

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

WILLIAN MARTINS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE SECAGEM DA MADEIRA DE UM CLONE DE *Eucalyptus* sp.
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.**

MONTE CARMELO

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

WILLIAN MARTINS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE SECAGEM DA MADEIRA DE UM CLONE DE *Eucalyptus*
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanuncio

MONTE CARMELO

2021

WILLIAN MARTINS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE SECAGEM DA MADEIRA DE UM CLONE DE *Eucalyptus*
EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 02 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antonio José Vinha Zanuncio
Orientador

Prof. Dr. Jardel Boscardin
Membro da Banca

Dra. Olivia Pereira Lopes
Membro da Banca

MONTE CARMELO

2021

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Sequência de condução do experimento	12
Figura 2. Retirada do disco de madeira para determinação de umidade inicial.....	13
Figura 3. Gráfico com a curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento A.....	16
Figura 4. Gráfico com a curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento B.....	17
Figura 5. Gráfico com a curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento C.....	17
Figura 6. Gráfico com a curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento D.	18
Figura 7. Gráfico com a curva de secagem dos toretes da base dos diferentes espaçamentos A, B, C e D.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diâmetro das toras e altura comercial das árvores de *Eucalyptus* sp. (GG100).....14

Tabela 2. Umidade inicial das toras de *Eucalyptus* sp. (GG100).....15

Tabela 3. Taxa de secagem (%/dia).....19

RESUMO

O setor de florestas plantadas no Brasil é referência mundial em sustentabilidade, competitividade e inovação, sendo o maior produtor e conseqüentemente o maior consumidor de carvão vegetal, responsável por um terço da produção mundial. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do espaçamento em um plantio clonal do gênero *Eucalyptus* e seu impacto na secagem da madeira ao ar livre para produção de carvão vegetal. Para condução do experimento foi utilizado o clone GG100 fornecido por uma empresa do setor de siderurgia. Avaliou-se quatro diferentes espaçamentos: espaçamento A: 12 m²; espaçamento B: 9,3 m²; espaçamento C: 6,6 m² e espaçamento D: 3 m². Após o desbaste, as árvores amostradas foram seccionadas em toretes de um metro, coletando amostras de base, meio e topo. A metodologia utilizada para determinação da umidade da madeira foi a estabelecida pela NBR 14929 e com base nos dados obtidos pela perda de umidade ao longo do tempo foi determinada a taxa de secagem. Com os dados obtidos foi realizada a comparação entre os espaçamentos de plantio a partir das amostras de diferentes posições da árvore. Observou-se que os diâmetros se diferenciam entre os toretes da mesma árvore e no mesmo sentido para diferentes espaçamentos. Quanto maior o espaçamento entre plantas, maior o diâmetro da árvore, em todos os sentidos, da base ao ápice. A taxa de secagem é inversamente proporcional aos diâmetros, reduzindo à medida que os diâmetros aumentam. Nesse sentido, conclui-se que as toras provenientes de árvores menos adensadas apresentam maiores diâmetros e os valores de umidade final são maiores em toras de árvores mais adensadas. O empilhamento da madeira na secagem ao ar livre se justifica pela maior facilidade nos processos de secagem e carbonização quando o lote de madeira apresenta certa homogeneidade de diâmetro das toras.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2.1 Eucalipto	9
2.2 Secagem e movimentação de água na madeira	10
2.3 Espaçamento de plantio	10
2.4 Carvão vegetal	11
2. OBJETIVO	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Material Biológico	12
3.2 Secagem do material	12
3.3 Determinação de umidade da madeira	13
3.4 Determinação da taxa de secagem	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	21
6. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de árvores plantadas é referência em sustentabilidade, competitividade e inovação, com produtos florestais madeireiros e não madeireiros. O Brasil está entre os maiores e principais produtores de celulose, papel, carvão vegetal e painéis de madeira do mundo, contribuindo significativamente na balança comercial com elevado índice de exportação, gerando empregos e renda em todas as regiões do país (IBÁ, 2020).

Ainda, o Brasil é o maior produtor e, simultaneamente, o maior consumidor de carvão vegetal do mundo, respondendo por um terço da produção mundial (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2015). Uma das mais importantes matérias-primas para a indústria siderúrgica, o carvão vegetal teve aumento de 3,7% no consumo em 2020 quando comparado a 2019, chegando a 5,3 milhões de toneladas só no Brasil (IBÁ, 2020).

A produção de carvão vegetal e sua qualidade dependem da qualidade da madeira e demais variáveis do processo. Fatores como a temperatura, taxa de aquecimento, fluxo gasoso e pressão estão sob a influência do sistema e devem ser controlados (VIEIRA, 2013). Em relação a madeira e a qualidade da mesma, suas características físicas, químicas e anatômicas afetam diretamente a produção e qualidade do carvão vegetal (ZANUNCIO, 2013).

A secagem da madeira é uma das etapas mais importantes na produção de carvão vegetal, proporcionando vantagens como a redução do peso da madeira, custos de transporte, tempo de carbonização, emissão de gases poluentes e geração de finos de carvão (PINHEIRO, 2013). Em contrapartida, a secagem demanda elevados investimentos e um alto consumo de energia, aumentando os custos quando feito artificialmente. Entretanto, as indústrias que demandam dessa matéria-prima, principalmente em toras, procuram encontrar formas eficientes e mais viáveis economicamente de secar a madeira no menor espaço de tempo, visando maximizar o seu uso com rendimentos satisfatórios, visto que a madeira fica, em média, 150 dias no campo até atingir valores de umidade satisfatórios para a produção de carvão vegetal (OLIVEIRA, 2009).

O espaçamento de plantio deve ser definido com base no seu produto final. Segundo Leles et al. (1998), o espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a

produtividade das florestas, principalmente para as espécies de rápido crescimento. Em relação aos aspectos de crescimento vegetal, o espaçamento determina o tempo e a intensidade da competição pelos recursos entre as árvores, aumentando a competição entre as plantas quando os recursos disponíveis começam a diminuir (HARRINGTON et. al., 2009).

2.1 Eucalipto

O avanço do melhoramento genético, as boas práticas de manejo e as condições edafoclimáticas do Brasil aumentaram a produtividade desta cultura. Aliado a isso, tem-se o menor ciclo entre o plantio e colheita do mundo, variando entre finalidades adotadas para o uso da madeira, como energia, polpa celulósica, serraria, resinagem, construção civil, entre outros. Em 2019, a produtividade no Brasil foi em média de 35,3 m³ /ha ao ano nos plantios de eucalipto (IBÁ, 2020).

A escassez de madeiras nativas somada à uma busca de produção mais sustentável tem incentivado o uso de espécies de reflorestamento, sendo uma alternativa viável para suprir a demanda por produtos florestais. No Brasil, estes plantios são compostos pelos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, árvores de rápido crescimento, alta capacidade de adaptação às diversas regiões e pelo seu potencial econômico proporcionado pela utilização diversificada de sua madeira (SILVA, 2012).

O uso da madeira de eucalipto para a geração de energia no Brasil é historicamente relacionado à produção de carvão vegetal destinado ao setor siderúrgico.

Algumas características da madeira como a densidade básica, poder calorífico, constituição química e umidade são uma das principais características de seleção da madeira para a produção de carvão vegetal em atividade carvoeira. No processo de carbonização quando a madeira é submetida a ação de calor, ela sofre um processo de transformação, dentre os quais, seus componentes são modificados (GOMES; OLIVEIRA, 1982). Esse é um processo de decomposição térmica que a madeira sofre, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio, gerando um resíduo sólido, chamado carvão vegetal (WENZL, 1970). O processo, além do carvão, gera vapor d'água, líquidos orgânicos e gases não-condensáveis, ficando o carvão vegetal como resíduo sólido (Gomes;Oliveira, 1982). E cada faixa de temperatura no processo tem

influência na qualidade final do produto, sendo que a temperatura final tem grande influência na qualidade do carvão vegetal.

2.2 Secagem e movimentação de água na madeira

A água está presente em madeiras distintas e pode ser classificada em água livre, água de adsorção e água de constituição, esta água pode ser removida através da secagem (SIAU, 1971). O primeiro tipo possui fracas conexões com a madeira e está presente em maior quantidade, o que demanda pouca energia para a sua remoção, por isso, os primeiros dias de secagem são marcados pela rápida redução da umidade da madeira (SIAU, 1971, ZANUNCIO et al., 2016a; ZANUNCIO et al., 2016b). Quando a madeira atinge aproximadamente 30% de umidade na base seca, toda a água livre já foi removida, restando apenas a água de constituição e adsorção, este patamar é chamado de ponto de saturação das fibras ou umidade de saturação das fibras (KOLLMANN; COTÊ, 1968; ENGELUND et al., 2013). Por estar ligada a madeira por fortes ligações de hidrogênio, sua remoção demanda muita energia o que torna a perda de umidade demorada durante esta etapa. Por fim, sobra apenas a água de constituição que faz parte da estrutura do lenho, só podendo ser removida através da degradação da madeira (SIAU, 1971)

A água na madeira se movimenta em função do gradiente de umidade, sendo mais rápida no sentido longitudinal quando comparado com o transversal (REZENDE, 2009). Em toras de madeira, a superfície rolante é muito superior à superfície topo, fazendo com que a água se movimente em maior parte no sentido transversal, devido ao menor caminho a ser percorrido. Outros fatores também influenciam na movimentação da água, como a presença de extrativos no cerne, que faz com que a movimentação da água seja mais rápida no alburno. Madeiras com maior densidade em geral apresentam menos poros e maior espessura da parede celular, o que dificulta a movimentação da água (SIAU, 1971).

2.3 Espaçamento de plantio

A redução do espaçamento de plantio pode ser uma alternativa para reduzir o tempo de secagem. O adensamento das árvores aumenta a competição entre elas, produzindo toras de menor diâmetro, o que é compensado pelo maior número de árvores por hectare. Em toras de menores diâmetros, o caminho que irá ser percorrido pela água até a parte superficial da madeira é menor, facilitando a secagem da madeira e

favorecendo o processo de carbonização (REZENDE ET AL., 2010; ZANUNCIO ET AL., 2013A).

Em plantios mais adensados o custo de implantação da floresta tende a aumentar significativamente, sendo que é necessário um maior número de árvores por unidade de área. Além disso, como o retorno do investimento será em seis ou sete anos, este custo adicional será maximizado pelos juros ao longo desse período.

O aumento de custo irá interferir não só na implantação, mas também no processo de colheita florestal. Esta etapa representa mais de 50% do preço total da madeira (MACHADO; SILVA, 2000; PEREIRA et al., 2015). O custo da colheita está relacionado a uma série de variáveis, como o maquinário utilizado, declividade, tortuosidade do fuste e diâmetro das toras (Schettino et al., 2015; dos Santos et al., 2016). Portanto, os possíveis ganhos com a redução do espaçamento devem ser comparados com possíveis aumentos de despesas em outras operações florestais.

2.4 Carvão vegetal

A produção de carvão vegetal com a qualidade desejada depende tanto da condução do processo de carbonização que ele é produzido quanto da madeira utilizada. E o custo de produção de carvão vegetal pode representar entre 25 a 40% dos custos para produção de uma tonelada de ferro gusa, (RAAD, 2015). Na indústria siderúrgica, um dos problemas relacionado à utilização do carvão vegetal é sua alta variabilidade em qualidade, uma vez que o rendimento e a qualidade deste produto dependem da qualidade da madeira que lhe deu origem, do equipamento e das condições operacionais da carbonização (TRUGILHO et al., 2001; VIEIRA et al., 2013). Com essa grande variabilidade do produto acaba ocasionando grande desperdício de matéria-prima, dificultando a operação dos altos fornos e também dos fornos a arco submerso.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar como o espaçamento de plantio pode influenciar a secagem de madeira utilizada para produção de carvão vegetal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material Biológico

Foram selecionadas três árvores de *Eucalyptus* spp. para cada tratamento, com quatro espaçamentos diferentes, espaçamento A: 12m²; espaçamento B: 9,3m²; espaçamento C: 6,6m²; espaçamento D: 3m²; sendo todos do mesmo clone e instalados em sítio com características de clima e solo semelhantes. O material foi coletado no município de Três Marias-MG que apresenta uma altitude média de 527m, o clima, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões úmidos e invernos secos (EIDT, 1968), com temperatura média anual entre 19,8 e 25,3 °C e precipitação média anual variando de 1.200 a 1.500 mm (QUEIROZ et al. 1980).

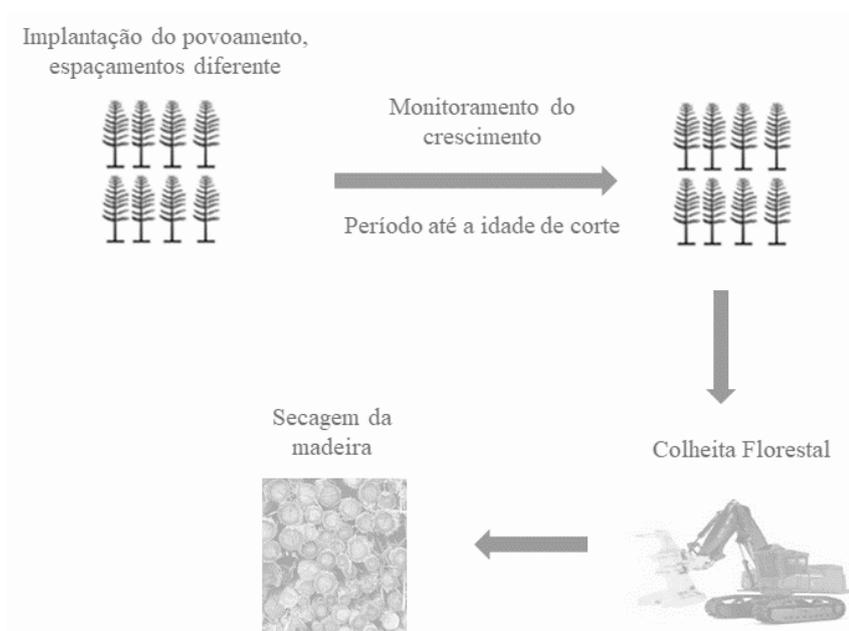


Figura 1. Sequência de condução do experimento.

3.2 Secagem do material

Três árvores foram selecionadas por tratamento. Para cada indivíduo, foram retirados toretes de 1,1 metros da base, 50 e 100% da altura comercial realizando a medição dos diâmetros dos toretes com uma fita métrica. Um disco de cinco 5 cm de espessura foi retirado de cada extremidade dos toretes. Feito isso, a umidade destes discos foi determinada e a média foi inferida como a umidade inicial da tora que deu origem aos mesmos (Figura 2).

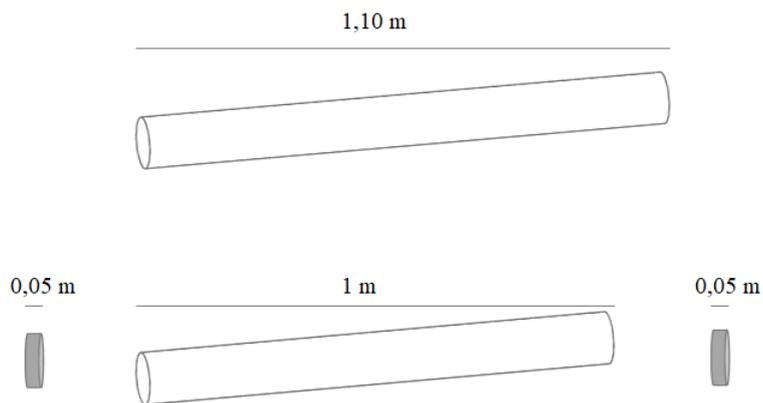


Figura 2. Retirada do disco de madeira para determinação de umidade inicial.

O processo de secagem da madeira ao ar livre, foi avaliado em 50 dias. Como a perda de umidade é mais acentuada nos primeiros dias, foi avaliado a pesagem diariamente durante os 20 dias seguintes e com o passar do tempo tendo uma maior estabilidade entre as pesagens, definimos que no decorrer dos dias seguintes que a pesagem fosse realizada em um intervalo de três dias.

3.3 Determinação de umidade da madeira

Para determinação da umidade da madeira o método mais utilizado é o estabelecido pela norma da NBR 14929 (ABNT, 2003) conforme a fórmula abaixo. Por ser um material heterogêneo, a madeira pode apresentar diferentes teores de umidade na mesma tora e, se não houver uma coleta suficientemente representativa das amostras, os resultados podem ser estimados de maneira imprecisa. Assim, foi coletado amostras da base, meio e topo da árvore.

$$U_{bs} = \frac{Mu - Ms}{Mu} * 100$$

Onde:

U_{bs} = Umidade na base seca (%);

Mu = massa úmida (inicial) da amostra (g);

Ms = massa seca (final) da amostra (g).

3.4 Determinação da taxa de secagem

Com base nos dados obtidos pela perda de umidade ao longo do tempo foi determinada a taxa de secagem para madeira de eucalipto, conforme a equação abaixo:

$$Ts = \left(\frac{Pu}{D}\right)$$

Sendo que:

Ts: Taxa de secagem (%/dia);

Pu: Perda de umidade com base na massa seca (%);

D: Período de secagem (dias).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis dendrométricas das árvores e toretes amostrados, observou-se uma variação da altura comercial das árvores de *Eucalyptus* entre 15,3 e 21,1 m. O diâmetro das toras da base variou de 8,08 a 15,56 cm, ao passo que os diâmetros das toras do meio ficaram compreendidos entre 6,20 e 10,63 cm e os diâmetros das toras do topo apresentaram valores entre 3,46 a 4,39 cm. Os valores médios das alturas comerciais e dos diâmetros dos toretes estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Diâmetro das toras e altura comercial das árvores de *Eucalyptus* (GG100)

Espaçamento	Diâmetro da base (cm)	diâmetro do meio (cm)	diâmetro do topo (cm)	Altura das árvores (m)
A	14,5	9,79	4,06	15,3
B	14,06	9,54	3,89	18,4
C	13,52	8,65	3,72	19,6
D	10,18	7,08	3,69	21,1

Espaçamentos: A: 12m²; B 9,3m²; C: 6,6m²; D: 3m²

Estudos que levam em consideração o diâmetro a altura do peito (DAP) mostram que o espaçamento de plantio influencia diretamente no incremento da árvore, e mesmo em plantas jovens, a concorrência entre elas, com o espaçamento reduzido, afeta o DAP (LOPES et al., 2017). Ferreira et al. (2014), avaliando o incremento em DAP de um clone híbrido de eucalipto conduzido em diferentes espaçamentos, evidenciaram que os

espaçamentos maiores proporcionaram os maiores valores dessa variável, devido a menor competição entre árvores, facilitando o desenvolvimento foliar e um maior incremento de madeira. Segundo Stape et al. (2010), em espaçamentos mais adensados a proximidade dos sistemas radiculares aumenta representativamente a competição por água, afetando assim o crescimento diamétrico das plantas.

Pensando na relação do diâmetro e o processo de secagem, Oliveira (2015) afirma que o diâmetro da tora influencia diretamente na secagem natural da madeira, por conta da distância a ser percorrida pelas moléculas de água do interior para a superfície da madeira.

Para as espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* os valores de umidade inicial no sentido longitudinal encontrados na literatura variam entre 59,6 a 159% (REZENDE et al., 2010). Nas amostras coletadas, a umidade final variou de 73 a 93% nos toretes da base; 97 a 102% nos toretes do meio e 125 a 143% nos toretes do topo (Tabela 2). Todos os espaçamentos apresentaram uma menor umidade nos toretes da base.

Tabela 2. Umidade inicial das toras de *Eucalyptus* (GG100).

Espaçamento	Diâmetro da base (cm)	diâmetro do meio (cm)	diâmetro do topo (cm)
A	93%	100%	134%
B	82%	102%	128%
C	73%	97%	143%
D	90%	109%	125%

Espaçamentos: A: 12m²; B 9,3m²; C: 6,6m²; D: 3m²

Características como o diâmetro e a densidade básica podem variar ao longo da árvore, e fatores como o tempo de pesagem dos toretes após o seccionamento e presença de casca interferem na precisão da determinação da umidade inicial. Para minimizar esses fatores a pesagem dos toretes foi logo após o seccionamento da árvore. A umidade final do clone de *Eucalyptus* variou entre os diferentes tipos de espaçamentos. No espaçamento A foi observada uma variação de umidade de 39,93% a 14,98%, no espaçamento B os valores foram de 33,39% a 15,27%, no espaçamento C de 25,41% à 17,29% e, por fim, no espaçamento D a umidade variou de 18,88% a 14,98%. Nos 4 diferentes espaçamentos avaliados foi observado uma maior umidade final nos toretes de base em relação aos de topo, além de um maior teor de umidade final nos de maiores espaçamento quando comparados aos provenientes de plantios mais adensados. Os resultados encontrados para a relação do Teor de umidade e o tempo de secagem são apresentados a seguir. A

porcentagem de umidade do espaçamento A, descrito na figura 3, é a maior dentre os avaliados. A umidade final nos toretes de base desse mesmo espaçamento obteve uma média 39,93%, enquanto os toretes de meio apresentaram média de 21,41% e o toretes de topo, com menor umidade, de 14,98%.

Pode se observar na Figura 3 que os toretes tem uma perda de umidade abrupta nos dias iniciais. A partir do 5º dia o toretes da base com maiores diâmetros têm perda de umidade mais lenta que os demais, chegando ao 50º dia com umidades maiores, isso acontece por que a tora recém abatida possui grande quantidade de água livre, sendo mais rápido a perca de umidade nos cinco primeiros dias, se estabilizando quando mais próximo ao ponto de saturação das fibras no final do período de secagem.

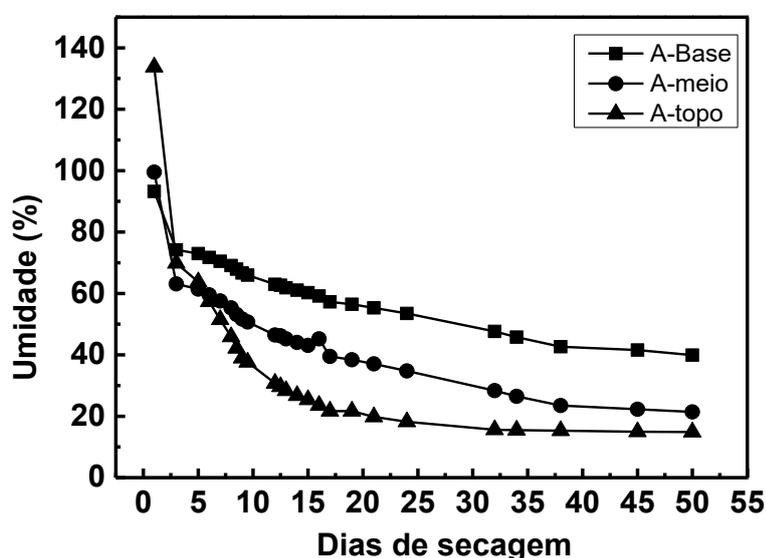


Figura 3. Curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento A

Na Figura 4 tem-se descrito o comportamento da curva de secagem dos toretes provenientes do espaçamento B. A umidade final nos toretes de base obteve uma média de 33,39%, os toretes de meio com 20,23% e os toretes de topo, com menor umidade, de 15,27%. Com espaçamento menor que ao anterior avaliado, observa-se que as árvores com diâmetros menores ainda apresentam uma queda abrupta de umidade nos cinco primeiros dias, e com umidade do torete da base maior que os demais nos últimos dias de secagem.

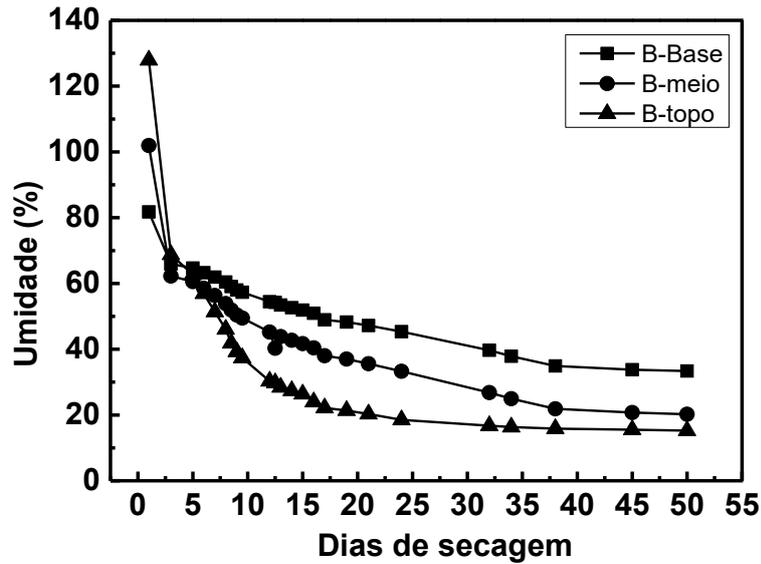


Figura 4. Curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento B

Analisando os valores obtidos para o espaçamento C, descrito na Figura 5, tem-se que a umidade final nos toretes de base obteve uma média 25,41%, toretes de meio com 17,62% e o toretes de topo com umidade de 17,29%.

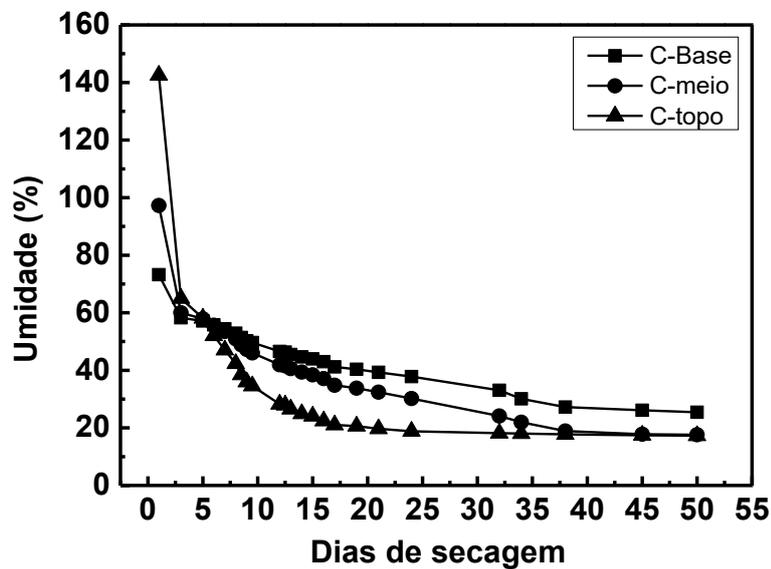


Figura 5. Curva de secagem ao ar livre dos toretes da base, meio e topo do Espaçamento C

Avaliando o espaçamento D, descrito na Figura 6, , é possível observar comportamento semelhante aos demais espaçamentos avaliados, com a umidade final nos

toretos de base com maior média, nesse caso de 18,88%, os toretos de meio com 17,16% e o toretos de topo, com menor umidade, de 14,98%.

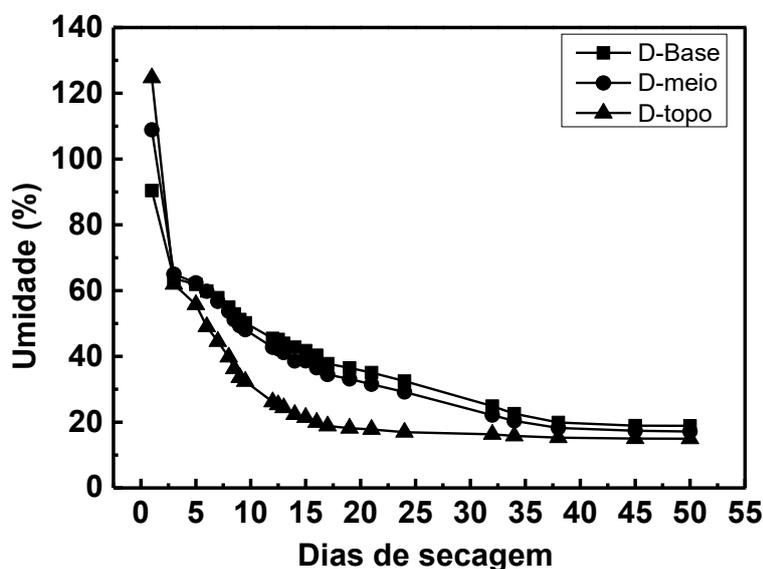


Figura 6. Curva de secagem ao ar livre dos toretos da base, meio e topo do Espaçamento D

Dentre os espaçamentos avaliados o que obtivemos menores diâmetros foi os C e D uma perda de umidade inicial compatíveis aos anteriores. Fica evidente, em todos os tratamentos avaliados, uma perda significativa de umidade nos cinco primeiros dias iniciais. A vantagem que observamos em variáveis com menores espaçamentos e consequentemente árvores com menores diâmetros é a pequena variação de umidade nos últimos dia de secagem, que favorece ainda mais o processo na carbonização de madeiras com porcentagem de umidades semelhantes.

Podemos observar que os efeitos do diâmetro são correlacionados com o tempo de secagem da madeira. Efeito este na secagem da madeira em tora de *Eucalyptus* também foi verificado por diversos autores (VITAL et al., 1985; REZENDE et al., 2010; PINHEIRO, 2013; ZANUNCIO ET AL., 2013ab), que concluíram que os toretos com menores diâmetros apresentavam menores teores de umidade em relação aos de maiores diâmetros quando dispostos a secagem ao livre.

As toras recém abatidas tendem a perder uma grande quantidade de água nos primeiros dias, que é a água livre presente nos espaços vazios da madeira, tendo um aumento na taxa de secagem nesses primeiros dias, o valor dessa taxa tendeu a se

estabilizar ao final do período de secagem. A perda de água se dá pela parte superficial da madeira, em toretes de topo com menores diâmetros, a distância a ser percorrida pela água é menor, fazendo com que estas toras apresentassem maior taxa de secagem, o que pode ser observado na (Tabela 3).

Tabela 3. Taxa de secagem (%/dia)

Espaçamento	Taxa de secagem base	Taxa de secagem meio	Taxa de secagem topo
A	0,38	0,66	1,20
B	0,70	1,18	1,63
C	0,69	1,15	1,81
D	1,04	1,33	1,59

Espaçamentos: A: 3,75m²; B 1,5m²; C: 1,05m²; D: 0,6m²

Segundo Vital et al., (1985), a distância a ser percorrida pela água no interior da madeira para sua superfície está relacionado com o diâmetro das toras. Quanto maior o espaçamento conseqüentemente maior será a classe de diâmetro, e menor será a taxa de secagem como pode ser observado na Tabela 3. O espaçamento A, de 3,75m², obteve menores taxas de secagem (de 0,38 à 1,20% desde a base até o topo) quando comparado com os demais espaçamentos. E isso ocorreu com o espaçamento B em relação ao C e ao D: quanto menor foi o espaçamento, maior foi a taxa de secagem. Pode ser acarretado devido ao tamanho do diâmetro dos vasos e espessuras das fibras presentes na madeira.

Os vasos nas folhosas são responsáveis pela condução de seiva bruta no caule, um alto volume desses constituintes fazem com que a secagem da madeira seja mais rápida (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

As fibras, células especializadas na sustentação e que ocupam grande parte do material lenhoso possuem espessa parede celular e pontuações pequenas ou até ausentes, com isso uma alta concentração de fibras acarreta na diminuição da taxa de secagem (SIAU, 1971).

Verificou-se que em todos os espaçamentos, os toretes do topo com menores diâmetros chegaram a porcentagens de umidade abaixo de 30% em um período de tempo menor que as toras do meio e da base. Isso se dá porque a água na madeira se movimenta em função de um gradiente de umidade. Movimento que ocorre em todos os sentidos no caule, contudo o movimento no sentido longitudinal é mais rápido que no transversal e o radial é mais rápido que no sentido tangencial (SIAU, 1971).

Nos espaçamentos C e D obtivemos toretes com menores diâmetros onde os mesmos atingem o ponto de saturação das fibras (PSF) em um tempo menor e com uma

porcentagem mais baixa de umidade de 20 a 30% até se estabilizarem e perderam toda a água livre presente na madeira. Toretos obtidos dos espaçamentos A e B tendem a ter maiores diâmetros dificultando a saída de água, principalmente em toretos da base que começam a se estabilizar entre 30 a 40% de umidade, dificultando a perda de água livre.

Segundo Magalhães (2020), clones de *Eucalyptus* cultivados em espaçamentos maiores proporcionaram maiores valores de densidade básica, enquanto os espaçamentos adensados, as menores densidades. E toras com baixa densidade apresentam maior taxa de secagem, pois a água livre é mais fácil de ser removida (MILOTA, 2011). Isso explica a tendência dos toretos dos espaçamentos C e D, com menores diâmetros, tendem a perder umidade mais rápido devido a sua menor densidade e menores diâmetros, com mais espaços vazios na madeira facilitando a perda de água. E nos espaçamentos A e B toretos da base que tem maiores diâmetros, tendem a ter maiores valores de densidade, com maior espessura de parede celular e menos espaços vazios dificultando a perda de umidade e aumentando o teor de água presente na parede celular.

Quando observado apenas toretos da base (Figura 7), podemos identificar que madeiras com maiores espaçamentos e conseqüentemente maiores diâmetros tendem a uma menor perda de umidade em relação aos toretos de menores espaçamentos. Segundo Santos et al. (2012) existe uma tendência das toras da base apresentarem maiores teores de umidade em relação às toras localizadas no topo, pelo fato do topo apresentar condições ambientais, incidência solar e circulação de ar favoráveis a secagem natural da madeira.

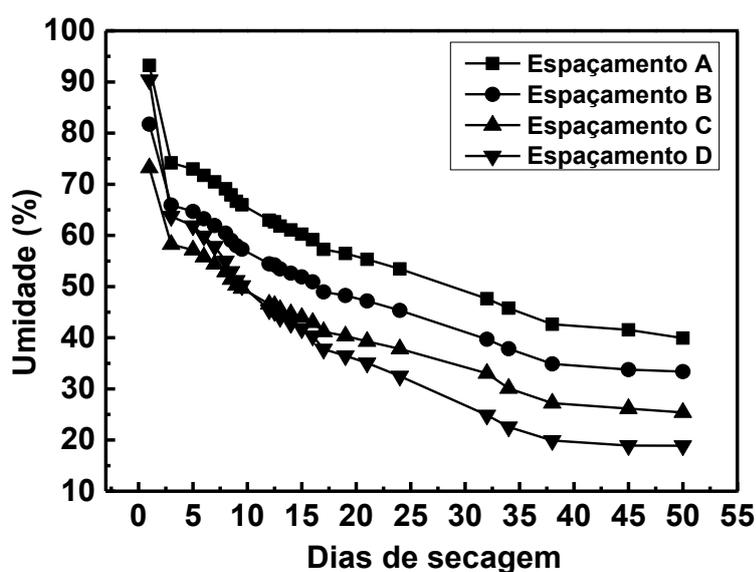


Figura 7. Curva de secagem dos toretos da base dos diferentes espaçamentos A, B, C e D.

5. CONCLUSÕES

Toras provenientes de plantios com maiores espaçamentos apresentam maiores diâmetros, e valores de umidade final maiores em relação a toras provenientes de plantios com espaçamentos menores e conseqüentemente menores diâmetros e umidade final. Toras com menores diâmetros apresentam maior taxa de secagem em relação a toras com maiores diâmetros e menores taxas de secagem.

A homogeneidade na classificação de diâmetros dos toretes é a melhor condição para o empilhamento da madeira para secagem ao ar livre, pois, conforme analisado neste estudo, toretes da base apresentam menores taxas de secagem e toretes do meio e topo da árvore tendem a apresentar maiores taxas de secagem. Quando maior a semelhança da umidade da madeira entre os toretes, conseqüentemente facilitará no processo de carbonização.

É recomendado que as toras em campo sejam dispostas separadamente em classes diamétricas para se obter uma maior homogeneidade dos teores de umidade, facilitando o planejamento florestal.

6. REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. PERFIL DO FERRO-GUSA. Relatório Técnico 59. **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIAMME**. 58p, 2009.

DOS SANTOS, Rosimeire Cavalcante et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

DOS SANTOS, Rosimeire Cavalcante et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

EIDT, R.C. 1968. **The climatology of South America. In Biogeography and ecology in South America** (E.J. Fittkau, J. Illies, H. Klinge, G.H. Schwabe & H. Sioli, eds.). W. Junk Publishing, The Hague, v.1, p.54-81.

ENGELUND, E.T.; THYGESEN, L.G.; SVENSSON, S.; HILL, C.A.S. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Sci Technol** v.47,n.1, p.141–161, 2013.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. dos S.; MACHADO, E. C.; ABREU, A. H. M. de; ABILIO, F. M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta, Curitiba**, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. Teoria da Carbonização da Madeira. In: Uso da Madeira para Fins Energéticos. Belo Horizonte: **Fundo Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC**, 1982. p.27-42. (Série publicações técnicas, 1.)

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 18–25, 2009.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). (2020). **Relatório Anual 2020**. Recuperado de: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>.

KOLLMANN, F. F. P., CÔTE, W. A. Principles of wood science. I. Solid wood. Berlin: **Springer-Verlog**, 1968.

LELES, P. S. S.dos; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LOPES, EMERSON DELANO et al. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 95-104, 2017.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v.6, n.2, p.124-129, 2000.

MAGALHÃES, LIVIA GABRIELA SOUZA et al. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 19435-19445, 2020.

OLIVEIRA, L. T.; ALMEIDA, M. R. Avaliação do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.) Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: **CETEC**, 1980. p. 43-53.

OLIVEIRA, R. L. M. et al. **Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal**. 2009.

PEREIRA, A.L.N.; LOPES, E.L.; DIAS, A.N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015.

PINHEIRO, M. A. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 2013. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

PINHEIRO, Márcia Aparecida et al. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 2013.

QUEIROZ, R., SOUZA, A.G., SANTANA, P., ANTUNES, F.Z. & FONTES, M. 1980. **Zoneamento Agroclimático do Estado de Minas Gerais**. Secretaria da Agricultura, Belo Horizonte.

Raad. T. J. **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil**: subsídios para revisão do Plano Siderurgia, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015 Brasília.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T. PAULA, L. E. R.; FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. 2010. **Cerne**, Lavras, v.16, Suplemento, p. 41-47, 2010.

Rezende, R. N.; Lima, J. T.; Silva, J. R. M.; Napoli, A.; Andrade, H. B.; Faria, A. L. R. Air drying of logs from *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 565-572, 2010.

REZENDE, RAPHAEL NOGUEIRA. **Secagem de Toras de Clones de Eucalyptus Empregados na Produção de Carvão**. Diss. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciências e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, J. R. S.; ROCHA, L. C. S.; FONSECA, A. C. L.; ANDRADE, H. B. Estudo do efeito do empilhamento na secagem natural da madeira. In: Fórum Brasil sobre Biomassa e Energia, 1., 2012, **Viçosa. Anais...** Viçosa: UFV, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/>. Acessado em 15 de out. 2015.

SCHETTINO, S.; MINETTE, L.J.; SOUZA, A.P. Correlação entre volumetria de florestas de eucalipto e produtividade e custos de máquinas de colheita de madeira. **Revista Árvore**, v.39, n.5, p.935-942, 2015.

SIAU, J. F. Flow in wood. Syracuse: **Syracuse University Press**, 1971. 131 p.

SIAU, J. F. Flow in wood. Syracuse: **Syracuse University Press**, 1971. 245 p.

SILVA, MARCIO ROGÉRIO DA. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de Eucalipto citriodora e Pinus taeda**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R. A.; LOOS; R. A. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

Trugilho PF, Lima JT, Mori FA, Lino AL. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Cerne** 2001; 7(2): 104-114.

VIEIRA, Renato da Silva et al. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de Eucalyptus microcorys. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 59-64, 2013.

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, s/n, p.10-27, 1985.

WENZL, H. F. J. The chemical technology of wood. New York: **Academic Press**, 1970. 692 p.

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

ZANUNCIO, A.J.V.; CARVALHO, A.G.; DA SILVA, L.F.; CARNEIRO, A.C.O.; COLODETTE, J.L. Artificial neural networks as a new tool for assessing and monitoring wood moisture content. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.3, p.543-549, 2016b.

ZANUNCIO, A.J.V.; CARVALHO, A.G.; DAMÁSIO, R.A.P.; DE OLIVEIRA, B.S.; OLIVEIRA, A.C.O.; COLODETTE, J.L. Relationship between the anatomy and drying in Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla wood. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.4, p.723-729, 2016a.

ZANUNCIO, ANTÔNIO JOSÉ VINHA. INFLUÊNCIA DA SECAGEM DA MADEIRA DE Eucalyptus E Corymbia NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CARVÃO. 2013. 12 f. **Tese (mestrado)** – Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.