outras vantagens importantes (TEIXEIRA, 2015; LEITE *et al.*, 2010; BARBOSA, 2005; JANKOWSKY, 2003).

Por se tratar de um material higroscópico, a madeira pode tanto perder quanto ganhar umidade de acordo com a umidade relativa e temperatura do ambiente circundante (Figura 1). A perda gradativa de água da madeira se dá por meio do balanço entre a transferência do calor do ar circulante para a superfície da madeira e a transferência da umidade da superfície da madeira para o ar (ROSS, 2010; SANTOS *et al*, 2003).

Enquanto há água livre, não ocorrem mudanças nas dimensões da madeira, no entanto, alterações abaixo da umidade de saturação das fibras (PSF), acarretam alterações nas dimensões da madeira sofrendo contrações e/ou expansões. Dinamicamente, com o passar do tempo e a madeira permanecendo nas mesmas condições de umidade relativa, a sua umidade entra em equilíbrio higroscópico (ROWELL, 2005). Ou seja, é o estado em que a madeira praticamente nem ganha e nem perde umidade, variando muito pouco com a umidade relativa e temperatura do meio ambiente (ROSS, 2010).

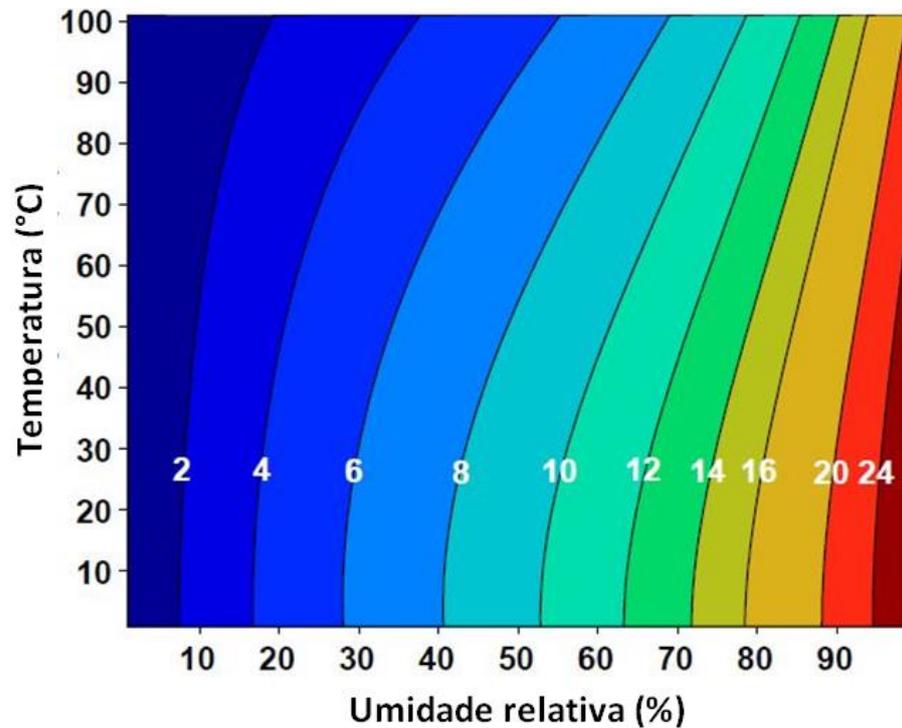


Figura 1. Umidade de equilíbrio da madeira em função da umidade relativa e da temperatura. Fonte: Ross (2010).

A secagem ocorre quando há a migração da umidade do interior da peça de madeira para as camadas mais superficiais e evapora. Portanto, a saída da água ocorre a partir de um gradiente de umidade (HART, 1966) sendo diretamente afetada pela temperatura, umidade relativa e velocidade de deslocamento do ar.

A grande complexidade no estudo dos processos relacionados à secagem e fluxo de água na madeira ocorre, principalmente, por causa da interação entre a estrutura anatômica heterogênea e os fenômenos físicos que controlam o movimento de água – fluxo de massa (capilaridade) e difusão, tendo em vista que esses dois fenômenos não ocorrem distintamente e vários fatores determinam qual deve ser o movimento dominante (MORESCHI, 2014).

3.3.1. Capilaridade

Em geral, a água livre presente na madeira migra para a superfície por meio das cavidades celulares (lumes e pontuações, fibras, traqueóides e outros elementos anatômicos) devido a diferenças de tensão no fluxo de capilaridade (KOLLMANN, 1968), as quais podem ser restringidas apenas pelas menores dimensões dos capilares (MORESCHI, 2014). Já abaixo do PSF o movimento dominante é o de difusão, que por sua vez é afetado, principalmente, pelo gradiente de umidade.

Em geral, as maiores taxas de secagem ocorrem nas primeiras semanas após o corte da árvore, porque está sendo removida a água livre, mantida por fracas ligações (ZANUNCIO *et al.*, 2013). O fluxo capilar é cerca de cinquenta vezes maior no sentido longitudinal do que nos demais sentidos (radial/tangencial) devido ao menor número de pontoações, e, portanto, menores possibilidades de obstrução ao fluxo, o que corrobora com as maiores taxas de secagem iniciais (MELLADO, 2007).

Ao passo que o teor de umidade se aproxima do ponto de saturação das fibras (PSF), em torno de 30% de umidade, a taxa de secagem decresce (BRAZ *et. al*, 2015; KLITZKE, 2003; SANTOS *et al.*, 2003), sendo que a velocidade de saída da água varia de acordo com as condições de temperatura, umidade relativa, circulação do ar e espessura das peças ou diâmetro das toras.

Oliveira (2015) comparou as diferentes taxas diárias de secagem, nas primeiras semanas após o corte e posteriormente, quando abaixo da umidade de saturação das fibras, encontrando valores de 2% e 0,4%, respectivamente.

3.3.2. Difusão

Difusão é um fenômeno no qual as moléculas tendem a se distribuir de maneira uniforme em um espaço disponível. É um fenômeno muito comum, em que um produto se move espontaneamente do meio mais concentrado para o menos concentrado até o equilíbrio (KOLLMANN e CÔTÈ, 1968; SIAU, 1971).

Na madeira, a difusão ocorre abaixo do ponto de saturação das fibras, uma vez que a água ainda presente está adsorvida na superfície e no interior da parede celular, ligada aos componentes básicos da madeira por ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals (OLIVEIRA, 1981). Nesse processo, a água é difundida em forma de vapor através dos espaços que antes estavam ocupados com água livre e que agora estão preenchidos com ar. A difusão, portanto, ocorre devido à existência do gradiente de tensão parcial de vapor entre as diferentes concentrações, e depende, principalmente, do gradiente de umidade entre as camadas exteriores e interiores e da temperatura ambiente (DE MUÑIZ, 1993).

O mesmo autor explica ainda que além da difusão de vapor, ocorre simultaneamente a difusão de água higroscópica, ou seja, no percurso para a superfície da madeira, a água no estado de vapor é reabsorvida pela parede de outra célula, para então ocorrer o mecanismo de difusão da água higroscópica. Esta combinação de mecanismos se repete até que a molécula de água atinja a superfície da madeira.

3.3.3. Fatores que afetam a secagem

A velocidade de secagem depende das condições do meio ambiente e das características da própria madeira. Por exemplo, a elevação da temperatura e da velocidade de circulação do ar resultam no aumento da taxa de transferência de calor para a madeira promovendo maiores taxas de secagem. Além disso, em temperaturas mais elevadas a viscosidade da água torna-se menor, o que provoca aumento na velocidade do fluxo de secagem (MELLADO, 2007).

Quanto maior a espessura das peças ou o diâmetro das toras, maiores serão as distâncias a serem percorridas pela água até a superfície e, portanto, mais lenta a secagem (KLITZKE, 2003). Os estudos de Oliveira (2015) e Pinheiro (2013) corroboram as afirmações anteriores, pois concluíram que a taxa de secagem é inversamente proporcional ao diâmetro de toras com/sem casca.

Segundo Oliveira (2015), em geral, em madeiras menos densas a velocidade de secagem é maior porque há mais espaços vazios dos lumes dos vasos e das fibras que, por sua vez, aumentam a permeabilidade, com conseqüente aumento da taxa de saída de água em comparação com madeiras mais densas. Corroborando com essa conclusão, Oliveira (2005) estudou a variação das densidades e os teores de umidade longitudinal e radialmente de sete espécies de eucalipto e concluiu que em madeiras mais densas, o teor de umidade é menor, logo após o corte.

Madeiras mais permeáveis secam com maior velocidade, e a permeabilidade varia de acordo com o tipo das pontoações e placas de perfurações (BARAÚNA, 2010), a distribuição, frequência e diâmetro de vasos, presença ou não de obstruções por tiloses ou gomas (OLIVEIRA, 2015).

Outro fator importante na velocidade de secagem é a relação cerne-alburno. Em geral, o cerne possui baixa permeabilidade (SIAU, 1971), e, portanto, menores relações cerne-alburno, sob as mesmas condições, propiciarão maiores taxas de secagem. Adicionalmente, a região do alburno, de modo geral, possui maiores diâmetros de vasos tendo relação direta com a permeabilidade.

O teor de umidade inicial da madeira é outro fator a ser considerado na secagem, pois quanto maior a umidade inicial da madeira, mais tempo será requerido para sua secagem (REZENDE, 2009).

O tempo de secagem também pode ser afetado pelo volume e frequência de chuvas, tendo em vista que a alta umidade relativa do ar durante a sua ocorrência diminui a taxa

de remoção de água da superfície da madeira, além de adicionar mais água à superfície (KLITZKE, 2003).

3.3.4. Secagem de toras ao ar livre

Em condições climáticas favoráveis, a forma mais simples e econômica de secagem de toras é a secagem natural, ao ar livre, no campo, logo após o corte. As toras são estocadas em pilhas em lugar próximo às estradas ou carregadores pelo tempo suficiente para atingir o teor de umidade requerido pelos diferentes processos produtivos (LEITE *et al.*, 2010; KLITZKE, 2003; VITAL *et al.*, 1985).

No entanto, quando o tempo de estocagem é longo, pode ocorrer deterioração da madeira nas pilhas devido à colonização por fungos manchadores e apodrecedores (NEGRÃO, 2011; TREVISAN *et al.*, 2008; MESQUITA, 2006).

Os custos de colheita e processamento embutidos no volume de madeira estocado nas pilhas, ao ar livre, durante meses, oneram o produto, dada a grande soma de capital financeiro empregado na composição do estoque de madeira. Dessa forma, é necessário reduzir o tempo de secagem de madeira em pilhas.

Muitos estudos buscaram acelerar a secagem no campo, removendo a casca das toras logo após a colheita, variando os comprimentos das toras, variando a altura de pilhas, diferenciando as pilhas de acordo com os diâmetros, dentre outros trabalhos semelhantes (ABRAHÃO *et al.*, 2016; TEIXEIRA, 2015; PINHEIRO, 2013).

Rezende (2009) estudou a secagem de toras ao ar livre de três espécies de eucalipto para a produção de carvão e concluiu que as maiores taxas de secagem de toras ocorrem nas três primeiras semanas após o corte. O mesmo autor observou tempos de secagem de até 200 dias até a umidade de 50% na cidade de Lavras, MG. Concluiu, também, que toras de maiores diâmetros e com casca demoram mais tempo para secar. Além disso, em seu estudo observou-se grande heterogeneidade no teor de umidade nos sentidos longitudinal e radial das toras.

Oliveira (2005) ao estudar a variação da umidade ao longo da altura da árvore verificou que os maiores teores de umidade ocorrem na base e no topo das árvores de eucalipto.

No setor de produção de carvão vegetal, por causa dos efeitos negativos da umidade no rendimento e na qualidade do carvão, bem como pelo custo e longo tempo de espera pela secagem natural, as empresas do setor têm investido valores significativos em pesquisas de formas alternativas para acelerar a secagem. Estas pesquisas têm como

base fundamental o aproveitamento da energia liberada pela combustão dos gases da carbonização em fornalhas, sendo essa direcionada para secadores artificiais ou a outros fornos como parte do processo (Figura 2) (OLIVEIRA, 2015).



Secador de madeira em toras



Secagem de toras no interior do forno

Figura 2. Secadores de madeira em toras para produção de carvão vegetal.

Fonte: Grupo Temático G6

3.4. Secagem do eucalipto

Na literatura é possível encontrar muitos estudos sobre secagem de madeira, tanto artificial quanto ao ar livre, principalmente para madeira serrada de eucalipto. Estes estudos objetivaram principalmente desenvolver programas que acelerassem a secagem e ao mesmo tempo evitassem os defeitos relacionados às tensões geradas durante a secagem (PONCE, 1995). Nesse sentido, encontra-se disponível na literatura, pesquisas tais como as de secagem inicial em temperaturas amenas ou com desumidificadores, uso de pré-secagem, combinação de secagem ao ar livre e convencional, diferentes modelos de desdobro, secagem à vácuo, vaporização preliminar, dentre outros (JANKOWSKY *et al.*, 2008; CALONEGO *et al.*, 2006; FERREIRA, 2004; SANTOS, 2002; TOMASELLI, 2002; MELLADO, 1993)

Na estrutura anatômica da madeira da maioria das espécies do gênero *Eucalyptus* há predomínio de tiloses conferindo-lhe baixa permeabilidade, o que dificulta a movimentação de água livre por capilaridade (JANKOWSKY *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2005; SANTOS, 2002; OLIVEIRA e CARVALHO, 2001; SEVERO, 2000). Além disso, sua anatomia tem como característica vasos dispersos, pouco numerosos, de pequenos a médios diâmetros, predominantemente solitários e porosidade difusa, que contribuem para uma secagem mais complexa e lenta (REZENDE, 2009).

3.5. O uso de herbicidas

A palavra “herbicida” é derivada das palavras em latim *herba* (planta) e *caedere* (matar) (RAO, 2000). Além de causar a morte, estes produtos químicos podem também inibir o desenvolvimento das plantas-alvo, de acordo com o nível de concentração do ingrediente ativo. No mesmo sentido, o termo “arboricida” é comumente usado para designar os produtos químicos utilizados em plantas lenhosas visando sua morte (NOBLE et al., 2001).

Os primeiros relatos do uso de substâncias químicas para o controle de plantas consideradas daninhas, sejam elas lenhosas ou não, datam do início do século XX, quando pesquisadores usaram sais de cobre e posteriormente ácido sulfúrico para o manejo de plantas daninhas (ZIMDHAL, 1993).

A aplicação em grande escala dos herbicidas começou logo após a II Guerra Mundial, sendo inicialmente usados na limpeza de faixas de transmissão de energia elétrica, em faixas de servidão das linhas de estradas de ferro e auto-estradas (ODUM, 1971).

Em 1941, surgiram os derivados dos ácidos fenoxiácéticos, os quais tinham efeito significativo sobre o desenvolvimento das plantas eudicotiledôneas, sendo o 2,4-D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético) o principal herbicida (RADOSEVICH et. al. 2007). O herbicida 2,4-D teve grande impacto na produção agrícola, pois se descobriu a vantagem deste de ser seletivo para culturas como o arroz, trigo e milho (GIANESSI e REIGNER, 2007). Nas décadas de 60 e 70, no Vietnã e Laos, foi utilizado pelos Estados Unidos para fins militares, o 2,4-D em associação ao 2,4,5-T na formulação de um herbicida com o objetivo de remover a cobertura florestal, destruir culturas agrícolas e limpar os perímetros das bases militares (FRUMKIN, 2003).

Nas décadas subsequentes outros herbicidas não derivados dos ácidos fenoxiacéticos foram desenvolvidos, inclusive os orgânico-sintéticos com efetividade seletiva em baixas doses no controle de plantas (OLIVEIRA JR., 2011).

Em todo o mundo, a utilização em grande escala dos herbicidas nas mais diversas culturas agrícolas foi movida, principalmente, pela busca da redução de custos de mão de obra que havia se tornado escassa e, conseqüentemente, muito cara nos anos posteriores à Segunda Guerra Mundial. Assim, o uso de herbicidas aliado à mecanização que se modernizava (ZIMDHAL, 1993) teve papel fundamental no aumento da produtividade agrícola (GIANESSI e REIGNER, 2007).

Embora o uso de herbicidas tenha se tornado o meio mais eficiente, rápido e econômico no controle de plantas daninhas faz-se necessário salientar que assim como todos os pesticidas, estes também possuem certo grau de toxicidade e, portanto, para serem aplicados demandam equipamentos de segurança e treinamento adequado aos operadores que os aplicam, que caso venham a negligenciar estes fatores, podem sofrer intoxicações ou provocar contaminação ambiental (OLIVEIRA JR, 2011).

3.5.1. Redução de defeitos de secagem

Com o objetivo de reduzir os defeitos decorrentes da secagem e das tensões de crescimento alguns estudos foram realizados utilizando técnicas de anelamento mecânico em árvores seis meses antes da colheita (PONCE, 1995; LATORRACA, 2015), bem como anelamento químico em árvores em pé (DA ROCHA e TRUGILHO, 2006; SOUZA *et. al.*, 2013). Estudos conduzidos por SILVA *et. al.* (2017) e DE CADEMARTORI *et al.* (2015) demonstraram que os tratamentos com aplicação de herbicidas em árvores foram eficientes na redução de rachaduras e arqueamento em tábuas, sinalizando que a aplicação desses produtos pode ter efeito positivo na secagem da madeira.

3.5.2. Controle de espécies infestantes

É prática também a utilização de herbicidas na contenção do avanço de espécies invasoras, sejam elas nativas ou exóticas, em áreas de preservação permanente e em áreas de restauração ecológica (RODRIGUES, 2009), visto que se não controladas podem levar à perda da biodiversidade, alteração dos ciclos e características dos ecossistemas atingidos e a alteração fisionômica da paisagem natural (ZILLER, 2007). A Lei 12.651/2012 no Artigo 22 prevê a necessidade de controle de infestantes quando dispõe o seguinte: “I - não descaracterizar a cobertura vegetal e *não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área*; e II - *assegurar a manutenção da diversidade das espécies*”. A Instrução Normativa Nº 7, de 2 de julho de 2012 apresenta inclusive a possibilidade de aplicação de herbicidas para uso emergencial no controle de espécies vegetais invasoras em áreas de unidades de conservação.

O controle com o uso de produtos químicos é realizado quando os métodos mecânicos não são suficientes, pois eles permitem a rebrota das plantas. Ainda, a

aplicação pontual dos herbicidas reduz o custo com mão de obra e potencializam a regeneração natural de ambientes degradados (DECHOUM e ZILLER, 2013).

3.5.3. Redução de área basal

A aplicação de herbicidas, também é usada como alternativa para redução da área basal em florestas tropicais para incentivar a regeneração natural de espécies mais valiosas em áreas sob manejo florestal, com menor impacto sobre a vegetação remanescente.

Os danos provocados pela extração de madeira depende, principalmente, do planejamento, da intensidade de exploração e do controle exercido durante a derrubada e extração das árvores (corte de cipós; mapeamento logístico das árvores a serem exploradas; abertura de pátios de estocagem e ramais de arraste; derrubada; traçamento e extração) e deve ser planejada de modo a reduzir os danos à floresta remanescente. (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A competição entre indivíduos de espécies de alto e baixo valor comercial na regeneração natural pós-exploração é um dos fatores de risco à sustentabilidade do manejo de florestas tropicais. Para complementar a regeneração natural de espécies madeireiras mais valiosas é necessário um trabalho eliminar indivíduos com defeitos e sem valor econômico.

Uma destas técnicas é o anelamento que leva à desvitalização lenta das árvores como forma de desbaste, reduzindo a competição por espaço, luz e nutrientes. No entanto essa técnica em alguns casos é ineficiente em algumas espécies devido a reentrâncias no fuste ou recicatrização dos tecidos.

Para acelerar a morte das árvores opta-se pela aplicação de herbicida diretamente no câmbio vascular na base da árvore. Essa técnica vem sendo aplicada desde 1930 (SIST, 1998). Um dos mais utilizados tem sido a mistura de dois herbicidas: Picloram + 2,4D. O anelamento com entalhes consiste na aplicação de golpes de machadinha e aplicação do herbicida na forma de *spray*, em torno do fuste das árvores sem a retirada da casca. Em inglês a técnica é conhecida como *hack-and-squirt* (FERREL *et al.*, 2006). Em geral, a aplicação é feita na altura do DAP (Diâmetro à Altura do Peito) (a 5% da mistura de Picloram 240 g/L e.a. + 2,4-D 64 g/L e.a., em óleo diesel) com pulverizador costal (OLIVEIRA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2002).

Veríssimo *et al.* (1996) em seu estudo na região de Tailândia (PA), concluíram que ao se derrubar as árvores pelo método convencional, ou seja, sem a utilização de

anelamento químico, foram destruídas 29 árvores com DAP > 10cm para cada árvore extraída. No entanto, com técnicas de planejamento de exploração, incluindo o uso da técnica de anelamento químico, apenas 4,5 árvores foram danificadas para cada árvore extraída.

3.5.4. Controle de rebrota

As árvores do gênero *Eucalyptus* possuem grande capacidade de rebrota, devido à presença de gemas adventícias ou lignotúberes situados na base do tronco entre a casca e o câmbio (PENFOLD e WILLIS, 1961). Essa característica é uma vantagem nos plantios comerciais, pois possibilita a exploração de novas rotações após o primeiro corte (LITTLE, 2003).

O controle da brotação é uma prática no setor florestal quando há a necessidade de substituição do material genético ou quando a área recém-cortada necessita ser reformada por não mais ser viável economicamente sua condução em virtude da baixa produtividade. Assim, a remoção da brotação é executada quando não há mais interesse nas brotações e ao mesmo tempo quando se deseja que estas não tenham vantagens competitivas sobre as mudas do novo plantio (FERREIRA *et al.*, 2010).

Em virtude dos custos envolvidos para o controle mecânico das brotações, repetidas vezes nas mesmas cepas, uma alternativa viável é o uso de herbicidas. A aplicação em geral é feita na área foliar das brotações com aproximadamente 50 cm de altura, visando maior absorção do herbicida pela planta. Também pode ser aplicado nos tocos de árvores recém-cortadas (FERREIRA *et al.*, 2010).

Dantas *et al.* (2001) avaliaram a utilização dos herbicidas Glyphosate e Imazapyr em troncos de árvores de eucalipto antes da colheita florestal, como forma de controle de brotações. Para o Glyphosate a eficiência de controle diminuiu com o tempo, sendo mais efetivo aos 30 dias após a aplicação. No caso do Imazapyr o efetivo controle se deu a partir de 40 dias, sendo os resultados após 120 dias de aplicação estatisticamente semelhantes aos com 40 dias.

Little (2003) ao avaliar diferentes métodos de aplicação de herbicidas no controle de brotações de eucalipto concluiu que a aplicação na base do tronco antes do corte da árvore foi o melhor método quando comparado com a aplicação foliar nas brotações ou diretamente no toco após o corte da árvore. O autor concluiu, também, que os herbicidas Triclopyr, Imazapyr, Metsulfuron e Triclopyr + Glyphosate, apresentaram resultados semelhantes.

Caldeira e Castro (2012) concluíram que os melhores resultados para controle de brotações em *Tectona grandis* (Teca) foram obtidos com aplicação combinada de Picloram+Triclopir nas concentrações de 0,48% + 0,96%, respectivamente.

3.5.5. Limitações ambientais do uso de herbicidas

Outro aspecto que limita o uso de herbicidas é a sua toxicidade e potencial de contaminação do solo. Caso a forma de aplicação não seja a adequada pode ocorrer deriva a áreas não desejadas, causando efeitos danosos. Ainda, alguns herbicidas têm efeito residual, permanecendo no solo por períodos prolongados, impedindo a germinação, crescimento ou causar injúrias em outras plantas, efeito esse conhecido como *carry over*. Podem também persistir em partes das plantas, tais como os frutos e outras partes, tornando-os impróprios para a alimentação humana e animal bem como a sua contaminação (OLIVEIRA JR, 2011) (RADOSEVICH *et. al.* 2007).

Por esses e outros motivos ao se escolher o controle químico como forma de manejo das plantas daninhas e/ou invasoras deve-se ponderar cuidadosamente as seguintes perguntas: Que herbicida usar? Quando e como aplicar? O que fazer com os resíduos? (ZIMDHAL, 1993) Como armazenar? Como transportar e manusear? (RADOSEVICH *et. al.* 2007).

Zimdhal (1993) salienta que boa parte dos herbicidas tem como destino o ar, a água e principalmente o solo e que quando o herbicida atinge o solo podem ocorrer processos físico-químicos tais como a retenção, lixiviação, escoamento superficial, volatilização, absorção pelas plantas, fotodegradação e decomposição química e microbiológica. É preponderante, portanto, ter conhecimento das interações do herbicida com os componentes do solo para que se consiga minimizar os eventuais efeitos no ambiente (SILVA, 2009).

3.5.6. Mecanismos de ação dos herbicidas

Mecanismo de ação, de acordo com Marchi *et al.* (2008) se refere à primeira ação bioquímica ou biofísica no interior celular a ser inibida pela molécula do herbicida, ou de acordo com Silva *et al.* (2009) significa a primeira lesão bioquímica que resulta na morte ou ação final do produto. Em resumo, os diferentes mecanismos de ação dos herbicidas inibem enzimas ou proteínas desencadeando uma série de eventos que levam à morte das plantas ou inibição do seu desenvolvimento.

Os herbicidas e seus mecanismos de ação, segundo a HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*) são organizados de acordo com seus sítios de atuação e classes químicas (OLIVEIRA JR. 2011).

Há cerca de 20 tipos de mecanismos de ação descobertos. Dentre esses os principais são os mimetizadores de auxina, inibidores da fotossíntese (FS I e FS II), inibidores da protoporfirinogênio oxidase (Protox), inibidores da formação de microtúbulos, inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeias longas (VLCFA), inibidores da acetolactase sintase (ALS), inibidores da enol-piruvil-shiquimato-fosfato-sintase (ESPS), inibidores da glutamina sintetase, inibidores da acetil CoA carboxilase (ACCase), inibidores da síntese de lipídeos e inibidores da síntese de carotenóides (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2018).

3.5.6.1. Inibidores da ALS

As características principais dos inibidores da acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxi sintase (AHAS) são a sua eficiência em doses muito pequenas (<150 g/ha), baixa toxicidade para mamíferos (enzima inibida presente apenas nas plantas), boa seletividade para grandes culturas e boa atividade tanto em aplicações foliares quanto no solo, por esses motivos essa classe de herbicidas é uma das mais comercializadas (OLIVEIRA JR, 2011; SILVA *et al.*, 2009; MONQUEIRO *et al.*, 2000).

Os inibidores da ALS e AHAS são assim chamados, pois inibem a síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina) por meio da inibição da enzima ALS ou AHAS. A inibição interrompe a síntese de proteínas, interferindo na síntese de DNA e na produção e crescimento das células. As plantas-alvo ficam cloróticas, com amarelecimento dos meristemas, entram em senescência e morrem geralmente de 7 a 14 dias após a aplicação (SILVA *et al.*, 2009; RIZZARDI *et al.*, 2004). São facilmente absorvidos pelas folhas e raízes e por serem sistêmicos são translocados pelo xilema e floema até os sítios de ação (GUNSOLUS e CURRAN, 2007).

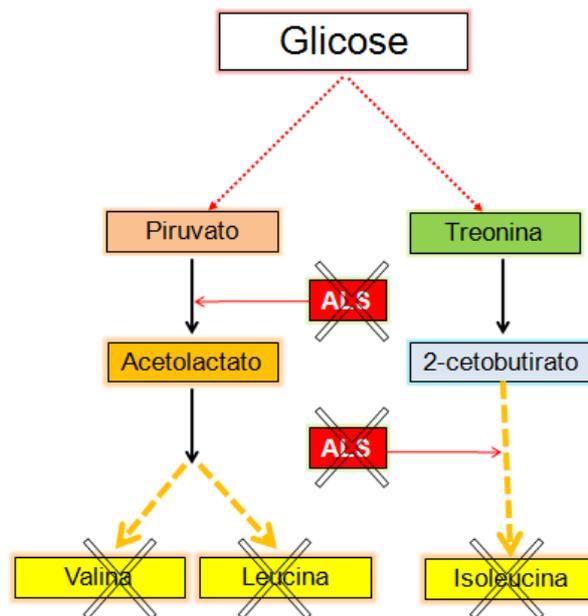


Figura 3. Representação da atuação dos herbicidas inibidores da enzima ALS.
Fonte: Adaptado de Christoffoleti (2003)

Os herbicidas inibidores da ALS pertencem aos grupos químicos das sulfoniluréias, imidazolinonas, triazolopirimidinas e pirimidiniloxibenzóico (GUNSOLUS e CURRAN, 2007).

As imidazolinonas têm níveis variados de persistência no solo, alguns herbicidas deste grupo apresentam degradação muito rápida e outros persistem por longo tempo (RAMEZANI, 2008), aumentando com a elevação dos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio e diminuindo com as elevações da umidade do solo e do pH (SILVA *et al.*, 2009). A mobilidade é maior em solos com pH altos. Suas principais vias de degradação são a microbiana e fotolítica (OLIVEIRA JR, 2011).

No grupo químico das imidazolinonas, um dos herbicidas mais utilizados no controle de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas, anuais e perenes bem como plantas lenhosas é o Imazapyr (sal de amônio de 2-(4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl) nicotinic acid) (ULBRICH *et al.*, 2005). De acordo com índices técnicos como o GUS, o Imazapyr é potencialmente lixiviável. Estudos laboratoriais indicaram que sua mobilidade pode ser alta em solos na seguinte ordem: solo areia-franca > franco-argilo-arenoso > muito argiloso.

Em solos que apresentam baixa sorção do Imazapyr os riscos com a lixiviação são maiores, a qual pode ser ascendente acompanhando o movimento da água no perfil do solo (FIRMINO, 2008). Pode ser exsudado pelas raízes do eucalipto e afetar as mudas subsequentes na mesma área, fenômeno conhecido como “*flashback*” (SOUZA, *et al.*,

2006; SILVA, *et al.*, 2004). Tem persistência longa no solo, de 3 a 7 meses em solos tropicais e de 6 meses a 2 anos em solos de clima temperado (SILVA *et al.*, 2009).

O Imazapyr, utilizado em florestas de eucalipto e pinus, conhecido comercialmente como Chopper Florestal[®] 250 g/L (BASF, 2018) é um dos principais herbicidas utilizados no controle de brotações quando aplicado no fuste, na fase pré-corte, e no toco após o corte da árvore (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011; DANTAS *et al.*, 2001; RESPONDOVESK, 1999; CHRISTOFFOLETI, 1997).

3.5.6.2. Inibidores da EPSP sintase

O mecanismo de ação dos herbicidas desse grupo químico se caracteriza pela inibição da enzima 5-enol-piruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSP). Esta enzima faz parte da síntese de aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptofano e tirosina. A inibição da EPSP promove o acúmulo de chiquimato nos vacúolos, diminuição da eficiência fotossintética com consequente bloqueio da produção dos três aminoácidos aromáticos necessários na produção de proteínas, hormônios e flavonóides (OLIVEIRA JR, 2011; MARCHI *et al.*, 2008).

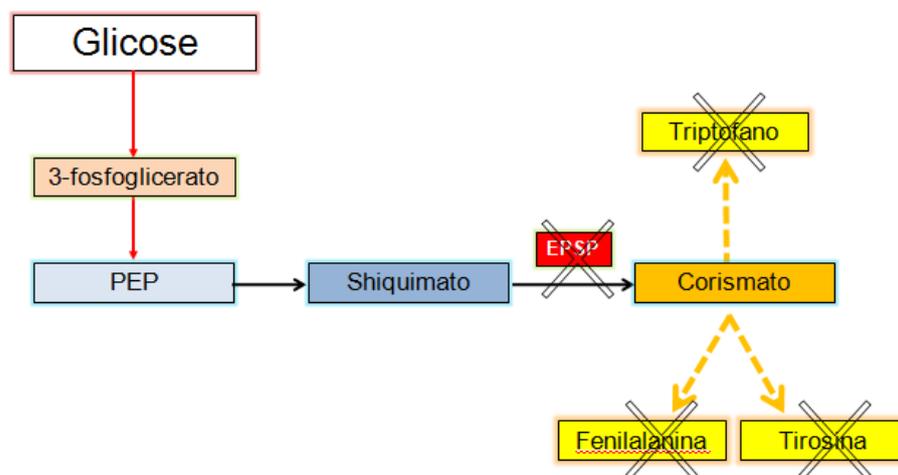


Figura 4. Representação da atuação dos herbicidas inibidores da enzima EPSP.

Fonte: Adaptado de Vargas *et al.*, (1999)

O Glyphosate é o princípio ativo mais estudado e utilizado no mundo (HEAP e DUKE, 2018; DUKE e POWLES, 2008), inclusive o mais utilizado na cultura do eucalipto para controle de daninhas e brotações, em diferentes formulações (OLIVEIRA JR., 2011; TUFFI SANTOS *et al.*, 2010). Destaca-se pela sua baixa toxicidade a mamíferos, inclusive para os do meio aquático (SILVA *et al.*, 2007), é degradado pelas

vias microbiana e fotolítica. É rapidamente adsorvido e inativado pelos colóides do solo, por isso é usado apenas em pós-emergência (ZIMDHAL, 1994). Tem baixa persistência no solo (CERDEIRA e DUKE, 2006), é sistêmico e não-seletivo, embora algumas espécies possuam alto grau de tolerância (OLIVEIRA JR, 2011). Possui baixa volatilidade e pode ser exsudado pelas raízes de plantas daninhas e de culturas agrícolas principalmente em solos arenosos (TUFFI SANTOS *et al.*, 2010). São absorvidos principalmente pelas folhas e por possuir K_{ow} muito baixo necessita de no mínimo 6 horas para ser absorvido totalmente, a depender da formulação, (KRUSE, *et al.*, 2000), embora também possa ser aplicado no toco logo após o corte ou no tronco (WEBSTER *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2001).

Os sintomas decorrentes da aplicação de Glyphosate podem surgir a partir de 3 dias após a aplicação, se apresentando por meio de clorose dos tecidos meristemáticos, amarelecimento da folhagem e posteriormente necrose dos tecidos devido à falta de proteínas (MARCHI *et al.*, 2008).

3.5.6.3. Herbicidas auxínicos

A palavra auxina é originária do grego (*auxein*) e significa crescer, aumentar (STERLING e HAL, 1997). Os herbicidas desse grupo são assim chamados devido à sua similaridade (mimetismo) com as auxinas naturais das plantas, às quais em baixíssimas doses possuem propriedades hormonais e são responsáveis pelo crescimento, divisão e diferenciação celular. Doses elevadas desses hormônios, na forma natural ou sintética, atuam como herbicidas, pois induzem mudanças no metabolismo das plantas, induzindo a multiplicação celular em tecidos, causando danos como a interrupção do floema, epinastia das folhas, engrossamento e atrofiamento das raízes, levando à morte em poucas semanas (OLIVEIRA JR, 2011; MARCHI *et al.*, 2008; STERLING e HAL, 1997).

Segundo Chen *et al.* (1972) o mecanismo de ação característico dos herbicidas auxínicos se baseia na interferência do funcionamento normal da enzima RNA-polimerase, estimulando a produção exagerada de DNA e RNA, bem como de proteínas. Silva *et al.* (2007) acrescentam que devido ao acúmulo de proteínas ocorre a diminuição do potencial osmótico nas células bem como à perda da rigidez das paredes celulares.

Os herbicidas auxínicos são sistêmicos, ou seja, translocam-se com eficiência via floema e xilema e se acumulam nos meristemas, são absorvidos pelas folhas, ramos e

raízes, inclusive podem ser aplicados em espécies lenhosas. Em geral, tem persistência curta no solo (com exceção do Picloram) e apresentam baixa toxicidade para mamíferos (OLIVEIRA JR., 2011). O potencial de lixiviação é variável de acordo com as diferentes propriedades dos herbicidas desse grupo químico (INOUE *et al.*, 2003). A adsorção é maior em solos com alto teor de matéria orgânica e o tipo de degradação predominante é a microbiana. Algumas espécies apresentam exsudação radicular em resposta à intoxicação por herbicidas desse grupo químico (SILVA *et al.*, 2007).

O 2,4-D (2,4 diclorofenoxiacético) tem grande importância histórica, pois foi o primeiro de caráter seletivo descoberto e o primeiro herbicida registrado no Brasil (SILVA *et al.*, 2007).

Em geral, a persistência nos solos varia de curta a média duração, dependendo das características edafoclimáticas. É muito utilizado em mistura com o herbicida Picloram, dando origem ao produto comercial conhecido como Tordon, utilizado em aplicação nas cepas ou no tronco para controle de espécies arbóreas (FRANCESCHI, 2017; SCHALAU, 2011).

O Picloram (ácido 4-amino 3,5,6 tricloro-2-piridinacarboxílico) associado ao 2,4-D, além do controle de árvores, é muito utilizado para controle de plantas daninhas em área total no manejo de pastagens. Tem baixa adsorção à matéria orgânica ou à argila, por isso é de fácil mobilidade no solo (FRANCESCHI, 2017), por isso não é recomendado para uso em solos arenosos devido ao elevado potencial de lixiviação (MARCHI *et al.*, 2008) e apresenta persistência longa no solo (2 a 3 anos) (SILVA *et al.*, 2007).

O Triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridinil oxi acético), foi registrado em 1979 para uso em florestas e está atualmente disponível em 4 formulações: sal de trietilamina, éster butoxietílico, ácido piridiniloxiacético, ou sal de colina (DIAS, 2017) e assim como o Picloram, é um herbicida sistêmico, se acumula nas regiões meristemáticas, é usado em pós-emergência, muito utilizado para o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas, no controle de espécies arbustivas e arbóreas invasoras em pastagens, ao longo de rodovias e em áreas de vegetação nativa. É absorvido pelas folhas e raízes. No caso de espécies lenhosas pode ser aplicado na forma de *spray* ou pincelamento no toco recém-cortado, na base do tronco sobre a casca, ou em entalhes à altura do DAP (LORENTZ, 2015).

Uma das vantagens desse herbicida é a prevenção à rebrota (DOUGLASS, 2016; ENLOE, 2016; SILVA *et al.*, 2007). Tem meia-vida curta (10-46 dias) com rápida degradação no solo (SENSEMAN, 2007) e apresenta potencial de lixiviação em solos arenosos (SILVA *et al.*, 2007). Santos Júnior (2017) detectou ação residual em solo

argiloso somente em altas doses (1.920 g/ha). Tuffi Santos *et al.* (2006), por meio da técnica de bioensaio, não encontraram ação residual de Triclopyr na dose de 960 g/ha, 40 dias após a aplicação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

As árvores de *Eucalyptus urophylla* (Clone 3335), utilizadas no experimento procederam de uma área de aproximadamente 0,65 ha, pertencente a uma empresa produtora de carvão vegetal, localizada no município de Divinésia, MG, sob as coordenadas 20°59'42.06"S / 43° 5'27.55"W, numa altitude de 705 m. Nesta região, de acordo com a classificação de Köppen, predomina o clima Cwa, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos (ALVARES *et al.*, 2013), com temperaturas médias em torno de 20,5 °C e precipitação pluviométrica média anual em torno de 1250 mm. A região se caracteriza por altitudes entre 670 e 730 m e relevo acidentado, variando de fortemente ondulado a montanhoso.

O DAP (Diâmetro à Altura do Peito) de todas as árvores foi medido por meio de suta. A localização de cada árvore foi indicada em croqui para facilitar seu rastreamento posterior. Em seguida foram determinadas as classes de distribuição de frequência dos DAP's visando facilitar a distribuição homogênea dos tratamentos quanto ao diâmetro. Na escolha das árvores foram excluídas as árvores de borda, pois essas possuem mais vantagens competitivas (LIMA, 2017).

As árvores estavam distribuídas no espaçamento 3,00 x 3,00 m, com idade aproximada de 8 anos.

4.2. Delineamento experimental

O experimento, conforme apresentado no Quadro 1 e Figura 5, foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial com um tratamento adicional (4 x 3 + 1). Foram aplicados 4 herbicidas, tendo como princípio ativo Picloram+2,4-D, Triclopyr, Glyphosate e Imazapyr. Os herbicidas foram aplicados nas árvores em três doses para cada herbicida, sem diluição, em 4 repetições.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Herbicidas	Dose
1	Picloram+2,4-D	1
2	Picloram+2,4-D	2
3	Picloram+2,4-D	3
4	Triclopyr	1
5	Triclopyr	2
6	Triclopyr	3
7	Glyphosate	1
8	Glyphosate	2
9	Glyphosate	3
10	Imazapyr	1
11	Imazapyr	2
12	Imazapyr	3
Testemunha	Secagem em pilha	0

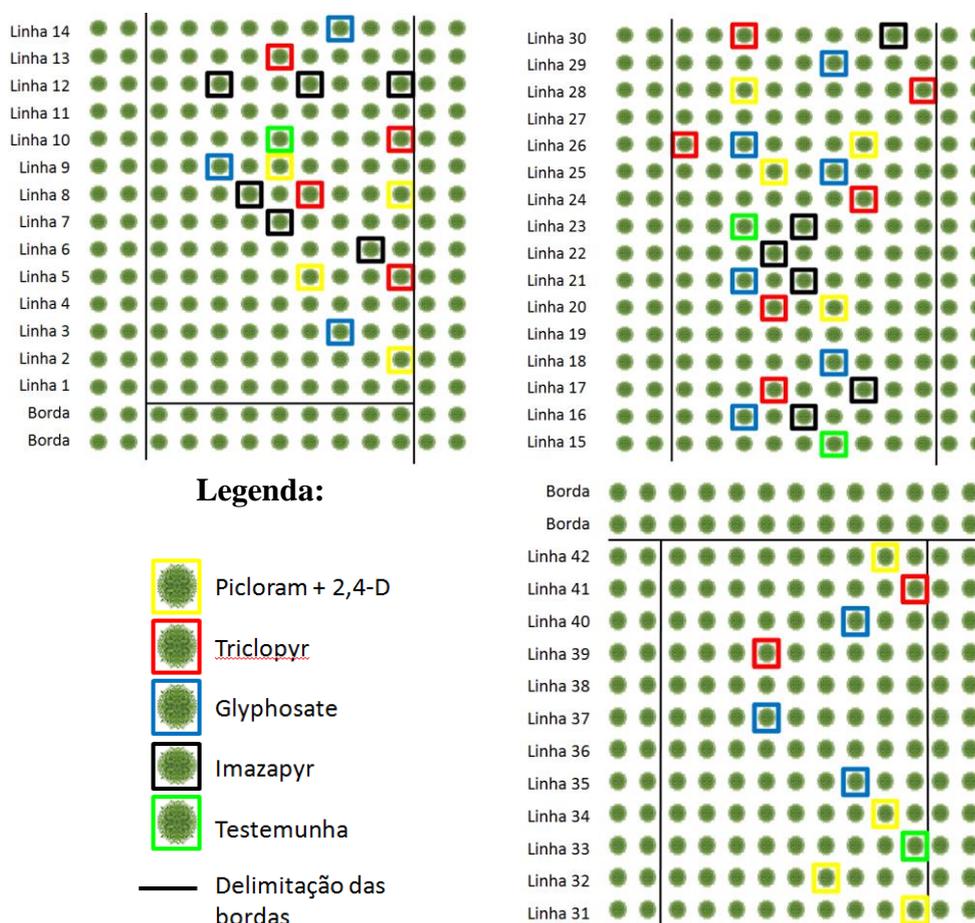


Figura 5. Croqui de instalação do experimento

Quatro árvores foram selecionadas como testemunhas, as quais foram colhidas no dia da aplicação dos herbicidas e depois seccionadas em toras, de comprimento aproximado de 3,5 m, e empilhadas ao ar livre, próximo da área de estudo, simulando as condições usuais aplicadas à madeira colhida e baldeada por empresas do setor florestal

(Figura 6). Além disso, 4 árvores foram mantidas em pé, sem aplicação de herbicida, com o objetivo de avaliar os efeitos do local sobre as árvores. No experimento foram utilizadas 56 árvores.

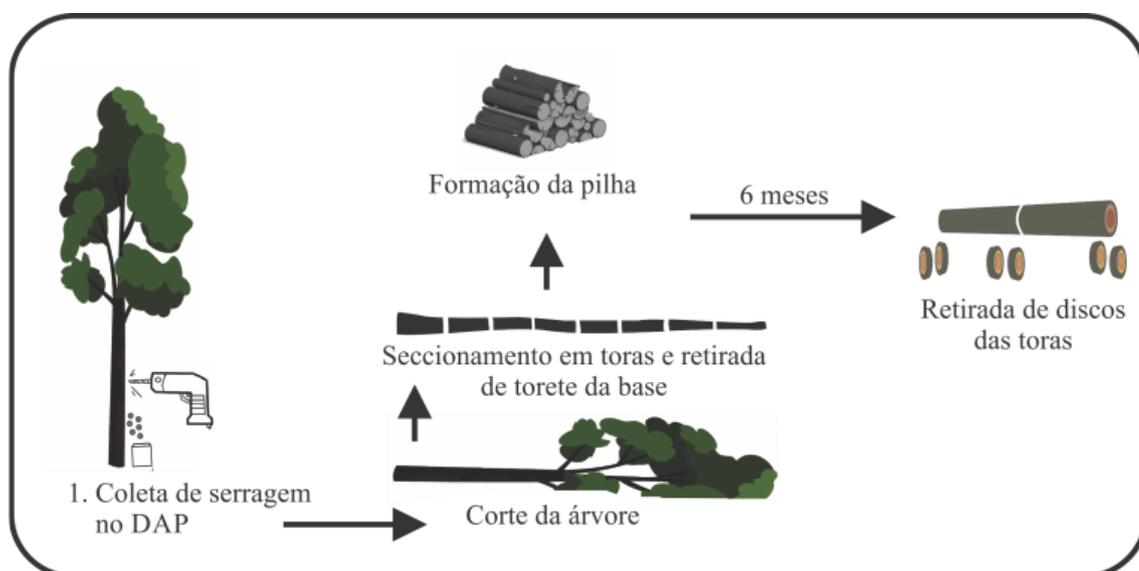


Figura 6. Esquema sequencial do procedimento adotado para as árvores testemunhas.

As árvores foram escolhidas de forma aleatória, conforme croqui apresentado na Figura 6. Em seguida foram marcadas com tinta *spray* em diferentes cores de acordo com cada tratamento e identificadas com placa de metal numeradas.

4.3. Aplicação dos herbicidas

Para facilitar a penetração dos herbicidas utilizou-se uma machadinha para abertura de cortes em ângulo de 45° ao redor do tronco, na altura do DAP, em profundidade suficiente para atingir o tecido vascular (Figura 7), conforme recomendado por National (1969). Após a abertura do corte, os herbicidas foram aplicados por meio de seringas graduadas de 5 a 15 ml, dotada de agulha, para facilitar a correta distribuição dos produtos nos cortes. As dosagens mínimas e máximas (Quadro 2) foram calculadas a partir da literatura nacional e internacional sobre o assunto e com base nas recomendações das bulas dos produtos.



Figura 7. Procedimento para aplicação dos herbicidas.

Quadro 2. Descrição dos produtos e as respectivas doses aplicadas

Herbicidas	Produto comercial (p.c.)	Formulação	Composição	Dose 1	Dose 2	Dose 3
Picloram + 2,4-D	Palace	Sal triisopropanolamina	240 g L ⁻¹ e.a. 64 g L ⁻¹ e.a.	1 ml	5 ml	15 ml
Triclopyr	Triclon	Éster butoxietílico	480 g L ⁻¹ e.a.	1 ml	2 ml	5 ml
Glyphosate	Roundup Original	Sal de isopropilamina	360 g L ⁻¹ e.a.	1 ml	5 ml	10 ml
Imazapyr	Chopper Florestal	Sal de amônio	250 g L ⁻¹ e.a.	1 ml	3 ml	6 ml

e.a.: equivalente ácido.

p.c.: produto comercial.

Estabeleceu-se o número de cortes, no entorno do DAP, dividindo-se o diâmetro (centímetros) por 4, uma adaptação à praticada por Miller *et al.* (2013). Os cortes foram descontraídos e distribuídos ao longo da circunferência. A avaliação da secagem 180 dias após a aplicação dos herbicidas foi definida com base na média utilizada para secagem ao ar livre de toras empilhadas.

4.4. Preparo das amostras

Todas as árvores submetidas à aplicação dos herbicidas (Figura 8) foram monitoradas mensalmente, a contar da data de aplicação. O monitoramento consistiu na coleta de serragem no DAP para determinação do teor de umidade, na verificação visual da perda de folhas, surgimento ou não de brotações ou rachaduras na seção longitudinal. Além disso, foram analisados os possíveis efeitos sobre as outras árvores nas proximidades das que foram tratadas, bem como outras anomalias visíveis.

Após os 6 meses de monitoramento, as árvores foram colhidas e suas alturas e diâmetros medidos. Dois discos com 5 cm de espessura foram retirados a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Os discos foram acondicionados em sacos plásticos individuais, devidamente identificados. Em seguida todos os sacos plásticos contendo cada disco, foram reunidos num saco plástico maior com a identificação da respectiva árvore.

De uma árvore de cada tratamento foram retirados, também, toretes de aproximadamente 30 cm de altura, a partir da base para a confecção de corpos-de-prova para determinação da permeabilidade da madeira e características anatômicas.

Os discos foram divididos em 4 cunhas para a determinação da densidade básica e teor de umidade da madeira, sendo 2 cunhas opostas para cada análise. O segundo disco retirado em cada uma das alturas foi utilizado para determinação da relação cerne/alburno.

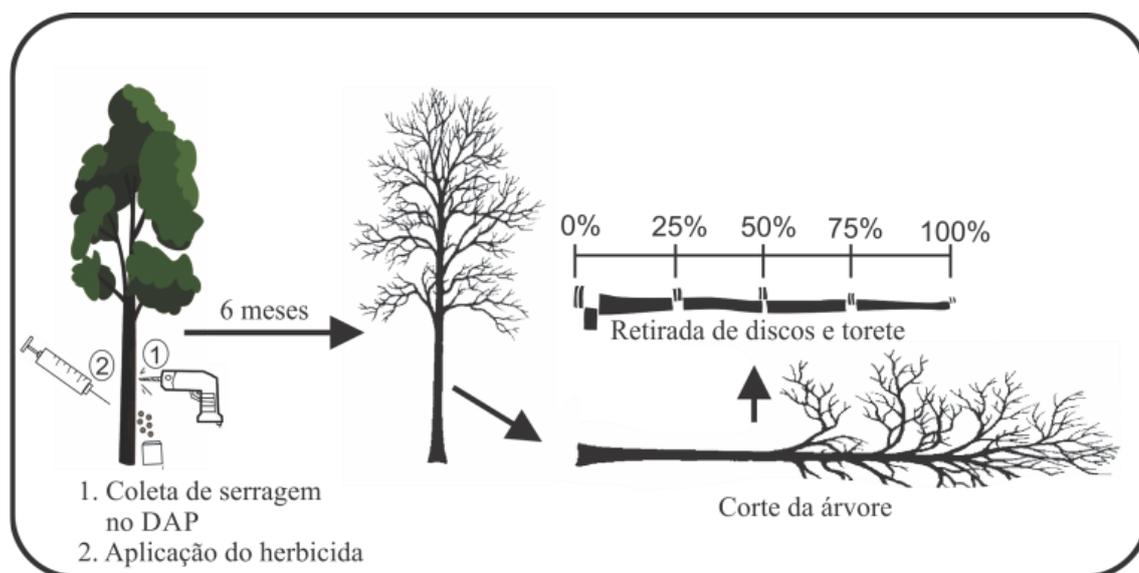


Figura 8. Procedimento sequencial adotado para as árvores tratadas com herbicidas.

Para se obter as médias de densidade básica, teor de umidade, relação cerne-alburno e permeabilidade por árvore, realizou-se a ponderação pelo volume, empregando-se a fórmula de Smalian (CAMPOS e LEITE, 2013) como fator de ponderamento.

Os cálculos para teor de umidade, densidade básica e relação C/A dos tratamentos foram feitos e apresentados tanto ponderados para a árvore inteira e também de acordo com as seções longitudinais 0-25% (base da árvore); 26-50%; 51-75% e 76-100% (topo da árvore), visando avaliar o efeito dos diâmetros nas relações das propriedades e secagem da madeira.

4.4.1. Teor de Umidade

O teor de umidade base seca foi determinado seguindo o procedimento descrito na norma ABNT-NBR 14929 (ABNT, 1997).

4.4.2. Densidade básica

A densidade básica foi determinada seguindo o procedimento descrito na norma ABNT-NBR 11941/03 (ABNT, 2003).

4.4.3. Relação cerne/alburno

Para a determinação da relação cerne/alburno (C/A) empregou-se a metodologia descrita por Evangelista (2007). Esta metodologia sofreu modificações apenas quando havia limitações visuais para diferenciação das regiões limítrofes do cerne/alburno, conforme descrito abaixo.

Após a secagem natural, os discos foram lixados a fim de tornar a superfície mais uniforme e facilitar a visualização do contraste promovido pela solução de *dimethyl yellow* (0,2% em etanol), aplicado sobre uma das faces de cada disco. Este produto é um indicador de pH e auxilia na delimitação das regiões do cerne e alburno pela diferenciação de cor, uma vez que reage com as diferentes substâncias presentes no lenho, predominando tons amarelados para o alburno e tons róseo-avermelhadas para o cerne (CASTRO, 2014). Após a secagem do indicador, duas linhas (a e b) perpendiculares entre si, foram traçadas cortando todo o disco e cruzando-se na medula. A partir destas retas fez-se uma marcação da região limítrofe do cerne e alburno dentro de cada linha. Assim, foram medidos o diâmetro total e o diâmetro do cerne com uma régua de 0,1 cm de precisão. A relação cerne/alburno (C/A) foi calculada pela fórmula:

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2}$$

Sendo,

Dc: Diâmetro do cerne, (cm); e,

D: Diâmetro do disco sem casca (cm).

4.4.4. Diâmetro e frequência de poros

Para o preparo das amostras retirou-se de cada torete um disco com 5 cm de espessura a partir dos quais foram obtidas amostras das regiões do cerne e albarno. Estas amostras foram colocadas em água a 80 °C por aproximadamente 48 horas para facilitar a retirada das lâminas pelo micrótomo. Os cortes anatômicos foram feitos com espessura média de 16 µm, utilizando um micrótomo de deslize horizontal. As amostras foram coloridas com safranina para melhor observação dos componentes anatômicos.

De cada uma das lâminas, foram obtidas micrografias com a utilização de um microscópio com lente objetiva de 10X (Figura 9). Com o auxílio do software Axio-Vision 4.3 foram realizadas as medições dos diâmetros de 30 vasos para cada região (cerne e albarno) e a frequência mensurada em 5 micrografias por região, escolhidas ao acaso em cada uma das lâminas (IAWA, 1989).

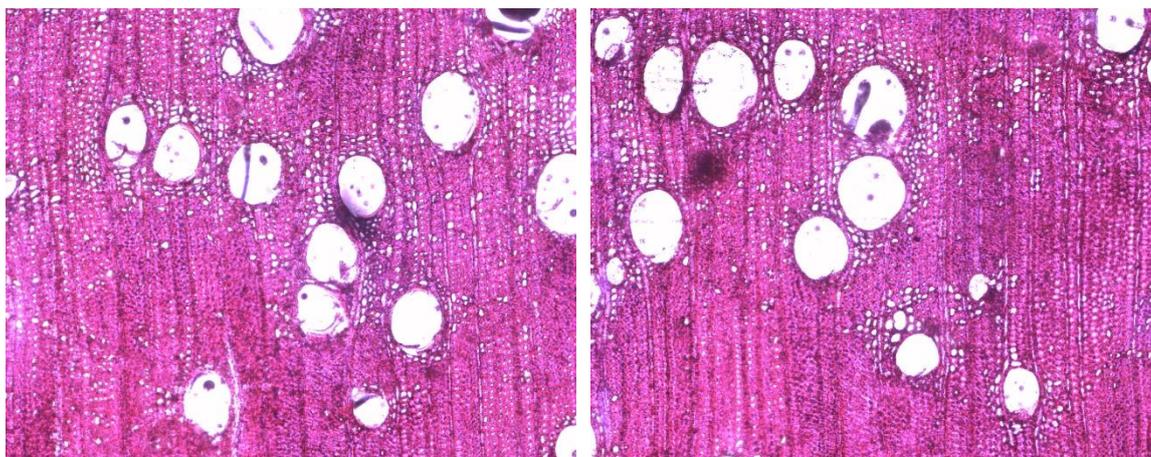


Figura 9. Corte transversal evidenciando os vasos da madeira. Aumento de 10X.

4.4.5. Permeabilidade

De cada disco foram retiradas 4 amostras do cerne e 4 amostras do albarno. Para tanto, empregou-se uma serra-copo com 17,5 mm de diâmetro interno. Todos os corpos-de-prova foram colocados em câmara climática a 65% de umidade e 25°C até a umidade de equilíbrio. As laterais das amostras foram impermeabilizadas com selador e parafina para evitar a passagem de ar transversalmente.

Adotou-se a metodologia descrita por Baraúna (2010) e Oliveira (2015) para se determinar a permeabilidade. O equipamento utilizado é dotado de quatro rotômetros conectados em série nas seguintes escalas e sequência: 0,04 a 0,5 LPM (Litros Por Minuto); 0,2 a 2,5 LPM; 0,4 a 5,0 LPM e 2,0 a 25,0 LPM, que por sua vez são ligados por uma mangueira a uma bomba de vácuo em uma das extremidades. Na outra extremidade fixou-se a amostra. O vácuo foi de 0,1316 atm. Para cada corpo-de-prova, foram coletados valores de vazão de ar quando o fluxo se tornou constante.

A determinação do coeficiente de permeabilidade gasosa foi realizada empregando-se a lei de Darcy (DARCY, 1856), por meio da equação descrita a seguir:

$$Kg = \frac{QLPi}{L\Delta P.Pm}$$

Sendo:

Kg: Coeficiente de permeabilidade ao gás (cm³/cm.atm.s);

Q: Volume do fluxo de gás que percorre o corpo-de-prova (cm³/s);

L: Comprimento da amostra (cm);

Pi: Pressão de entrada, a do ambiente (atm);

A: Área da seção transversal (cm²);

ΔP: Diferença de pressão (atm);

Pm: Média da pressão no corpo-de-prova (atm).

4.5. Amostras para determinação do teor de umidade por meio de serragem

Com o objetivo de monitorar a perda gradual de umidade das árvores, foram coletadas amostras de serragem antes e a cada 30 dias após a aplicação dos herbicidas. As amostras foram coletadas na altura próxima à do DAP, de cada uma das árvores, por meio de uma perfuração até a medula com a utilização de furadeira portátil empregando-se uma broca de 8 mm de diâmetro (Figura 10).



Figura 10. Coleta de serragem para determinação do teor de umidade.

Todas as serragens coletadas, cerca de 3 a 4 g por amostra, foram imediatamente transferidas para potes com tampa com vedação suficiente para impedir a perda ou ganho de umidade. Em seguida os potes foram acondicionados em bolsa térmica e transportados até o laboratório. Posteriormente, elas foram colocadas em placa de *petri*, pesadas em balança de precisão e secas em estufa a 102 ± 3 °C, até massa constante. Em seguida determinou-se o teor de umidade conforme procedimento adotado por DONATO *et al.* (2014) e ABRAHÃO *et al.*, (2016).

Das árvores testemunhas, escolhidas para serem cortadas e empilhadas, também foram coletadas amostras de serragem no DAP. As árvores foram traçadas em toras com comprimento variando de 3 a 3,5 metros de comprimento a partir da base até o diâmetro de 5 cm, no topo da árvore. A cada traçamento foram retirados 2 discos de 5 cm de espessura ao longo de toda a árvore para determinação da densidade básica e teor de umidade inicial.

As toras das árvores testemunhas foram transportadas para uma área limpa a céu aberto a cerca de 100 m do talhão do experimento e em seguida pesadas e empilhadas. As pesagens e coletas de serragem foram feitas no momento do empilhamento e ao longo dos 6 meses seguintes, em 3 pontos de coleta de serragem com furadeira, sendo uma no meio da tora e mais 2 outros a cerca de 1/3 do comprimento, em cada uma das extremidades para o acompanhamento da secagem ao longo do tempo.

4.6. Análise estatística

As análises estatísticas dos dados de densidade básica, relação C/A, diâmetro e frequência de vasos, permeabilidade e o efeito dos herbicidas no teor de umidade das árvores foram realizadas considerando-se um esquema fatorial. Foram empregados os softwares Statistica 7, R versão 3.5.1 e Minitab 18. Inicialmente, determinou-se a homocedasticidade e normalidade de todas as variáveis mensuradas, respectivamente por meio dos testes de Bartlett ou Levene e Kolmogorov-Smirnov a 95% de probabilidade.

Após a confirmação das pressuposições, os efeitos foram determinados empregando-se análises de variância (ANOVA) e para comparação entre médias foram utilizados os testes de Tukey e para comparação com a testemunha, e o de Dunnett, ambos a 95% de probabilidade. Os dados que não atenderam às pressuposições de normalidade e homocedasticidade foram analisados com auxílio dos testes de Kruskal-Wallis (KW) com posteriores testes não-paramétricos de comparações múltiplas a partir do pacote de programação estatística “*agricolae*” do Software R.

O teor de umidade foi analisado inicialmente considerando todas as árvores de cada tratamento, inclusive as que permaneceram vivas. Posteriormente, compararam-se apenas os tratamentos em que houve 100% de mortalidade das árvores.

Também, no intuito de comparar a variação do teor de umidade com a elevação da altura das árvores, os dados foram apresentados de acordo com as seções de 0-25, 26-50, 51-75 e 76 a 100% da altura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Mortalidade da parte aérea e rebrota

No Quadro 3 abaixo são apresentados os índices médios de mortalidade da parte aérea após a aplicação dos herbicidas.

Quadro 3. Percentual médio de mortalidade da parte aérea (%) das árvores tratadas com herbicidas 180 dias após a aplicação

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	0	100	100	67
Triclopyr	0	25	100	42
Glyphosate	0	100	100	67
Imazapyr	0	50	100	50
Médias	0	69	100	57

Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Observa-se que houve mortalidade da parte aérea de todas as árvores que receberam as doses mais elevadas, bem como a dose média dos herbicidas Picloram+2,4-D e Glyphosate. A efetividade da dose média desses herbicidas é vantajosa, tendo em vista o menor gasto dos produtos bem como o menor potencial de contaminação do solo. Além disso, pode-se dizer que a dose ideal para se obter a mortalidade da parte aérea para estes herbicidas se situa entre a dose baixa e a dose média.

As árvores que receberam a menor dose não morreram, e as árvores que receberam a dose média dos herbicidas Triclopyr e Imazapyr tiveram somente 25 e 50% de mortalidade da parte aérea, respectivamente.

Nas menores doses foram utilizadas apenas 1 ml de cada herbicida e este volume, portanto, não foi suficiente para promover a morte da parte aérea da planta.

Ainda, outra possibilidade é a diferença nos mecanismos de tolerância de plantas relatados na literatura, tais como a absorção e translocação diferencial, compartimentalização, metabolismo, desintoxicação ou exsudação radicular, sendo este último mais comum no gênero *Eucalyptus* (Borgato e Netto, 2016; Machado, 2009; Souza et al, 2006; Silva, 2005; Fites *et al.*, 1964).

A efetividade do Triclopyr na dose média foi de apenas 25%. Tuffi Santos (2006) ao comparar o nível de intoxicação de mudas de eucalipto tratadas com 3 diferentes

herbicidas concluiu que este herbicida foi o único que não diferiu significativamente em relação à testemunha quanto à massa seca, diâmetro e altura das mudas. Nas maiores doses foi o de menor intoxicação em comparação ao Glyphosate e Carfentrazone-ethyl. Enloe (2016) ao testar 4 concentrações de Triclopyr no controle da espécie invasora *Ligustrum sinense* concluiu que somente as concentrações iguais ou superiores a 96 gL⁻¹ foram suficientes para índices de mortalidade de 90%.

O Triclopyr tem sido usado como alternativa ao Imazapyr e ao Picloram, porque estes têm longa persistência no solo e podem ser exsudados pelas raízes do eucalipto com potencial de danos às culturas subsequentes (Souza, 2006).

No Quadro 4 são apresentados os percentuais médios de brotação das árvores, 30 dias após o corte das árvores que receberam a aplicação dos herbicidas.

Quadro 4. Percentual médio (%) de rebrota das árvores tratadas com herbicidas

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	66	0	0	22
Triclopyr	75	75	0	50
Glyphosate	100	50	50	67
Imazapyr	25	25	0	17
Médias	67	38	13	39
Testemunha				100

Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Com relação ao índice de rebrota, verificou-se que houve controle total das brotações somente nas doses mais elevadas nos herbicidas 2,4-D+Picloram, Triclopyr e Imazapyr. Na aplicação da dose média, ou seja, 5 ml da mistura 2,4-D+Picloram o controle também foi efetivo. Portanto, pode-se dizer que a dose ideal para erradicação de cepas deve se situar entre a dose baixa e a média deste herbicida.

Os tratamentos que tiveram os maiores índices de rebrota foram, em ordem decrescente, o Glyphosate (dose baixa), o Triclopyr (doses baixa e média), o picloram+2,4-D (dose baixa), o Glyphosate (doses média e alta) e o Imazapyr (doses baixa e média).

A ocorrência de rebrota em árvores tratadas com Glyphosate já foi constatado em alguns estudos tais como os de Tuffi Santos (2006), Dantas *et al.* (2001) e Respondevesk (1999). Por outro lado, as árvores tratadas com Imazapyr foram as que apresentaram o menor índice de rebrota, o que corrobora a preferência do mercado pela utilização deste ingrediente ativo.

Apesar da ocorrência de brotações em alguns tratamentos, estas não foram viáveis, tanto pelo atraso no crescimento quanto pela má formação, 30 dias após o corte, quando comparadas com aquelas provenientes de árvores testemunhas, conforme se pode observar na Figura 11.



Brotações das árvores tratadas

Brotações das árvores testemunhas

Figura 11. Comparação visual das brotações de árvores de eucalipto tratadas e não tratadas com herbicidas.

Nota-se que nas doses média e alta de Glyphosate, os índices de mortalidade e rebrota foram 100 e 50%, respectivamente. Estes resultados sugerem a possibilidade de secagem da árvore em pé, com posterior condução das cepas após o corte da árvore, quando se opta pelo regime de talhadia, ou seja, quando há continuação do cultivo a partir das brotações. Embora as brotações tenham sido inviáveis na maioria dos tratamentos, há a possibilidade, após experimentos de novas dosagens, para torná-las viáveis do ponto de vista econômico.

5.2. Características dendrométricas

Os valores médios do DAP, altura e volume das árvores utilizadas no experimento são mostrados no Quadro 5.

Quadro 5. Valores médios de DAP, altura e volume das árvores

Parâmetro	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Volume (m ³)
Média	20,71 ± 0,55	30,85 ± 1,39	0,4958 ± 0,0562

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nas características dendrométricas das árvores pelo teste F e não houve diferenças significativas dos mesmos com a testemunha pelo teste de Dunnett, ambos a 95% de probabilidade.

Observou-se boa homogeneidade dos tratamentos quanto às características que poderiam influenciar a perda de umidade da madeira. A similaridade entre as árvores era esperada, pois todas têm origem no mesmo material genético e pertencem ao mesmo povoamento.

O diâmetro das toras é um fator que influencia a velocidade de perda de água, tendo em vista que diâmetros maiores ocasionam maiores distâncias a serem percorridas pelas moléculas de água do interior para a superfície (Vital *et al.*, 1985).

5.3. Teor de umidade das árvores com mortalidade da parte aérea

Conforme descrito no Quadro 3, somente 6 tratamentos ocasionaram índice de mortalidade da parte aérea de 100%. Assim, as análises a seguir foram feitas somente para esses tratamentos. Esta análise permitiu avaliar a efetividade dos herbicidas e das doses quanto à secagem propriamente dita, excluindo-se sua capacidade ou não de mortalidade da parte aérea.

A exclusão dos tratamentos que não causaram 100% de mortalidade das árvores, causou desbalanço no fatorial herbicidas e doses, impedindo a análise das interações. Assim, foram analisados apenas os efeitos de cada fator isoladamente.

No Quadro 6 são apresentados os valores médios dos teores de umidade nas seções longitudinais das árvores mortas.

Quadro 6. Valores médios de teor de umidade (%) da madeira no sentido longitudinal

Tratamentos	% da altura da árvore			
	0-25 (base)	26-50	51 a 75	76-100 (topo)
Picloram+2,4-D – Dose média	97,08AB*	77,57AB	52,28B	28,75AB
Picloram+2,4-D – Dose alta	89,10 B*	74,67B	48,74B	24,13B
Triclopyr – Dose alta	112,37A*	100,11A*	84,60A*	48,54A*
Glyphosate – Dose média	106,40AB*	82,28AB	45,62B	25,68B
Glyphosate – Dose alta	101,57AB*	74,88B	43,43B	23,45B
Imazapyr – Dose alta	104,14AB*	85,74AB*	57,46AB	31,86AB
Testemunha	68,49	61,49	43,66	27,62

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo de cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. *: indica diferença significativa entre as médias e a testemunha pelo teste de Dunnett a 95%. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Os teores de umidade das árvores na seção de 0-25% da altura foram significativamente diferentes pelo teste F. Os teores de umidade de todos os tratamentos foram superiores e significativamente diferentes da testemunha.

Verifica-se um decréscimo no teor de umidade à medida que a altura das árvores se eleva, visto que com a diminuição do diâmetro há menor distância a ser percorrida pela água no processo de secagem.

O herbicida Picloram+2,4-D na dose elevada, resultou em maior secagem, contudo, sendo significativamente diferente somente do Triclopyr.

Nas árvores testemunhas, além da perda de água no sentido radial, o corte transversal em toras, de aproximadamente 3 metros, facilitou a saída de água livre no sentido longitudinal, acelerando o processo de secagem, enquanto que nas árvores em pé, a perda de água se deu apenas no sentido radial.

Vale destacar também que as toras seccionadas perderam mais de 50% da casca devido aos efeitos de secagem e das movimentações, o que facilitou o processo de troca de umidade com o ambiente. As demais características tais como diâmetro, relação C/A, permeabilidade e densidade não influenciaram na perda de água, conforme abordado à frente no texto.

Nota-se que, nas seções superiores a 25% da altura das árvores, a diferença entre os teores de umidade das árvores tratadas com herbicidas e das árvores processadas em toras diminuiu.

Na Figura 14 são apresentados os valores médios dos teores de umidade, ponderados para a árvore inteira, dos tratamentos que tiveram 100% de árvores com mortalidade da parte aérea e a testemunha.

Quadro 7. Teores de umidade médios (%) ponderados para a árvore inteira

Tratamentos	Teor de umidade (árvore inteira)
Picloram+2,4-D – Dose média	77,0 bc
Picloram+2,4-D – Dose alta	72,4 bc
Triclopyr – Dose alta	99,2 a
Glyphosate – Dose média	83,1 ab
Glyphosate – Dose alta	78,0 bc
Imazapyr – Dose alta	84,7 ab
Testemunha	59,0 c

Médias seguidas pela mesma letra minúscula sobre cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Os teores de umidade das árvores mortas pelos herbicidas 2,4-D+Picloram nas doses média e alta e pelo Glyphosate na maior dose, não diferiram significativamente da testemunha. Isso evidencia que os herbicidas 2,4-D+Picloram e Glyphosate possuem características em seus mecanismos de ação mais eficientes em relação aos demais, pois promoveram maior secagem das árvores e podem ser tão eficientes, após seis meses de secagem, quanto às árvores cortadas e processadas em toras.

O teor de umidade das árvores que receberam aplicação de herbicidas poderia ser ainda menor caso todas as demais árvores do entorno também tivessem sido tratadas. Assim, todas as árvores perderiam suas folhas possibilitando maior penetração da radiação solar na área, bem como maior velocidade de circulação do ar entre os fustes em secagem.

O teor de umidade da madeira das toras na pilha deste estudo provavelmente foi mais baixo do que na madeira de toras empilhadas em grandes volumes, tais como as praticadas pelas empresas madeireiras. Isto, provavelmente, se deve à sua menor dimensão, devido ao uso de apenas 4 árvores. Em pilhas maiores, as toras das camadas inferiores estão menos expostas aos fatores ambientais que aceleram a secagem e possuem mais obstáculos à circulação do ar e a consequente perda de água para o ambiente.

5.4. Teor de umidade ao longo das árvores (todos os tratamentos)

A divisão da árvore em seções foi necessária para se compreender a relação entre diâmetro, altura e teor de umidade.

No Quadro 8, são apresentados os teores de umidade médios na seção longitudinal de 0-25% da altura das árvores.

Quadro 8. Desdobramento da interação entre herbicida e dose para o teor de umidade na seção longitudinal 0-25% da altura

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	119,9Aa*	97,1Cb*	89,1Bb*	102,0
Triclopyr	116,5Ab*	131,3Aa*	112,4Ab*	120,1
Glyphosate	120,0Aa*	106,4BCb*	101,6ABb*	109,3
Imazapyr	122,6Aa*	116,5Bab*	104,1Ab*	114,4
Média	119,8	112,8	101,8	108,6
Testemunha	68,5			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Os teores de umidade da seção a 0-25% da altura das árvores foram significativamente diferentes entre si e em comparação com a testemunha. Por meio da análise de variância foi possível observar interação significativa entre os herbicidas e as doses. Assim, após o desdobramento das interações, conforme o Quadro 16, observa-se que as maiores doses dos herbicidas 2,4-D+Picloram, Glyphosate e Imazapyr resultaram em redução significativa do teor de umidade em relação à dose baixa.

Nota-se também, que nas menores doses não houve diferenças significativas entre os herbicidas e nas doses intermediárias, o Triclopyr e o Imazapyr foram significativamente diferentes do Picloram+2,4-D.

Nas doses médias e altas os herbicidas 2,4-D+Picloram e Glyphosate promoveram o menor teor de umidade. Os herbicidas Triclopyr e Imazapyr foram os menos efetivos. Ao se comparar a seção da base das árvores (0-25% da altura) das árvores processadas e empilhadas (testemunha) com as dos demais tratamentos, verificou-se que o teor de umidade das árvores testemunhas foi inferior.

Por meio destes resultados, em comparação com os das demais seções, nota-se que o diâmetro tem grande influência na secagem das toras. Embora as árvores tenham sido aneladas quimicamente, o tempo de secagem avaliado não foi suficiente para promover a remoção de toda a água livre, uma vez que, devido ao não seccionamento das árvores, a saída da água ocorreu unicamente no sentido radial, diferentemente das árvores processadas.

No Quadro 9 são apresentados os teores de umidade médios na seção longitudinal de 26-50% da altura das árvores.

Foram observadas diferenças significativas entre alguns tratamentos e a testemunha para esta seção. Também foram observadas interações entre os herbicidas e as doses. Assim, os efeitos foram desdobrados conforme pode ser observado no Quadro 17.

Quadro 9. Desdobramento da interação entre herbicida e dose para a seção longitudinal 26-50% da altura

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	127,6Aa*	77,6Bb	74,7Bb	93,3
Triclopyr	122,6Aa*	127,8Aa*	100,1Ab*	116,8
Glyphosate	122,1Aa*	82,3Bb	74,9Bb	93,1
Imazapyr	122,9Aa*	114,8Aa*	85,7ABb*	107,8
Médias	123,8	100,63	83,85	102,8
Testemunha	61,5			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5 ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Nota-se que nesta seção, ocorreram diferenças significativas entre os herbicidas, tanto na dose média quanto na elevada, sendo as árvores que receberam os herbicidas 2,4-D+picloram e glyphosate, as que tiveram os menores teores de umidade. Em geral, o aumento da dose proporcionou menor teor de umidade, porém as diferenças significativas ocorreram principalmente entre a menor e a maior dose. Entre a dose média e a dose alta houve diferença significativa somente para o herbicida Imazapyr.

Quando se comparou os resultados desta seção com a seção semelhante das árvores testemunhas, os tratamentos com as doses média e alta de Picloram+2,4-D, e as doses média e alta de glyphosate, não diferiram dela pelo teste de Dunnett.

Isso pode ser consequência tanto da maior efetividade destes herbicidas, quanto da maior exposição da árvore à temperatura, umidade relativa, velocidade da circulação do ar, sobrepondo-se ao efeito do diâmetro, visto que nesta seção o diâmetro diminuiu consideravelmente, em relação à seção da base da árvore.

Na seção longitudinal a 51-75% da altura, observou-se ausência de homogeneidade das variâncias e ausência de normalidade dos teores médios de umidade. Isto ocorreu porque algumas árvores dentro de alguns tratamentos permaneceram vivas. Ao mesmo tempo, com a diminuição do diâmetro em função da altura, os teores de umidade diferiram, consideravelmente, entre as árvores vivas e mortas dentro do mesmo tratamento, causando variâncias diferentes. Assim, as análises foram realizadas utilizando as medianas dos valores por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com posteriores comparações múltiplas realizadas a partir do software estatístico R.

No Quadro 10 pode-se observar que na dose baixa o Glyphosate não diferiu significativamente do Imazapyr. Nas doses médias e altas, o Glyphosate e o 2,4-D+Picloram foram os que resultaram em menores teores de umidade.

Em geral, em todos os tratamentos houve decréscimo do teor de umidade com o aumento da dose.

Quadro 10. Medianas dos teores de umidade (%) da seção longitudinal de 51-75% da altura das árvores aos 180 dias após a aplicação dos herbicidas

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	143,0Aa*	52,8Bb*	47,4BCb	81,1
Triclopyr	140,6Aa*	133,6Ab*	80,0Ac*	118,1
Glyphosate	129,4Ba*	45,8Bb	43,4Cb	72,9
Imazapyr	135,6ABa*	109,3Aa*	53,9Bb*	99,6
Médias	137,2	85,4	56,2	92,9
Testemunha	44,0			

Medianas seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo de cada coluna e minúscula ao longo de cada linha não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis. *: indicam diferenças significativas entre as médias e a testemunha. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Nos valores médios dos teores de umidade observados na seção longitudinal a 76-100% da altura, assim como na seção anterior, observou-se ausência de normalidade e de homocedasticidade e por isso sua análise procedeu-se por meio de técnicas não-paramétricas, tais como a de Kruskal-Wallis. Por meio desta análise foi possível verificar diferenças significativas entre os tratamentos, conforme desdobramento disposto no Quadro 11.

Quadro 11. Medianas dos teores de umidade (%) da seção longitudinal de 76-100% da altura das árvores aos 180 dias após a aplicação dos herbicidas

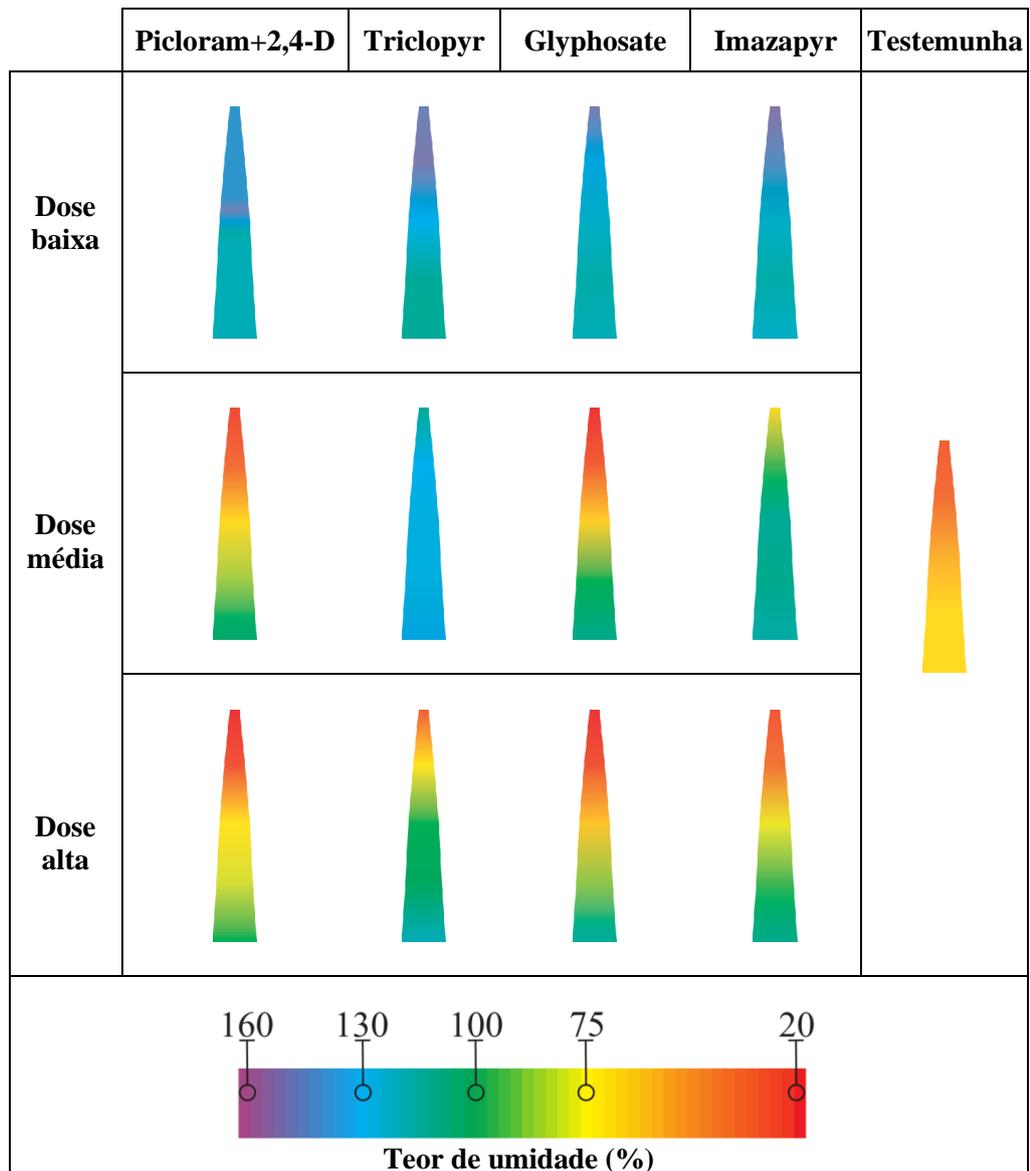
Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	143,4Aa*	27,6BCb	23,3Bc	64,8
Triclopyr	153,0Aa*	150,0Aa*	48,0Ab*	117,0
Glyphosate	141,4Aa*	26,0Cb	23,3Bb	63,6
Imazapyr	150,7Aa*	85,2Bb*	26,9Bc	87,6
Médias	147,1	72,2	30,4	83,2
Testemunha	26,2			

Medianas seguidas pela mesma letra minúscula ao longo de cada linha e maiúscula ao longo de cada coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis. *: indica diferença significativa entre as médias e a testemunha. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Observa-se que nas menores doses não houve diferença significativa entre os herbicidas. Na dose média os herbicidas 2,4-D+Picloram e Glyphosate não diferiram entre si. Na dose alta, somente o Triclopyr foi inferior aos demais quanto à secagem. Na comparação com a testemunha, os teores de umidade da madeira nos tratamentos Picloram+2,4-D (doses média e alta), Glyphosate (doses média e alta), e Imazapyr (dose alta) foram significativamente similares.

Estes resultados confirmam a importância do diâmetro e o efeito dos fatores ambientais na perda de água, visto que o diâmetro no topo das árvores favorece a saída da água no sentido radial, porque esta posição favorece a circulação do ar e a menor umidade relativa. Embora a secagem nas toras processadas ocorra em tempo menor, o tempo de secagem de 6 meses nas seções longitudinais a 51-75 e a 76-100% da altura foi suficiente para se igualar à umidade das toras processadas, nas seções similares.

Na Figura 12, observam-se os gradientes médios do teor de umidade das árvores em cada tratamento 180 dias após a aplicação dos herbicidas.



Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Figura 12. Gradiente longitudinal do teor de umidade média das árvores 180 dias após a aplicação dos herbicidas, em formato de escala de cores.

Observou-se, empregando-se a ANOVA, diferenças significativas entre os teores médios de umidade das árvores inteiras em função dos herbicidas e as dosagens. Observou-se também, que a interação herbicidas e doses foi significativa, assim, as médias foram desdobradas e os resultados podem ser observados no Quadro 12.

Quadro 12. Desdobramento da interação entre o herbicida e dose para o teor de umidade da árvore inteira

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	127,9Aa*	77,0Bb	72,4Bb	92,4
Triclopyr	125,2Aa*	130,0Aa*	99,2Ab*	118,1
Glyphosate	123,7Aa*	83,1Bb*	78,0ABb*	94,9
Imazapyr	126,6Aa*	111,0Aa*	84,7ABb*	107,4
Média	125,9	100,3	83,6	103,2
Testemunha	59,0			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula ao longo de cada linha e maiúscula ao longo de cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. *: indica diferença significativa entre as médias e a testemunha pelo teste de Dunnett a 95%. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Para a menor dose aplicada não houve efeito dos herbicidas no teor de umidade. Na dose média, os herbicidas 2,4-D+picloram e glyphosate ocasionaram significativamente os menores teores de umidade, sendo, portanto, mais efetivos na secagem. Já na maior dose, os herbicidas 2,4-D+Picloram, Glyphosate e Imazapyr não diferiram entre si.

Ao comparar o efeito dos tratamentos no teor de umidade com a testemunha, observou-se que esses foram significativamente maiores, exceto os tratamentos com Picloram+2,4-D nas doses média e alta, os quais não diferiram da testemunha.

5.5. Teor de umidade a partir de serragem

O teor de umidade das árvores, determinados empregando-se o método indireto, ou seja, a partir da serragem coletada no DAP das árvores, antes da aplicação dos herbicidas, não diferiu dentre os tratamentos e também da testemunha, pelo teste F. Este resultado indica que todas as árvores utilizadas estavam vivas e sem nenhum efeito desvitalizador no início do estudo. O teor médio de umidade das árvores foi igual a 137%.

Os valores médios dos teores de umidade 180 dias após a aplicação dos herbicidas são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13. Teores médios de umidade na altura do DAP 180 dias após aplicação dos herbicidas

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	131,36a*	101,84ab	93,33b	109,48A
Triclopyr	112,90a	142,04a*	116,08a*	123,67A
Glyphosate	121,43a*	105,97a	111,64a	112,25A
Imazapyr	128,13a*	115,97a*	106,45a	116,93A
Médias	123,46	116,46	106,88	115,60
Testemunha	80,33			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Os teores de umidade dos tratamentos diferiram significativamente entre si somente após 180 dias da aplicação dos produtos, e apenas entre as árvores que receberam a maior e a menor dose do herbicida Picloram+2,4-D.

O longo tempo necessário para se verificar perda de umidade na altura do DAP das árvores, provavelmente, se deve ao efeito do diâmetro na velocidade de saída da água, pois embora, provavelmente, já houvesse intoxicação sistêmica nas árvores, isto não se refletiu no teor de umidade.

Seis tratamentos não diferiram significativamente da testemunha 180 dias após a aplicação, sendo estes os com as doses média e alta de Picloram+2,4-D, a menor dose de Triclopyr, as doses média e alta de Glyphosate e a dose alta de Imazapyr.

Na Figura 13 são apresentados os valores médios dos teores de umidade da madeira ao longo do período de avaliação de árvores que receberam aplicação de herbicidas e da testemunha.

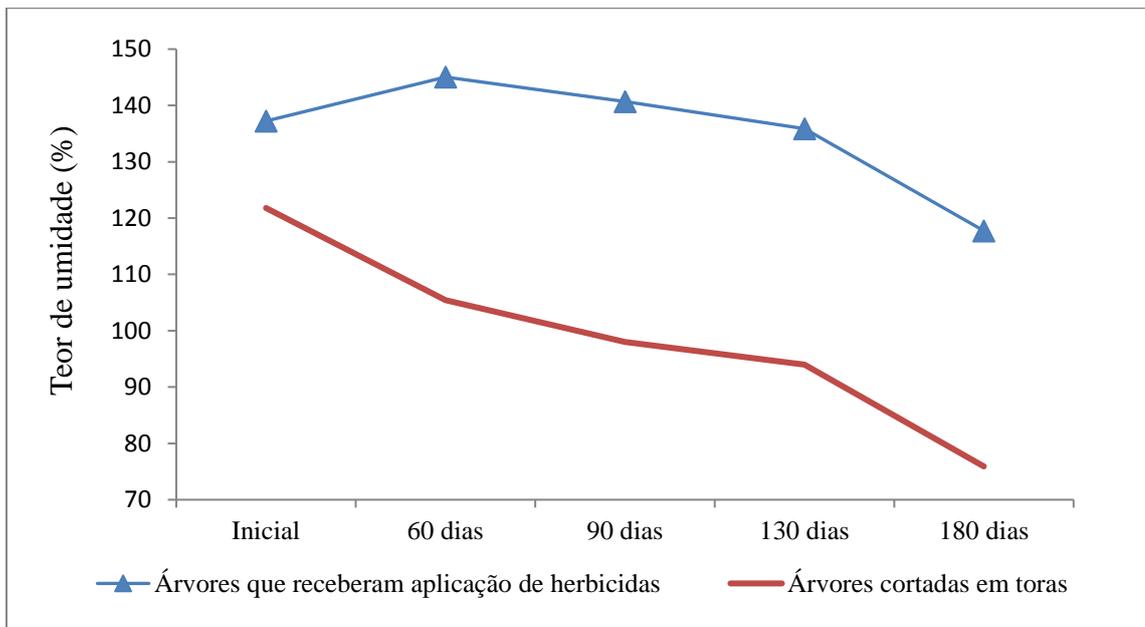


Figura 13. Valores médios do teor de umidade da madeira medido no DAP

As árvores que foram cortadas e empilhadas tiveram em média um decréscimo no teor de umidade de 38% enquanto aquelas que receberam aplicação de herbicidas apenas 14%, após 180 dias. Essa diferença, provavelmente se deve ao fato de haver maior facilidade da saída de água livre no sentido longitudinal das árvores seccionadas em toras. Por outro lado, as árvores que receberam aplicação de herbicidas foram mantidas em pé, tendo apenas o sentido radial como direção para a migração das moléculas de água para a superfície. Além disso, o efeito lento da ação de alguns herbicidas retardou o tempo de secagem.

Nota-se também uma elevação nos teores de umidade 60 dias após a aplicação dos herbicidas. Provavelmente isto se deve à maior disponibilidade de água no solo na época da coleta ou à reação de defesa da planta à intoxicação provocada pelos herbicidas.

Pode-se notar, também, uma correlação positiva e significativa entre os teores de umidade de amostras de serragem retiradas no DAP e os teores de umidade de discos retirados na base das árvores, com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,77, conforme se observa na Figura 14. A metodologia para estimar o teor de umidade de madeira na forma de serragem coletada com furadeira foi empregada por Donato (2013) para toras com comprimentos e diâmetros variados, o qual observou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,90 para regressão linear.

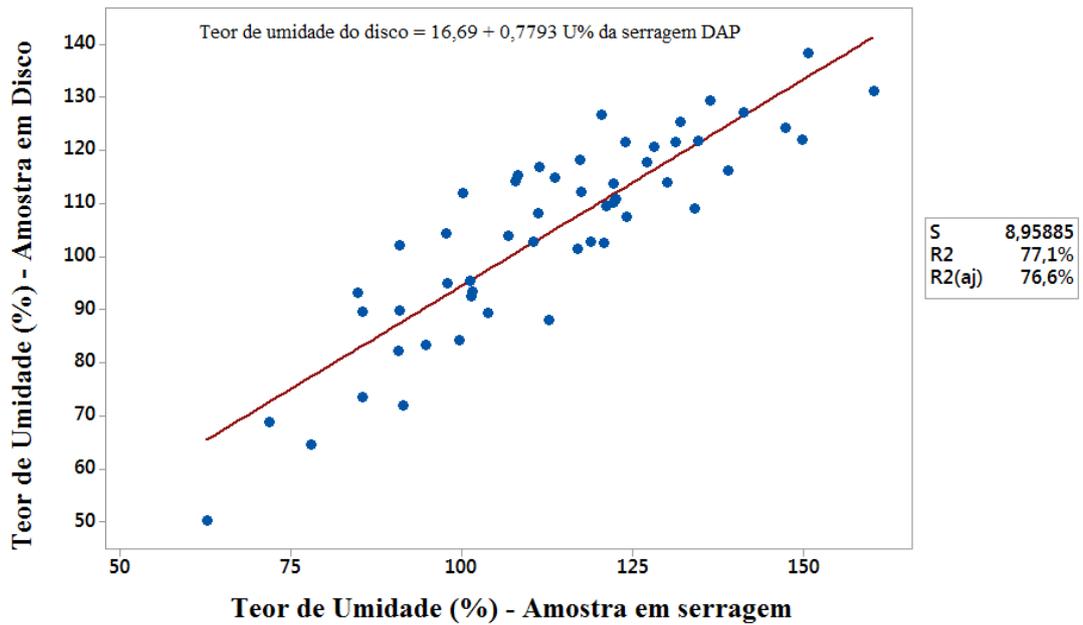


Figura 14. Valores estimados e observados do teor de umidade das amostras em discos em função do teor de umidade da serragem

Esta técnica permitiu estimar ainda a correlação entre os teores de umidade obtidos de amostras coletadas com furadeira no DAP e o teor de umidade médio ponderado para as árvores inteiras. Observou-se correlação linear, positiva e significativa, conforme se observa na Figura 15, em que o R^2 foi igual a 0,70. Portanto, é possível estimar a umidade da árvore inteira de forma rápida e prática coletando amostras com furadeira na altura do DAP.

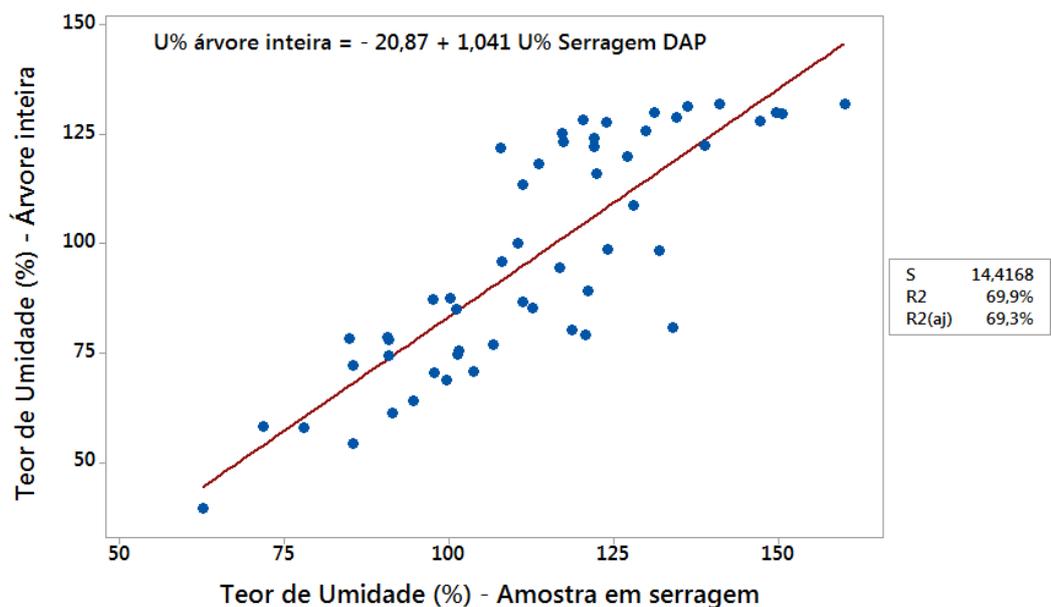


Figura 15. Valores estimados e observados do teor de umidade ponderado para árvore inteira em função do teor de umidade da serragem

5.6. Propriedades da madeira

No Quadro 14 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira.

Quadro 14. Valores médios de densidade básica (kg/m³) da madeira em função dos tratamentos

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	446,7*	453,1*	469,3	457,6 A
Triclopyr	458,5	452,1*	469,4	460,9 A
Glyphosate	463,3	443,3*	460,6	456,9 A
Imazapyr	460,9	458,6	462,3	460,6 A
Médias	458,0 ab	452,3 b	465,4 a	459,0
Testemunha	488,5			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Observa-se que não houve efeitos significativos dos tratamentos na densidade básica das árvores. No entanto, as densidades básicas das árvores que receberam a dose alta foram numericamente superiores às da dose média, em todos os tratamentos, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Quando comparados com a testemunha, a densidade básica das árvores dos tratamentos com Picloram+2,4-D nas doses baixa e média, Triclopyr na dose média e Glyphosate na dose média, foram inferiores. Apesar das diferenças, não é possível afirmar que a densidade básica afetou significativamente o teor de umidade final ponderada para a árvore inteira.

A densidade básica da madeira, nas seções longitudinais, nas alturas de 0-25%, 26-50%, 51-75% e 76-100%, não diferiram significativamente entre os tratamentos pelo teste F e o de Dunnett quando comparadas com a testemunha.

Tendo em vista a homogeneidade da densidade básica nas diferentes seções, pode-se afirmar que a densidade básica não afetou o teor de umidade obtido em cada uma das seções ao longo da altura da árvore.

No Quadro 15 são mostrados os valores médios da relação cerne-alburno das árvores em função dos tratamentos.

Quadro 15. Valores médios da relação cerne/alburno da madeira em função dos tratamentos

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	1,33A	1,37AB	1,50A	1,40
Triclopyr	1,38A	1,26B	1,52A	1,39
Glyphosate	1,66A	1,44AB	1,52A	1,54
Imazapyr	1,59A	1,64A	1,39A	1,54
Médias	1,49a	1,42a	1,48a	1,47
Testemunha	1,46			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 95% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

A relação C/A da madeira diferiu significativamente apenas entre os tratamentos com os herbicidas Triclopyr e Imazapyr, ambos na dose média, conforme observado no Quadro 15. Salienta-se que esta diferença, provavelmente não se deve aos diferentes produtos utilizados, mas às variações fenotípicas comuns à espécie. Ao se comparar os tratamentos com a testemunha, pelo teste de Dunnett a 95% de probabilidade não foram observadas diferenças significativas.

A relação C/A é uma característica importante a ser determinada e comparada, tendo em vista o seu efeito na velocidade de secagem das toras ao ar livre.

Quadro 16. Valores médios da relação C/A da madeira na base das árvores

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	2,37	2,20	2,14	2,24B
Triclopyr	2,52*	2,01	2,32	2,28AB
Glyphosate	2,77*	2,29	2,72*	2,59AB
Imazapyr	2,73*	2,95*	2,26	2,65A
Médias	2,59a	2,36a	2,36a	2,44
Testemunha	1,78			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Não houve interação significativa entre os herbicidas e doses para a relação C/A da madeira da base das árvores, observando-se apenas efeito isolado do tipo de herbicida (Quadro 16). A relação C/A das árvores que receberam a aplicação de Picloram+2,4-D foi menor na seção da base da árvore, em comparação com as que receberam o herbicida Imazapyr. As árvores que receberam a menor dose de Triclopyr, as doses baixa e alta de Glyphosate e as doses baixa e média de Imazapyr diferiram significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett a 95% de probabilidade.

Quadro 17. Valores médios da relação C/A da madeira a 25% da altura das árvores

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	1,45Bb	1,79Aab	2,25Aa*	1,83
Triclopyr	1,43Bb	1,67Aab	2,10ABa*	1,73
Glyphosate	2,10Aa*	1,96Aa	1,63Ba	1,89
Imazapyr	1,98Aa	1,86Aa	1,83ABa	1,89
Média	1,74	1,82	1,95	1,84
Testemunha	1,51			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Observou-se interação significativa entre os tipos de herbicidas e doses pela análise de variância da relação C/A a 25% da altura da árvore (Quadro 17). Notou-se, a partir do desdobramento da interação, que as árvores tratadas com os herbicidas Picloram+2,4-D e Triclopyr possuem relações C/A significativamente inferiores aos herbicidas Glyphosate e Imazapyr na dose baixa. E na dose alta, as árvores tratadas com Picloram+2,4-D possuem relações C/A significativamente superiores somente às do Glyphosate. Na dose média não houve diferenças entre os herbicidas.

Notou-se também que as árvores tratadas com os herbicidas Picloram+2,4-D e Triclopyr na dose alta possuem relações C/A significativamente superiores às árvores tratadas com a dose baixa dos mesmos herbicidas.

Ao se comparar as relações C/A dos tratamentos com a testemunha, somente aqueles com Picloram+2,4-D e Triclopyr na dose alta e Glyphosate na dose baixa apresentaram valores significativamente superiores.

Nas demais seções, ou seja, a 50, 75 e 100% da altura não houve diferenças significativas entre os tratamentos, nem entre eles e a testemunha.

As diferenças encontradas entre os tratamentos se devem, provavelmente, à variabilidade comum existente entre árvores e dentro da própria árvore.

5.7. Composição anatômica

Os valores médios dos diâmetros dos vasos nas regiões do alburno e do cerne são mostrados nos Quadros 18 e 19, respectivamente.

Quadro 18. Valores médios do diâmetro (μm) dos vasos da madeira na região do alburno

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	94,3Bb	123,3Aa	117,3Aab	111,6
Triclopyr	122,2Aa	124,3Aa	124,6Aa	123,7
Glyphosate	101,8ABa	118,5Aa	117,5Aa	112,6
Imazapyr	116,0ABa	99,8Aa	115,8Aa	110,5
Média	108,6	116,5	118,8	114,6
Testemunha	107,5			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Houve interações significativas entre os herbicidas e as doses para o diâmetro de vasos na região do alburno, porém observa-se que as árvores que receberam aplicação da dose baixa do herbicida Picloram+2,4-D possuem diâmetros dos vasos na região do alburno inferiores aos das árvores que receberam a dose média do mesmo produto, bem como das árvores que receberam a dose baixa do herbicida Triclopyr.

Nenhum dos tratamentos diferiu significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 95% de probabilidade.

Quadro 19. Valores médios do diâmetro (μm) dos vasos da madeira na região do cerne

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	123,4*	121,0	105,4	116,6A
Triclopyr	121,1	114,4	109,1	114,9A
Glyphosate	108,6	113,8	115,1	112,5A
Imazapyr	127,4*	102,7	120,0	116,7A
Médias	120,1a	113,0a	112,4a	115,2
Testemunha	100,8			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Na região do cerne, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, por meio do teste de Dunnett pode-se concluir que o diâmetro dos vasos das árvores que receberam a menor dose dos herbicidas Picloram+2,4-D e Imazapyr são maiores do que da testemunha.

Quadro 20. Valores médios de frequência de vasos (vasos/mm²) da madeira na região do alburno

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	8,83	8,33	7,58	8,25A
Triclopyr	6,08	7,50	8,92	7,50A
Glyphosate	9,58	7,50	7,75	8,28A
Imazapyr	8,25	8,42	8,50	8,39A
Média	8,19a	7,94a	8,19a	8,10
Testemunha	9,83			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

A frequência de vasos nas regiões tanto do cerne quanto do alburno, não diferiu significativamente entre os tratamentos.

No entanto, na região do cerne, foram observadas diferenças significativas em relação à testemunha nos tratamentos com Picloram+2,4-D nas doses média e alta, com Triclopyr nas doses baixa e média e com Glyphosate nas doses média e alta, conforme mostrado no Quadro 21.

Quadro 21. Valores médios de frequência de vasos (vasos/mm²) da madeira na região do cerne

Herbicidas	Doses			Média
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	7,66	6,92*	7,08*	7,22A
Triclopyr	7,17*	6,67*	8,83	7,56A
Glyphosate	7,42	7,25*	5,92*	6,86A
Imazapyr	7,92	8,33	7,83	8,03A
Média	7,54a	7,29a	7,42a	7,42
Testemunha	10,60			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

O diâmetro e a frequência dos vasos da madeira têm relação com as características genéticas e ambientais, como por exemplo, a competição entre os indivíduos, bem como do espaçamento de plantio. Fisiologicamente as alterações no diâmetro e frequência de vasos se dão em função da demanda por água e sais minerais à medida que as plantas se desenvolvem em altura e diâmetro (TOMAZELLO FILHO, 1987).

Portanto, conforme esperado, os herbicidas não provocaram alterações significativas nessas características, pois assim que as árvores receberam a aplicação dos herbicidas, em poucos dias elas entraram em processo de senescência, não havendo, portanto, tempo suficiente para alterações dessa natureza e magnitude em sua anatomia.

Os valores de frequência e diâmetro dos vasos encontrados neste estudo estão em conformidade com os encontrados por Valle *et al.* (2013) em árvores de *E. urophylla* aos 5,5 anos de idade, com os de Ferreira (2012), bem como com Evangelista (2007) em *E. camaldulensis* aos 10 anos e *E. urophylla* aos 6 e 8 anos, neste sendo inferior apenas na região do alburno.

5.8. Permeabilidade

A permeabilidade média da madeira de cerne de todas as árvores foram inferiores a 5 cm³/cm.atm.s. Este resultado era esperado tendo em vista as obstruções dos vasos por tiloses nessa região, típico deste gênero.

Os valores médios de permeabilidade ao ar, na região do alburno, são mostrados no Quadro 22.

Quadro 22. Valores médios de permeabilidade ao ar (cm³/cm.atm.s) da madeira da região do alburno

Herbicidas	Doses			Médias
	Baixa	Média	Alta	
Picloram+2,4-D	122,40*	182,70	176,10*	157,40A
Triclopyr	184,00	153,80*	176,10	169,60A
Glyphosate	123,50*	156,96*	171,50	149,00A
Imazapyr	168,10*	171,50*	205,30	179,50A
Médias	150,90a	163,90a	181,00a	163,90
Testemunha	275,50			

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas por um (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Picloram+2,4-D (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 15 ml). Triclopyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 2 ml; dose alta: 5 ml). Glyphosate (dose baixa: 1 ml; dose média: 5ml; dose alta: 10 ml). Imazapyr (dose baixa: 1 ml; dose média: 3 ml; dose alta: 6 ml).

Não houve interação significativa entre os herbicidas e doses para a variável permeabilidade da madeira na região do alburno, bem como seus efeitos isolados. Apenas alguns tratamentos diferiram da testemunha, conforme se observa no Quadro 12.

O valor médio de permeabilidade na região do alburno foi de 175 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}.$, e esse foi inferior ao observado por Teixeira (2015) em árvores de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, o qual observou o valor médio de 293 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$ para árvores da classe de diâmetros de 16 a 25 cm, aos 9 anos. Foi também inferior ao encontrado por Pinheiro (2013) em árvores de *E. urophylla* aos 5 anos, com classe diamétrica de 10 a 16 cm, a qual encontrou o valor médio de 217 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$,

Na Figura 16 observa-se a relação entre a permeabilidade da madeira, a frequência e o diâmetro dos vasos na região do alburno para as árvores avaliadas neste estudo.

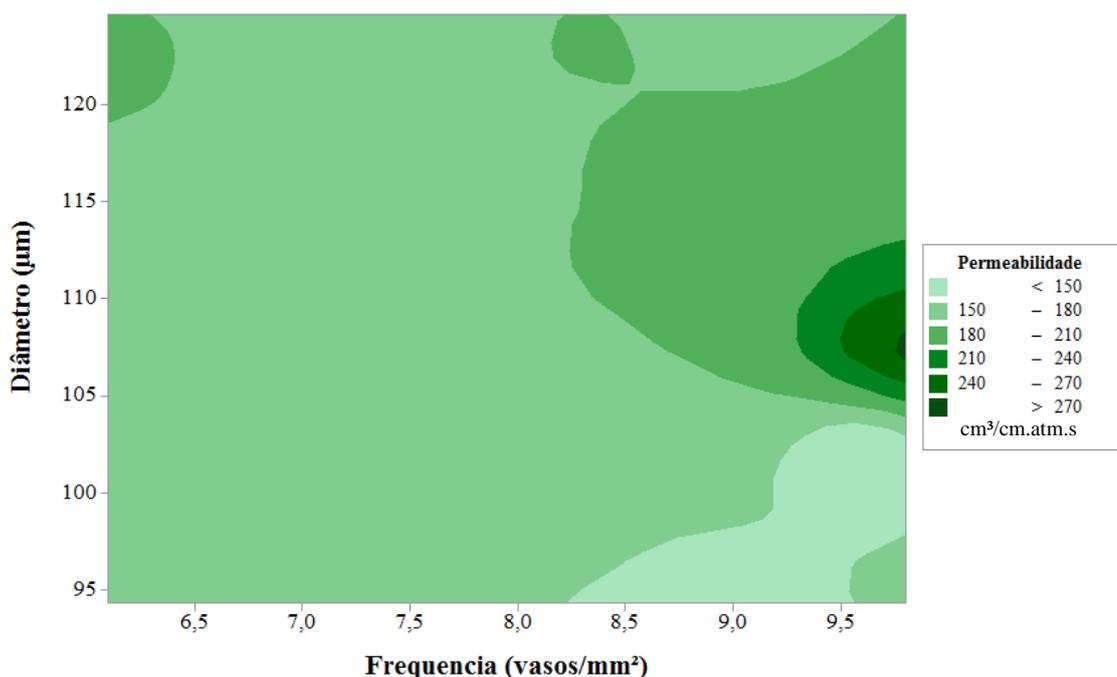


Figura 16. Permeabilidade do alburno em função do diâmetro e frequência dos vasos.

De maneira geral, observa-se que, quanto maior a frequência de vasos e maiores diâmetros, maior a permeabilidade da madeira. Nota-se também que diâmetros muito pequenos, ainda que frequentes, não contribuem para o aumento da permeabilidade.

6. CONCLUSÕES

A aplicação do herbicida Picloram+2,4-D na dose de 15 ml/árvore resultou em menor teor de umidade das árvores em pé, avaliadas seis meses após a aplicação.

Todos os herbicidas avaliados, na dose mais alta, ocasionaram a morte de todas as árvores tratadas.

Os herbicidas 2,4-D+Picloram e Glyphosate foram os mais efetivos na secagem da madeira, considerando todo o volume da árvore, em comparação com o Triclopyr e Imazapyr.

A aplicação dos herbicidas 2,4-D+Picloram, nas doses de 5 e 15 ml, e Glyphosate, na dose de 10 ml, ocasionaram a secagem da madeira a teores de umidade semelhantes ao das árvores cortadas e processadas.

Considerando a peculiaridade do clone e das condições do local de estudo, nenhum dos tratamentos e nem com a testemunha foi possível obter teores de umidade que atendessem aos padrões para a produção de carvão na árvore inteira, sendo necessário mais tempo de secagem. No entanto, quando se considerou a seção de 50 a 100% da altura, os teores de umidade ficaram dentro dos limites aceitáveis para produção de carvão.

A densidade básica, a relação C/A, o diâmetro e frequência dos vasos nas regiões do cerne e alburno, bem como a permeabilidade da madeira, não foram afetados pela aplicação dos herbicidas e, concomitantemente, estas propriedades da madeira, não foram suficientemente capazes de se sobrepor ao efeito causado pelos herbicidas no teor de umidade.

Os valores dos teores de umidade determinados na serragem, coletada com furadeira na altura do DAP, tem correlação positiva e significativa com os teores de umidade obtidos pelo método tradicional em estufa.

7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

No caso de aplicação em escala industrial é necessário quantificar os desgastes dos materiais cortantes dos equipamentos de colheita, a redução no consumo de combustível, avaliar o risco de incêndio e o impacto do tempo de secagem no crescimento das mudas do plantio subsequente. É necessário também um estudo com todas as árvores do entorno secas, favorecendo assim a maior exposição às condições ambientais.

Comparar o volume de cascas e biomassa em geral transportado à fábrica em relação ao processo convencional.

Avaliar os riscos na colheita com relação a quebra de fustes, caso haja, em relação às toras verdes.

Avaliar a persistência no solo dos diferentes herbicidas em diferentes profundidades e os efeitos nas árvores do entorno do talhão, bem como o efeito nas novas mudas plantadas.

Quantificar a produtividade e custos da aplicação em grandes áreas.

Testar diferentes doses e diluições com maior número de repetições visando obter curvas de regressão.

Comparar o nível de secagem em diferentes clones e em diferentes épocas do ano.

Determinar a resistência da madeira e a qualidade do carvão proveniente de árvores aneladas quimicamente.

Determinar os índices de rachaduras de topo e outros defeitos em toras de maiores diâmetros após 6 meses

Determinar o teor de umidade da árvore inteira a cada 15 dias efetuando-se a derrubada de algumas árvores de cada tratamento.

Determinar o teor de umidade das árvores a partir da aplicação aérea dos herbicidas.

Avaliar o efeito do herbicida Triclopyr diluído em solvente orgânico.

8. BIBLIOGRAFIA

ABRAHÃO, C. P.; ROCHA, L. C. S., PAULA, H. D.; TRINDADE, E. G. B.; ANDRADE, H. B.; SANTANA, R. C. Diameter and length effects of logs on firewood drying clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 85-93, 2016.

ABREU, R. L. S. *et al.* Avaliação de danos por insetos em toras estocadas em indústrias madeireiras de Manaus, Amazonas, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.789-796, 2002.

ALVARES, C.A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro. 2003. 6p.

BARAÚNA, E. E. P, LIMA, J. T., VIEIRA, R. D. S., Silva, J. R. M. D., MONTEIRO, T. C.. Effect of anatomical and chemical structure in the permeability of "Amapá" wood. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 529-534, 2014.

BARBOSA, C. G., LIMA, J. T., ROSADO, S. C. D. S. R., TRUGILHO, P. F. Elaboração de um programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**. v. 11, n. 1, p. 40-48, 2005.

BASF. **Página institucional.** Disponível em: <<https://agriculture.basf.com/br/pt/Protec%CC%A7a%CC%83o-de-Cultivos/Chopper-Florestal.html>> Acesso em: 9/10/2018.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; DA ROCHA, M. P. Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 711-719, 2015.

BORGATO, E.A.; NETTO, A.G., Resistência múltipla e cruzada: casos no Brasil e mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: CHRISTOFFOLETI, M. A.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. p. 43. 2016.

BOTREL, M. C. G., TRUGILHO, P. F., DA SILVA ROSADO, S. C., DA SILVA, J. R. M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, 2007.

BRAND, M. A. DE MUÑIZ, G. I. B., QUIRINO, W. F., BRITO, J. O Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2581-2588, 2011.

BRAZ, R. L. DUARTE, A. P. C., OLIVEIRA, J., MOTTA, J. P., ROSADO, A. M. Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 117-123, 2015.

BRITO, J. O.; GARCIA, N.; BORTOLETTO, G., CHAGAS PESSOA, A. M., & SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, 12(2). 2006.

CALDEIRA, S. F.; CUNHA E CASTRO, C. K. Herbicidas e danos físicos em tocos de teca para controle de brotos após o desbaste. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, 2012.

CALONEGO, F. W. SEVERO, E. T., CONEGLIAN, A., BARREIROS, R. M. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 2, p. 169-180, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CARNEIRO, A. C. O., CASTRO, A. F. N. M., CASTRO, R. V. O., SANTOS, R. C. D., FERREIRA, L. P., DAMÁSIO, R. A. P., VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, 2014.

CARNEIRO, A. C. O., VITAL, B. R., FREDERICO, P. G. U., FIGUEIRÓ, C. G., DE FREIAS FIALHO, L., DA SILVA, C. M. S. Caracterização energética das madeiras de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes localidades. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 8, n. 3, 2017.

CARRETTA, L.; CARDINALI, A.; ZANIN, G.; MASIN, R. Effect of Vegetative Buffer Strips on Herbicide Runoff From a Nontilled Soil. **Soil Science**, v. 182, n. 8, p. 285-291, 2018.

CASTRO, V. R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2014.

CASTRO, A.F.N.M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

CERDEIRA, A.L. e DUKE, S.O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops. **Journal of Environmental Quality**, 35(5), pp.1633-1658. 2006.

CHEN, L. G.; SWITZER, C. M.; FLETCHER, R. A. Nucleic acid and protein changes induced by auxin-like herbicides. **Weed Science**, v. 20, n. 1, p. 53-55, 1972.

CHRISTOFFOLETI, P. J. **Resistência de plantas daninhas aos herbicidas**. SIMPÓSIO SOBRE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 1., 1997, Dourados. Resumos... Dourados: Embrapa-CPAO, 1997.

CHRISTOFFOLETTI, P. J.; GAZZIERO, D. L. P.; REIS, F. C.; PADRO, A. B. C. A. **Classificação dos herbicidas quanto aos mecanismos de ação**. Associação de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. Folder. (https://docs.wixstatic.com/ugd/48f515_b0681e818424436ebc2fc15b86006050.pdf). 2018.

COPPEN, J. J. **Eucalyptus: the genus Eucalyptus**. CRC Press, 2003.

DA ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, v. 12, n. 4, 2006.

DANTAS, F. W. F.; SOUZA, A. J.; CIERO, A. D. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento. In: **Seminário nacional sobre herbicidas e tecnologia de aplicação em florestas**, p. 29-44, 2001.

DARCY, H. **Les fontains publiques de la Ville de Dijon**, Victor Dalmont, Paris 647pp. 1856.

DE ASSIS, T. F. Melhoramento genético de Eucalyptus: desafios e perspectivas. 2014.

DE CADEMARTORI, P. H. G., GATTO, D. A., STANGERLIN, D. M., MASTELLA, T., VARGAS, J. F., SANTINI, E. J. Uso de herbicida na redução das tensões de crescimento na madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 801-808, 2015.

DE MUÑIZ, B.; INÉS, G. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 236p. 1993. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1993.

DECHOUM, M. S.; ZILLER, S. R. Métodos para controle de plantas exóticas invasoras. **Biotemas**, v. 26, n. 1, p. 69-77, 2013.

DIAS, J. L. C.; BANU, A.; SPERRY, B. P.; ENLOE, S. F.; FERREL, J. A.; SELLERS, B. A. Relative Activity of Four Triclopyr Formulations. **Weed Technology**, v. 31, n. 6, p. 928-934, 2017.

DIAS FILHO, M. B. Plantas invasoras em pastagens cultivadas da Amazônia: estratégias de manejo e controle. Belém, PA: **EMBRAPA-CPATU**. 1990. 103p. Documentos, 52.

DONATO, D. B.; CASTRO, R. V.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CARVALHO, A. M. M. O., et al. Determinação da umidade da madeira em tora por diferentes métodos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 449-453, 2014.

DOUGLASS, C. H.; NISSEN, S. J.; MEIMAN, P. J.; KNISS, A. R. Impacts of imazapyr and triclopyr soil residues on the growth of several restoration species. **Rangeland Ecology & Management**, v. 69, n. 3, p. 199-205, 2016.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 319-325, 2008.

ENLOE, S. F.; O'SULLIVAN, S. E.; LOEWSTEIN, N. J. et al. Triclopyr application timing and concentration influence low-volume basal bark efficacy on Chinese privet (*Ligustrum sinense*). **Invasive Plant Science and Management**, v. 9, n. 4, p. 235-241, 2016.

EVANGELISTA, W. V. SILVA, J. C., VALLE, M. L. A., XAVIER, B. A.. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.

FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, L. D. T. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010.

FERREIRA, S.; LIMA TARCÍSIO, J.; ROSADO SILVA, S. C. D.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 10, n. 1, 2004.

FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e de espécies do Cerrado**. 2012. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERRELL, J.; LANGELAND, K.; SELLERS, B. **Herbicide application techniques for woody plant control**. University of Florida, IFAS Extension, 2006.

- FIRMINO, L. E.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A. Sorção do imazapyr em solos com diferentes texturas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.
- FITES, R.C.; SLIFE, F.W.; HANSON, J.B. Translocation and metabolism of radioactive 2,4-D in jimsonweed. **Weeds**, v.12, n.3, p.180-183, 1964.
- FRANCESCHI, M. et al. Comportamento do 2, 4-D+ picloram em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 238-245, 2017.
- FRUMKIN, H. Agent orange and Cancer: An Overview for clinicians. **Environmental Carcinogens**, v. 153, nº 4, pp. 245-255. 2003.
- GIANESSI, L. P.; REIGNER, N. P. The value of herbicides in US crop production. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 559-566, 2007.
- GUL, S & SIDDIQUI, Z. S. & NOMAN, A.; RASHEED, F. Tree Anatomy and Physiology. 2017.
- GUNSOLUS, J. L.; CURRAN, W. S. Herbicide mode of action and injury symptoms. **Urbana**, v. 51, n. 61801, p. 217-333, 2007.
- HART, C. A. The drying of wood. Raleigh: North Carolina Agriculture Extension Service, 1966. 24 p.
- HEAP, I; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p. 1040-1049, 2018.
- IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin, Leuven, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual 2017**: ano base 2016. 2017. 80p.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Sumário Executivo 2018**: ano base 2017. 2018.
- INOUE, M. H. OLIVEIRA JR, R. S., REGITANO, J. B., TORMENA, C. A., TORNISIELO, V. L., CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.
- JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 13p.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. de. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, n. 199, p. 1-14, 2003.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto (Drying behavior of eucalyptus lumber). **Revista da Madeira**, v. 19, p. 64-72, 2008.

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1968.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, p. 139-146, 2000.

LATORRACA, J. V. F. JÚNIOR, A. F. D., SILVA, G. C., PACE, J. H. C., CARVALHO, A. M. Anelamento e vaporização de toras visando otimização do processo de secagem da madeira eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 273-279, 2015.

LEITE, F. P., GOMES, F. J. B., SOUZA, E., ROSADO, A. M., AMARAL, L. S. **Investigação do tempo de secagem no teor de umidade e nas características físicas e químicas da madeira para produção de celulose**. In: *42º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel-ABTCP, São Paulo*. 2010.

LIMA, M. C. D.; **Efeito da borda na precisão do inventário florestal e na estimativa de multiprodutos em um povoamento de eucalipto**. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2017.

LITTLE, K. M. Killing Eucalyptus grandis cut stumps after multiple coppice rotations in the KwaZulu-Natal midlands, South Africa, **Southern African Forestry Journal**, 199:1, 7-13, (2003).

LORENTZ, K. A.; MINOGUE, P. J. Exotic Eucalyptus plantations in the southeastern US: risk assessment, management and policy approaches. **Biological Invasions**, v. 17, n. 6, p. 1581-1593, 2015.

MACEDO, M. C. M. et al. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: Embrapa Gado de Corte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181., 2014.

MACHADO, A. F. R. **Tolerância de genótipos de eucalipto ao glyphosate**. 65p. 2009. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2008.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de Pinus**. 155f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Paraná.

MESQUITA, J. B; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 45-50, 2006.

MILLER, J. H.; MANNING, S. T.; ENLOE, S. F. A management guide for invasive plants in southern forests. Gen. Tech. Rep. SRS-131. Asheville, NC: US Department of Agriculture Forest Service, **Southern Research Station**. 120 p., v. 131, p. 1-120, 2013.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa n.227 de 29 de agosto de 2018. Estabelece procedimentos para redução das emissões atmosféricas dos fornos de produção de carvão vegetal de floresta plantada e para avaliação da qualidade do ar no seu entorno e dá outras providências. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 31 ago. 2018. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=46681#_ftn1. Acessado em 10 mai 2019.

MONQUEIRO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, C. T. S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). **Planta Daninha**, v. 18, n. 3, p. 419-425, 2000.

MORESCHI, J. C. **Relação água madeira e sua secagem**. Curitiba: UFPR, Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Florestal. 2014.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Principles of Plant and Animal Pest Control**. Washington, DC: National Academy Press. 508 p. 1969.

NEGRÃO, D. R. **Seleção de fungos degradadores de madeira para uso na destoca biológica de *Eucalyptus spp.*** 95f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

NOBLE, J. C. GRICE, A. C., DOBBIE, M. J., MÜLLER, W. J., WOOD, J. T. Integrated shrub management in semi-arid woodlands of eastern Australia: effects of chemical defoliant applied after an initial disturbance. **The Rangeland Journal**, v. 23, n. 2, p. 224-258, 2001.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. Tradução de Antônio Manuel de Azevedo Gomes. Fundação Calouste Gulbenkian, 4. Ed. Lisboa - Portugal. 1971. 926 p.

OLIVEIRA, A. C.. **Secagem de Toras de Eucalipto**. 71f. 2015. Tese (Doutorado em Ciência Floresta) – Universidade Federal de Viçosa. 2015.

OLIVEIRA, L.C. DO COUTO, H. T. Z.; SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P. Exploração florestal e eficiência dos tratamentos silviculturais realizados em uma área de 136ha na floresta nacional do Tapajós, Belterra-Pará. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 46, n. 1, p. 195-214, 2011.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 2011.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J.C; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, JTS; CARVALHO, AML. Secagem e Preservação da Madeira de Eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 55, p. 58-61, 2001.

OLIVEIRA, L. C. S. **Perguntas e respostas em secagem de madeiras**. São Paulo: IPT, 1981. 36p.

PENFOLD, A., WILLIS, J. L. **The Eucalypts**. Botany, cultivation, chemistry, and utilization. The Eucalypts. Botany, cultivation, chemistry, and utilization. 1961.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 217-225, 2013.

PEREIRA, B. L. C., CARNEIRO, A. C. O., CARVALHO, A. M. M. L., TRUGILHO, P. F., MELO, N. A. I. C., & OLIVEIRA, C. A. (2013). Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, 2013.

PERTUZZATTI, Anderson *et al.* Influência do diâmetro das toras na secagem ao ar livre de Eucalyptus globulus Labill. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 4, n. 2, p. 10-12953/2177-6830. v04n02a05, 2013.

PINHEIRO, M. A. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2013.

PONCE, R. H. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas**. In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, p. 50-58, 1995.

PROTÁSIO, T. de P. COUTO, A. M., REIS, A. D., TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 97, p. 15-28, 2013.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. M. **Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management**. John Wiley & Sons, 2007.

RAMEZANI, M. *et al.* Abiotic degradation (photodegradation and hydrolysis) of imidazolinone herbicides. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, v. 43, n. 2, p. 105-112, 2008.

RAO, V. S. Introduction to Chemical Weed Management: CHEMICAL METHOD. In: **Principles of Weed Science**, Second Edition. CRC Press, 2000. p. 67-74.

RESPONDOVESK, R.J. Controle de brotações em reformas de plantações florestais na RIPASA. **I Seminário sobre Controle de Plantas Infestantes em Áreas Florestais**, Piracicaba, SP, Brasil. 1999.

REZENDE, R. N. LIMA, J. T., DE RAMOS, L. E., DA SILVA, J. R. M. Efeito da vaporização na secagem de tábuas de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 21, n. 1, 2015.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de Eucalyptus empregados na produção de carvão**. 2009. 178p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

RIBEIRO, N. *et al.* **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2002.

RIZZARDI, M. A., VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMAN, K (2004) Aspectos gerais do controle de plantas. In: Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves, **Embrapa Uva e Vinho**. p.105-144.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Produção Independente, 2011. 697p.

RODRIGUES, R. R. (Ed.). **Pacto pela restauração da mata atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. LERF; Piracicaba: ESALQ, 2009.

ROSS, R. J. Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, **General Technical Report FPL-GTR-190**, 2010: 509 p. 1 v., v. 190, 2010.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 2005. Florida: CRC Press. p, v. 487, 2005.

SANDEL, M. P.; CARVALHO, J. O. P. Anelagem de árvores como tratamento silvicultural em florestas naturais da Amazônia Brasileira. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, n. 33, p. 9-32, 2015.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 159 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS JÚNIOR, A. S. **Herbicidas com potencial para o manejo de plantas daninhas em eucalipto**. 53f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, MG. 2017.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, 2003.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)**. 70p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade de São Paulo. 2002.

SCHALAU, J. **Cut stump application of herbicides to manage woody vegetation**. 2011.

SENSEMAN, S.A. (Ed.), 2007. **Herbicide handbook**, ninth ed. Weed Science Society of America, Lawrence, KS, USA.

SEVERO, E.T.D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.109-124, 2000.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse Wood Science Series No 1. 1971.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M. ; CORDEIRO, S. A. ; LEITE, E. S. Custos. In: Carlos Cardoso Machado. (Org.). **Colheita Florestal**. 3ªed.Viçosa: Editora UFV, 2014, v. 01, p. 253-287.

SILVA, A. A. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SILVA, C. M. M. FERREIRA, L. R., FERREIRA, F. A., MIRANDA, G. V. Root exudation of imazapyr by eucalypt, cultivated in soil. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 109-116, 2004.

SILVA, C. M. M. FERREIRA, L. R., FERREIRA, F. A., & MIRANDA, G. V. Imazapyr root exudation from eucalypt seedlings cultivated in nutritive solution. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, 915-920, 2005.

SILVA, J. F. FERREIRA, L. R., FERREIRA, F. A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 149-188, 2007.

SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; FARIA, B. F. H. Methods for alleviation and reduction of the effects of growth stresses in *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 4, e410403, 2017.

SIST, P. **Liberation thinnings in logged-over forests**. In: Silvicultural research in a lowland mixed dipterocarp forest of East Kalimantan, the contribution of STREK project. 1998.

SKAAR, C. J. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

SOUZA, M. A. M.; DE MATOS, J. L. M., BECHARA, F. C. Avaliação da eficiência do herbicida imazapyr na redução da deformação residual longitudinal em *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 549-556, 2013.

SOUZA, G. V. R. *et al.* Exsudato radicular de imazapyr aplicado sobre mudas de diferentes clones de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 141-147, 2006.

STERLING, T. M.; HAL, J. C. Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. **Reviews in Toxicology**, v. 1, p. 111-142, 1997.

STEWART, C. M. Moisture content of living trees. **Nature**, v. 214, n. 5084, p. 138, 1967.

TEIXEIRA, R. U.; CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de *Eucalyptus spp.* na velocidade de secagem**. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2015.

TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; DE CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TRUGILHO P. F., VITAL B. R, REGAZZI A. J, GOMIDE J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**. 21(2): 259 -267. 1997.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus spp.* e de *Eucalyptus dunnii* maiden e propriedades da sua madeira**. Tese (Pós-Doutorado). UFPR, Curitiba – PR, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R., DUARTE, W. M., TIBURCIO, R. A. S., & SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006.

TUFFI SANTOS, L. D. T. FERREIRA, F. A., MACHADO, A. F. L., FERREIRA, L. R., SANTOS, B. F. S. Glyphosate em eucalipto: formas de contato e efeito do herbicida sobre a cultura. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**, p. 91-116, 2010.

ULBRICH, A., SOUZA, J., & SHANER, D. (2005). Persistence and Carryover Effect of Imazapic and Imazapyr in Brazilian Cropping Systems. **Weed Technology**, 19(4), 986-991. doi:10.1614/WT-04-208R2.1.

VALLE, M. L. A. DE CASTRO SILVA, J., DELLA LUCIA, R. M., EVANGELISTA, W. V. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 481-490, 2013.

VARGAS, L., SILVA, A. D., BORÉM, A., REZENDE, S. D., FERREIRA, F. A., e SEDYIAMA, T. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa, MG: 1999.

VERÍSSIMO, A.; UHL, C.; MATTOS, M.;BRANDING, Z.; VIEIRA, I. Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeira numa região de fronteira na Amazônia Oriental: o caso de Tailândia. In. BARROS, A.C.; VERiSSIMO, A. (Ed.). A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará. Belém: **IMAZON**, 1996. p.8-44.213.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. **Revista Árvore**, v. 9, n. 1, p. 10-27, 1985.

WEBSTER, C.R., JENKINS, M.A. e JOSE, S., Woody invaders and the challenges they pose to forest ecosystems in the eastern United States. **Journal of Forestry**, 104(7), pp.366-374. 2006.

WERNEBURG, M. A. P. **Planejamento em grandes empresas florestais no Brasil**. 93p. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG.

ZANUNCIO, A. J. V. LIMA, J. T., MONTEIRO, T. C., CARVALHO, A. G., TRUGILHO, P. F. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 353-360, 2013.

ZANUNCIO, A. J. V. LIMA, J. T., MONTEIRO, T. C., TRUGILHO, P. F., LIMA, F. S. Secagem ao Ar Livre da madeira para produção de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 401-408, 2014.

ZANUNCIO, A. J. V. CARVALHO, A. G., SILVA, E. M. G. C., MONTEIRO, T. C., LIMA, J. T., DA SILVA, J. R. M. Propriedades energéticas da madeira e carvão de *Corymbia* e *Eucalyptus* em diferentes condições de secagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, 2015.

ZILLER, S. R. Manejo adaptativo de espécies exóticas invasoras: colocando a teoria em prática. **Natureza & Conservação**, v. 5, p. 16-22, 2007.

ZIMDHAL, R.L. **Fundamentals of Weed Science**. 6a edição. San Diego, EUA: Academic Press, 1993. 450 p.