

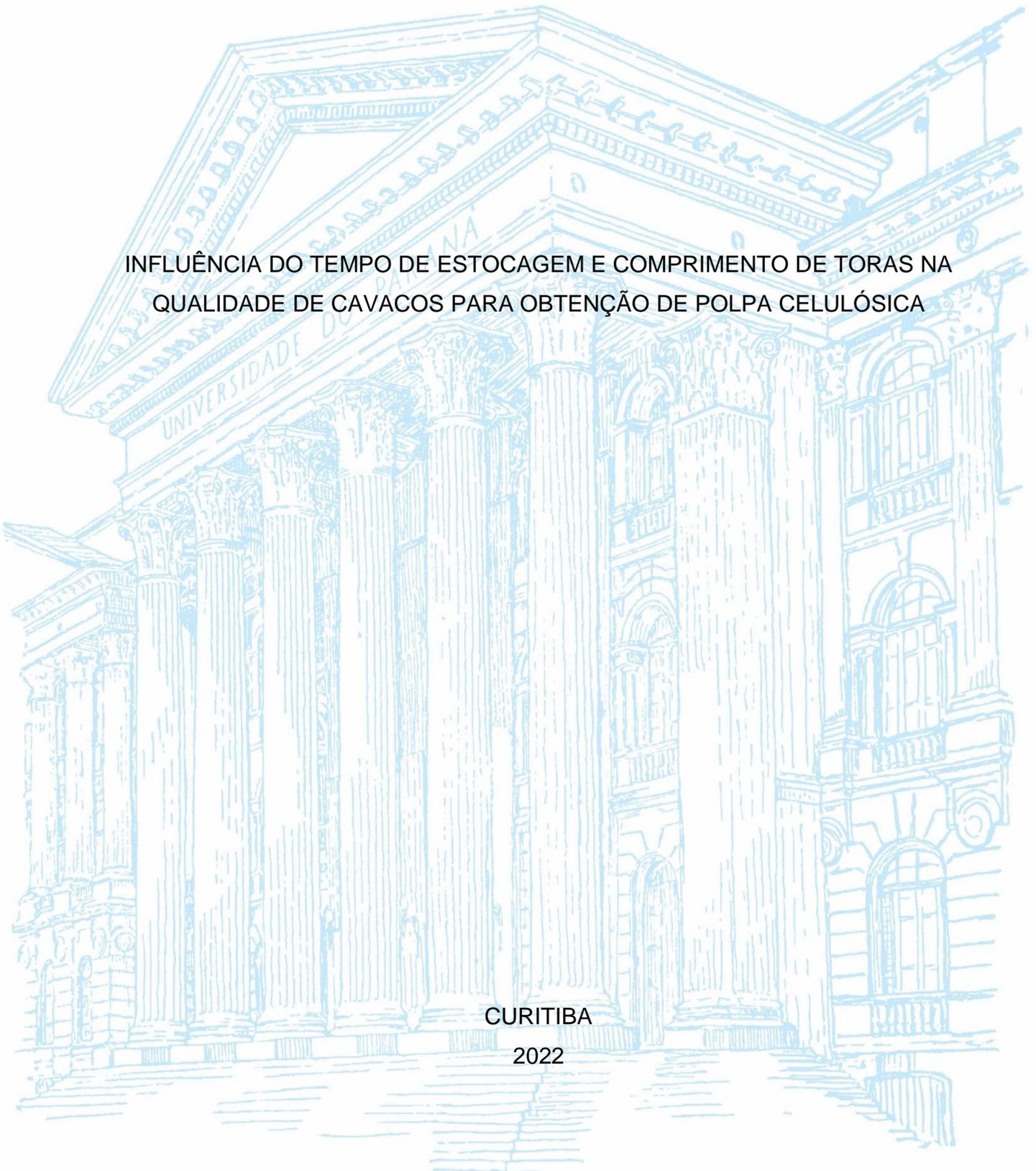
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIELA JONCH SILVEIRA

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ESTOCAGEM E COMPRIMENTO DE TORAS NA  
QUALIDADE DE CAVACOS PARA OBTENÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

CURITIBA

2022



DANIELA JONCH SILVEIRA

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ESTOCAGEM E COMPRIMENTO DE TORAS NA  
QUALIDADE DE CAVACOS PARA OBTENÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro

CURITIBA

2022

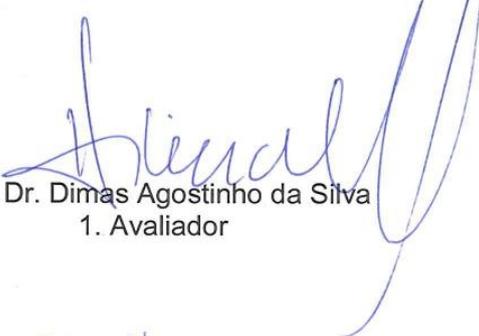


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

## PARECER

Defesa nº 306

A Banca Examinadora, instituída pelo Colegiado do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir **Daniela Jonch Silveira** em relação ao seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Influência do tempo de estocagem e comprimento de toras na qualidade de cavacos produzidos para celulose**, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** na Disciplina ENGF010 - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, condicionada a entrega da versão final corrigida.



Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva  
1. Avaliador



Eng.ª Aline Durigan  
2. Avaliadora



Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro  
Orientador - Presidente da Banca

Curitiba, 15 de setembro de 2022.



Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari  
Vice-Coordenador do Curso de Engenharia Florestal em exercício

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à minha família, que mesmo não estando perto de mim sempre me apoia em qualquer situação. Aos meus pais, pois a força que vocês sempre demonstraram ao me criar me inspirou a permanecer calma e tomar decisões difíceis. À minha irmã, pois apesar de nunca serem muitos longas, nossas conversas sempre me animam, e seus conselhos e palavras muitas vezes me confortaram. Ir embora após um final de semana em casa sempre causou um aperto no meu coração, e uma parte de mim está a todo momento com vocês.

Aos meus amigos de faculdade Erika, Felipe, Gabriel, Hillana, Jerrard, Laura, Larissa, Mirella, e Thaglis, por terem estado ao meu lado todos os dias durante esta etapa tão importante da vida. Foram estes amigos que durante a faculdade conviveram mais tempo comigo do que minha própria família, e este convívio formou laços que nem a distância nem a falta de contato constante podem quebrar. Pois vocês tornaram momentos comuns no CA, no Pedrão, no Herbário, no RU, no capão, nas aulas e em todos os outros lugares em que passamos, momentos felizes dos quais sempre vou lembrar.

Aos meus amigos de estágio, Ana Carolina, Ana Maria, Camila, Emanuel, Guilherme, Rafael, Rafaela, Valesca, Vinícius e Tawane por tornarem minha estadia na pacata Três Barras uma experiência incrível, e por aliviarem dias estressantes de trabalho ao estarem comigo para tomar uma cervejinha no Getúlio, almoçar no refeitório da fábrica, visitar o museu da cidade, ou simplesmente por compartilharem um momento de descontração nos banquinhos do Reco.

Por fim, aos meus colegas de trabalho Aline Durigan, Ivan Sgarbiero, José Roberto Padilha, e todos os operadores do Pátio de Madeira, que ajudaram a formar a profissional que sou hoje e me prepararam, cada um a seu jeito, para o mercado de trabalho, que será a próxima etapa desta jornada. Admiro imensamente cada um de vocês e agradeço por todo o aprendizado que adquiri durante meu estágio.

*Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado.*

Gandalf no primeiro livro da saga Senhor dos Anéis, a Sociedade do Anel,  
de J. R. R. Tolkien.

## RESUMO

A distribuição de tamanho de cavacos é importante na polpação *Kraft* pois afeta o uso de produtos químicos, a qualidade e o rendimento na produção da polpa. Neste sentido, cavacos de boa qualidade para polpação são aqueles com tamanhos uniformes. Sabe-se que tantos fatores relacionados à matéria prima quanto parâmetros definidos de picagem influenciam na qualidade de cavacos produzidos. Este estudo investigou a influência de dois períodos de estocagem (0 e 2 semanas) e dois comprimentos de toras (2,4 e 7,0 m) no teor de umidade e na distribuição de tamanhos dos cavacos produzidos a partir do processamento de toras de *Pinus taeda* em uma empresa de celulose e papel *Kraft*. Não foram observadas interações significativas entre período de estocagem e comprimento de toras para nenhuma das variáveis analisadas. Toras estocadas por duas semanas produziram cavacos com 7% menos umidade do que toras sem período de estocagem. O período de estocagem influenciou significativamente as quantidades de *Overthick*, Aceite, Pin e Finos produzidas. Toras estocadas por duas semanas produziram 1,7% mais *Overhick*, 3,8% mais Pin e 1,1% mais Finos do que toras sem período de estocagem. Conseqüentemente, a quantidade de Aceite produzida foi 6,2% maior para cavacos provenientes do processamento de toras recém-colhidas. O comprimento de toras influenciou nas quantidades produzidas de *Oversize*, *Overthick* e Aceite. Toras com comprimento de 2,4 m produziram cavacos com 1,4% mais *Oversize* e 2,5% mais *Overthick*, e 4,6% menos Aceite em comparação com toras de 7,0 m. Assim, conclui-se que toras com menor período de estocagem e maior comprimento geram maior quantidade de cavacos na classe Aceite, que é a mais desejável para fins de produção de polpa celulósica.

Palavras-chave: Qualidade de cavacos, Pinus, Período de estocagem de toras, Comprimento de toras, Tamanho de cavacos.

## ABSTRACT

Chip size distribution is important in Kraft pulping as it affects chemical use, quality and yield in pulp production. In this sense, good quality chips for pulping are those with uniform sizes. Both factors related to the raw material as defined parameters of chipping influence the quality of chips produced. This study investigated the influence of two storage periods (0 and 2 weeks) and two log lengths (2.4 and 7.0 m) on the moisture content and size distribution of the chips produced from the processing of Pine logs in a Kraft pulp and paper company. No significant interactions were observed between storage period and log length for any of the variables analyzed. Logs stored for two weeks produced chips with 7% less moisture content than logs without a storage period. The storage period significantly influenced the amount of Overthick, Accept, Pin and Fines produced. Logs stored for two weeks produced 1.7% more Overthick, 3.8% more Pin and 1.1% more Fines than logs without a storage period. Consequently, the amount of Accept produced was 6.2% higher for chips from the processing of freshly harvested logs. The length of logs influenced the quantities of Oversize, Overthick and Accept produced. Logs with a length of 2.4 m produced chips with 1.4% more Oversize and 2.5% more Overthick, and 4.6% less Accept compared to 7.0 m logs. Thus, it is concluded that logs with a shorter storage period and longer length generate a greater amount of chips in the Accept class, which is the most desirable for pulp production purposes.

Keywords: Chip quality, Pine tree, Log storage period, Log length, Chip size.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PICADOR DE ALIMENTAÇÃO HORIZONTAL.....	21
FIGURA 2 - CLASSIFICADOR DE CAVACOS .....	28
FIGURA 3 - CONFORMAÇÃO DA SEGUNDA BANDEJA DO CLASSIFICADOR....	28
FIGURA 4 - MÉDIAS DE UMIDADE DE CAVACOS PARA PERÍODOS DE ESTOCAGEM DE TORAS .....	32
FIGURA 5 - MÉDIAS DE UMIDADE DE CAVACOS PARA COMPRIMENTOS DE TORA .....	32
FIGURA 6 - PORCENTAGENS MÉDIAS E VARIAÇÃO DE OVERTHICK PRODUZIDOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE ESTOCAGEM DE TORAS.....	36
FIGURA 7 - PORCENTAGENS MÉDIAS E VARIAÇÃO DE OVERTHICK PRODUZIDOS PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TORAS .....	37
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS DE CAVACOS PARA CADA TRATAMENTO .....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS DE PICAGEM.....	26
TABELA 2 - ESQUEMA DE TRATAMENTOS ADOTADOS.....	26
TABELA 3 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA UMIDADE DOS CAVACOS.....	31
TABELA 4 - MÉDIAS DE UMIDADE PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	33
TABELA 5 - VALORES F DA ANOVA PARA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS DE CAVACOS.....	34
TABELA 6 - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE ESTOCAGEM .....	34
TABELA 7 - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES COMPRIMENTOS .....	35
TABELA 8 - PORCENTAGENS MÉDIAS DE CADA CLASSE E CAVACOS PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS .....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 Objetivo geral .....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1 QUALIDADE DO CAVACO .....	18
2.2 INFLUÊNCIA DO CAVACO NO PROCESSO DE POLPAÇÃO .....	19
2.3 PRODUÇÃO DE CAVACOS E TIPOS DE PICADORES DE MADEIRA .....	19
2.4 QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA .....	21
2.4.1 Comprimento da Madeira .....	21
2.4.2 Tempo de Estocagem .....	22
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 MATERIAL .....	25
3.2 TRATAMENTOS .....	26
3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS CAVACOS .....	26
3.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE CAVACOS.....	29
3.5 ESTATÍSTICAS.....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
4.1 UMIDADE DE CAVACOS .....	31
4.2 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE CAVACOS .....	34
4.2.1 Overzise .....	35
4.2.2 Overthick .....	36
4.2.3 Pin e Finos .....	38
4.2.4 Aceite .....	39
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Setor de Florestas Plantadas no Brasil alcançou em 2020 a marca de 9,55 milhões de hectares para cultivos industriais, com um valor da produção estimada de R\$ 116,6 bilhões, representando um crescimento de 17,6% em relação a 2019 (IBÁ, 2021). Em um ano marcado por mudanças de estilo de vida e consumo, o aumento da demanda por bens essenciais, de *delivery* e o rápido desenvolvimento do *e-commerce* proporcionaram aumento de 0,3% da produção de papel para embalagem, apesar dos fortes impactos sentidos em outros segmentos. Isso demonstra que a produção de celulose para exportação e papel para embalagens foi importante para a manutenção do setor de florestas plantadas, e permanece sendo, considerando-se as mudanças no estilo de vida e hábitos dos brasileiros após este período (IBÁ, 2021).

O tamanho e a qualidade dos cavacos de madeira têm implicações importantes no processo de produção de polpa celulósica, bem como nas propriedades da polpa, na indústria de papel *kraft*. Isto porque tempos de penetração, quantidade de químicos, rendimento e uniformidade da polpa variam em relação ao tamanho, espessura e uniformidade do cavaco. Portanto, é importante que o produto tenha um tamanho adequado, e, principalmente, formato homogêneo, para que se possa obter melhores resultados na transformação de madeira em polpa celulósica.

A qualidade da madeira está relacionada com sua utilização, podendo ser definida como a combinação de características anatômicas, físicas e químicas, da árvore ou de seus produtos, que levam a um máximo de aproveitamento e uma melhor utilização para determinado fim (TRUGILHO et al., 2005). Portanto, para os propósitos deste estudo, a qualidade de cavacos refere-se à distribuição de seus tamanhos, ou seja, porcentagem de cavacos grandes (*overs*), cavacos espessos (*overthick*), cavacos aceites (*large accept* e *small accept*), pinos (*pin*), e finos. Cavacos muito grandes ou muito pequenos são classificados na linha de produção e separados para utilização como biomassa, o que pode ser considerado como rejeito da linha. Cavacos muito espessos não são separados na classificação, e afetam a qualidade da polpa.

O processo de transformação industrial da madeira em cavacos é realizado no departamento do pátio de madeira a partir de um conjunto de equipamentos, com alimentação do sistema sendo feita com materiais de diferentes características. O processo de picagem em indústrias de celulose no Brasil muitas vezes é realizado por

picadores de discos, e durante o processamento é comum a ocorrência de variações no tamanho dos cavacos. Entretanto, variações muito grandes podem ser minimizadas através das configurações de corte e da alimentação com matéria prima adequada. Assim, a qualidade do cavaco é afetada tanto por características da matéria prima (toras) quanto pelas características do processamento em si, ou seja, parâmetros definidos de picagem.

Considerando-se a importância da qualidade de cavacos para polpação em indústrias *Kraft*, que fazem parte de um setor produtivo cada vez mais forte no âmbito nacional e internacional, é de grande relevância a realização de estudos que demonstrem fatores que afetam este parâmetro. Para isso, pode-se realizar análises laboratoriais classificatórias para tamanho de cavacos, com o objetivo de analisar como variações nas características da matéria prima (tora) que alimentam a linha de produção influenciam na qualidade do produto.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do tempo de estocagem e comprimento de toras da espécie *Pinus taeda*, na qualidade (i.e. classificação granulométrica) de cavacos para produção de celulose.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Classificar a dimensão dos cavacos gerados a partir do processamento de toras curtas e longas, bem como em diferentes condições de tempo de armazenamento das toras no pátio da indústria;
- Analisar qual combinação de características proporciona cavacos com maior quantidade de aceite e menores quantidades de *overs*, *pins* e finos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 QUALIDADE DO CAVACO

BJURULF (2006) menciona algumas características de cavacos que podem ser utilizadas para definir sua qualidade, como: umidade; quantidade de casca; dimensão; descoloração e presença de contaminantes.

No geral, há um consenso de que uma uniformidade de tamanho e geometria em cavacos de madeira é desejável para o processamento consecutivo de polpação, sendo este um importante indicador da qualidade dos cavacos em indústrias de celulose.

Os cavacos apresentam três dimensões básicas: comprimento, largura e espessura. SMOOK (2002) reforça que uma das medidas mais importantes para a qualidade do cavaco é a uniformidade de suas dimensões, sendo que o tamanho ideal é de 10 a 30 mm de comprimento e 3 a 6 mm de espessura. O mesmo autor menciona alguns outros fatores que afetam negativamente a qualidade de cavacos, em termos de dimensão:

- cavacos muito grandes (“oversizes chips”);
- cavacos com espessura e largura menores que 3 mm, chamados “pin chips”;
- cavacos muito curtos, que passam no classificador no orifício com diâmetro de 3 mm, chamados “fines”;
- presença de cascas e madeira podre;
- presença de areia.

A geometria de cavacos normalmente é feita em laboratório através de métodos de classificação, passando-se amostras através de conjuntos de peneiras ou telas sobrepostas com orifícios redondos ou retangulares de diferentes tamanhos, conforme será detalhado em “Materiais e Métodos”.

Os cavacos passaram a ser classificados depois que pesquisas demonstraram que os cavacos muito grandes ou muito pequenos poderiam interferir no rendimento e na qualidade da polpa de celulose (CAMARGO et al. 2015).

## 2.2 INFLUÊNCIA DO CAVACO NO PROCESSO DE POLPAÇÃO

A polpação *Kraft* é a forma mais comum de polpação química. Através deste método de polpação, a digestão de cavacos de madeira é feita sob temperatura e pressão elevadas em uma solução aquosa de sulfeto de sódio e hidróxido de sódio, chamada “licor branco” em digestores. A lignina que une as fibras de celulose na madeira é quimicamente dissolvida por este licor, e o material resultante do cozimento basicamente é composto por fibras e lignina. Após sair dos digestores, a polpa passa então por diversas etapas de lavagem e refinamento, até estar pronta para utilização (BAJPAI, 2018).

No processo de transformação de madeira em fibras, o tamanho, a qualidade e a uniformidade dos cavacos têm implicações importantes na eficiência do cozimento e no refinamento, pois, no geral, quanto maior a variação da dimensão, maior será a dependência do processo da eficácia do tratamento químico (INGRUBER et al., 1985). Portanto, é essencial que plantas industriais que picam madeira para polpação produzam cavacos de tamanho e formato homogêneos.

Durante o processo de cozimento de cavacos nos digestores, toda a fibra da madeira deve receber sua parte de produtos químicos e calor no tempo determinado. Porém, se o cavaco apresenta uma variação significativa em suas dimensões, durante a impregnação é mais difícil de ocorrer a distribuição homogênea destes químicos e do calor. Os cavacos maiores têm dificuldades de impregnação, pois os químicos não conseguem atingir seu centro, consumirão mais álcali e produzirão polpa com alto teor de rejeitos, e conseqüentemente o rendimento da conversão da madeira em celulose diminuirá. Já os palitos e cavacos muito pequenos apresentam mais danos mecânicos, consomem mais reagentes durante a polpação e diminuem a resistência da polpa (FOELKEL, 2009; SMOOK, 2002).

Portanto, pode-se dizer que cavacos de boa qualidade proporcionam economia de matéria prima, melhor rendimento na polpação, aumento na produção de celulose, menor consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, menores custos de produção, e maior resistência da polpa.

## 2.3 PRODUÇÃO DE CAVACOS E TIPOS DE PICADORES DE MADEIRA

O Pátio de Madeira abrange o manuseio da madeira a partir do momento em que chega à fábrica até sua utilização no setor que produz celulose para polpação. A qualidade e economia da produção, tanto de polpa quanto de papel, começa no pátio

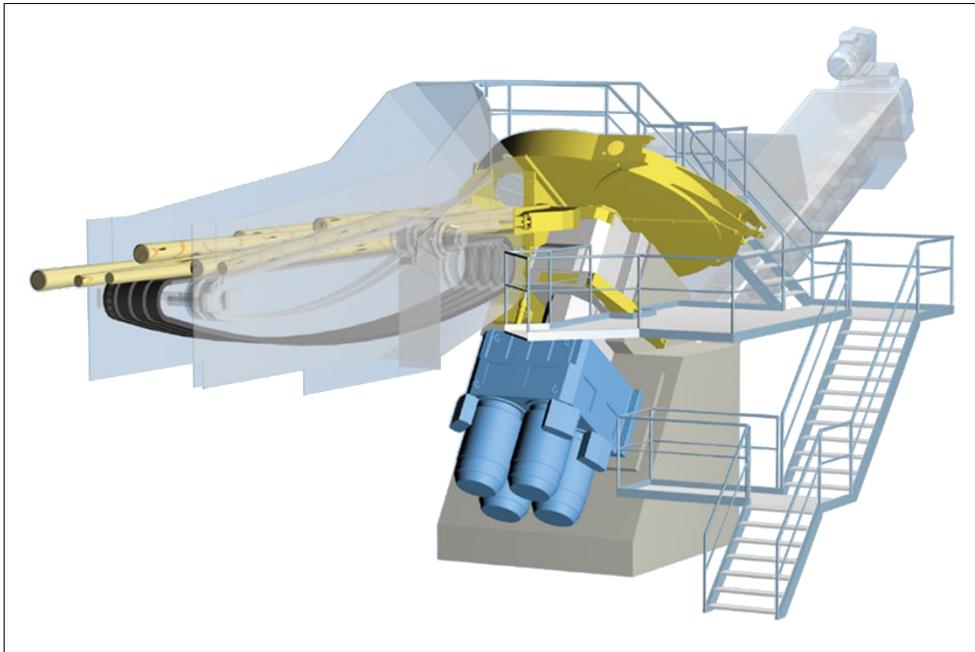
de madeira, já que o custo de matéria prima representa uma grande porcentagem no custo de produção total de uma fábrica (KLOCK et al., 2013). Assim, é importante tentar ao máximo melhorar a qualidade dos cavacos e diminuir perdas no processo, ou seja, melhorar o rendimento durante a transformação de toras em cavacos.

A madeira é transformada em cavacos para que se obtenha uma boa acomodação dentro dos digestores, para facilitar o manuseio, e para que haja uma distribuição uniforme da temperatura e licor de cozimento durante a impregnação no processo de polpação (KLOCK ET AL., 2013; BRÄNNVALL, 2009).

A madeira extraída da floresta sob forma de toras chega à fábrica e passa por diversos processos no departamento do Pátio de Madeira até ser convertida em cavacos. Um destes processos é o descascamento (quando a tora é entregue com casca em fábrica), uma vez que as cascas não possuem valor para o processo produtivo de celulose e, inclusive, trazem consigo alguns riscos para esse processo, como queda do rendimento, danos à equipamentos, maior consumo de químicos e comprometimento da qualidade do papel, conforme mencionado por BRÄNNVALL (2009). Após o descascamento, a madeira passa para o processo de picagem na linha de produção.

Um dos equipamentos mais amplamente utilizados nas indústrias que produzem cavaco para obtenção de polpa celulósica no Brasil é o picador de discos, que possui um disco rotativo, com 10 - 16 facas (lâminas de corte) distribuídas radialmente. O sistema de alimentação pode ser por gravidade ou alimentação horizontal. A alimentação por gravidade é mais adequada para toras curtas, já os picadores de alimentação horizontal usam um transportador que direciona a madeira ao picador, e são mais adequados para toras mais longas (BRÄNNVALL, E., 2009). A alimentação horizontal mantém o processo de picagem estável, mantendo as toras na mesma posição em relação ao disco do picador durante o processo de picagem (ANDRITZ, 2019).

FIGURA 1 - PICADOR DE ALIMENTAÇÃO HORIZONTAL



FONTE: Andritz (2019).

## 2.4 QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA

### 2.4.1 Comprimento da Madeira

BRÄNNVALL (2009) explica que a forma de alimentação das toras no picador é um pré-requisito para boa qualidade do cavaco. Para se obter uma distribuição uniforme de tamanhos, é necessário que as toras não se movam durante a alimentação, ou seja, elas devem permanecer fixadas na sua posição longitudinal, para que todos os cortes sejam o mais semelhantes possível.

TWADDLE (1997), ao analisar características da madeira que afetam a espessura de cavacos em condições laboratoriais que imitam um picador de discos, demonstrou que a orientação dos anéis de crescimento da madeira em relação à faca do picador influenciou na espessura dos cavacos, sendo que cavacos formados com a ponta da faca orientada tangencialmente aos anéis de crescimento da madeira foram mais espessos do que aqueles onde os anéis de crescimento foram orientados radialmente à faca. Isto demonstra que a orientação da tora ao entrar no picador afeta a qualidade do cavaco, chegando à conclusão de que isso ocorre devido à frequência com que as facas encontram uma zona de fraqueza na madeira.

Através de acompanhamento do processamento, observou-se que toras com menor comprimento tendem a se entrecruzar e movimentar no caminho até a chegada no picador, o que faz com que entrem em contato com as facas do picador em ângulos tortos, e não com ângulo reto. Assim, seria interessante avaliar qual o impacto do comprimento das toras na forma de alimentação e a qualidade final do cavaco.

#### 2.4.2 Tempo de Estocagem

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente na madeira. Seu cálculo é feito com base no peso úmido ou no peso seco, sendo o primeiro mais comum em indústrias produtoras de polpa celulósica. A madeira recém cortada contém entre 40 e 60% de umidade, mas quando armazenada perde umidade para o ar até alcançar o equilíbrio com o ambiente, entre 10 e 15% (BETINI & GALATTI, 1995). Porém, é importante ressaltar que esta umidade de equilíbrio sofre forte influência da sazonalidade, pois depende muito da temperatura e umidade relativa do ar, que variam de local para local e entre épocas do ano. Além disso, a madeira exposta em ambientes externos apresenta maior variação na umidade de equilíbrio (JANKOWSKY, 1985).

Várias práticas de armazenamento, como o formato da pilha, orientação em relação ao sol e ao vento e localização e exposição individual das toras irão acelerar ou inibir a taxa de secagem da madeira (Persson et al. 2002, Defo e Brunette 2007, Gjerdrum e Salin 2009, Phanphanich e Mani 2009, Routa et al. 2015). Fatores climáticos e sazonais, como variação de temperatura, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento, também influenciam as taxas de secagem de toras (Gjerdrum and Salin 2009, Defo and Brunette 2007, Persson et al. 2002).

Alguns estudos têm sido feitos para avaliar a influência do teor de umidade da madeira sobre a distribuição de tamanho de cavacos para energia: Spinelli et al. 2011, fez seu estudo para um picador industrial móvel, utilizando espécies de *Softwood* e *Hardwood*, separando as partes da árvore (tronco e galhos) para processamento. Como resultado observou que para galhos de *Softwood*, a quantidade de partículas aceitas foi significativamente maior com madeira seca. Porém, para a madeira de tronco, não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos com diferentes períodos de estocagem. O autor comenta que isto ocorreu pois, mesmo após um tempo de espera de 18 meses para o processamento, não houve diferença

no teor de umidade da madeira. Espera-se que uma diferença significativa de umidade entre os tratamentos influenciaria a distribuição de tamanhos, como ocorreu para madeira de galhos no estudo.

Van Der Merwe et al. (2016), investigou a influência de dois períodos de secagem de toras para celulose (1 e 2 semanas) sobre o teor de umidade dos cavacos e distribuição do tamanho dos cavacos de eucalipto. Como resultado foi observado que o teor de umidade dos cavacos foi menor para o período de estocagem maior, e o teor de umidade do cavaco também diminuiu com a diminuição do tamanho da tora para ambos os períodos de secagem. Os resultados mostram também que o período de secagem e a classe de tamanho das toras tiveram um impacto significativo nas frações de tamanho dos cavacos produzidos (*over*, *aceite*, *pinos* e *finos*), sendo que toras secas por um período mais curto produziram uma quantidade menor de cavacos espessos e de cavacos aceites.

Estudo Timmerfors et al. (2021) avaliou o impacto da umidade da madeira na distribuição de tamanhos de cavacos processados com picador de tambor, e mostrou que a madeira com umidade maior produziu maiores quantidades de frações de tamanho grande, como *oversized*, *overthick* e *large accept*. Seguindo a mesma lógica, a madeira mais úmida sempre apresentou valores menores para frações de menor granulometria, como *small accept*, *pin chips* e *fines*.

Existem muitos estudos publicados envolvendo produção de cavacos em serrarias (ex.: Abdallah et al., 2011; Spinelli et al., 2011; Spinelli & Magagnotti 2012). Porém, nestes casos, o processamento ocorre em picadores que convertem em cavaco as porções residuais da tora, ou seja, sua parte externa (*costaneiras*), sendo este processo muito diferente do processamento de toras inteiras com picadores de disco ou de tambor em ambientes e setores industriais. Portanto, pouco se sabe sobre como o teor de umidade ou a duração do período de estocagem de toras com casca influenciam a qualidade do cavaco em termos de distribuição de tamanhos, ao processar toras de pinus com picador de discos em ambiente industrial. O foco do presente trabalho é o cavaco produzido com as toras inteiras, em indústrias de papel e celulose.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Planalto Norte de Santa Catarina, no município de Três Barras, em uma indústria que atua na produção de polpa celulósica e papel *kraft*. No Brasil, a empresa conta com 2.200 funcionários, distribuídos entre uma unidade de produção de papel, quatro plantas de conversão de papelão ondulado e uma área de florestas plantadas de 54 mil hectares.

A unidade da empresa localizada em Três Barras divide-se entre Fábrica de Papel (FPTB), responsável por produzir as bobinas de papel que serão encaminhadas para as fábricas de conversão, e a Unidade Florestal, que é responsável por realizar o abastecimento de matéria prima da fábrica.

A Unidade Florestal é a responsável por garantir o abastecimento da fábrica com madeira em forma de toras, e esta matéria prima provém de duas fontes principais: madeira própria e madeira de terceiros. A primeira é cultivada em terras próprias da empresa, e a segunda é cultivada e vendida à empresa por produtores locais.

A fábrica de papel de Três Barras é abastecida com duas espécies: *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunii*. O Pinus, por apresentar uma ampla variedade de usos, tem o comprimento de seu fuste segmentado em vários sortimentos, sendo que os sortimentos de maiores diâmetros, mais próximos à base da árvore, são mais valorizados, pois geram produtos com maior valor agregado em indústrias laminadoras e serrarias. Os sortimentos mais próximos do topo da árvore, por serem mais finos, são normalmente utilizados na indústria de celulose e papel, e tem um preço reduzido. Os sortimentos muito finos, que não podem ser utilizados para produção de celulose, são coprodutos deixados em campo para serem repicados e posteriormente utilizados para energia, em caldeiras industriais. Observa-se que devido a estes múltiplos possíveis usos que a madeira de Pinus possui, e pelo esforço de tentar sempre aproveitar o comprimento da árvore para usos mais nobres e mais economicamente atrativos, é cada vez mais comum que a tora seja segmentada em comprimentos menores. Assim, na fábrica há uma dinâmica em que o Eucalipto possui um comprimento padrão de 7 m, enquanto o Pinus pode ser entregue com comprimentos de 2,4 m, 3,5 m ou 7m.

As cargas de toras que chegam à fábrica podem ser direcionadas diretamente para a linha de produção no setor do pátio de madeira, ou então podem ser direcionadas aos pátios de estocagem de toras, onde ficam armazenadas por

períodos variados até serem utilizadas na linha. O controle do tempo de estocagem da madeira é feito através de um aplicativo interno da empresa, o qual integra dados de carregamento e descarregamento lançados pelos operadores de dentro das máquinas através de tablets.

### 3.1 MATERIAL

Foi necessário especial cuidado para escolha das cargas a serem utilizadas principalmente devido à variável-resposta tempo de estocagem. As amostras sem tempo de estocagem foram coletadas a partir de cargas que vieram diretamente de campo para a linha de processamento, ou seja, não ficaram armazenadas (madeira recém-colhida). Já as cargas com período de estocagem foram escolhidas a partir de pilhas que já estavam há duas semanas armazenadas em algum dos pátios de toras da empresa. As pilhas são armazenadas em local aberto, com boa ventilação.

Os cavacos foram coletados na empresa logo após o processo de picagem, antes de passarem pelas peneiras classificatórias na linha. Foram coletadas três amostras de aproximadamente 3 Kg de cavaco a partir do processamento de uma carga de toras, sendo uma no início, uma no meio e uma no final da carga. Ou seja, as repetições foram feitas dentro de uma mesma carga, as quais apresentam aproximadamente 37 toneladas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com etiquetas de identificação e logo em seguida levadas ao laboratório para análises.

Os toretes foram picados no picador da empresa, e os parâmetros que poderiam influenciar na classificação, descritos a seguir (Tabela 1), foram mantidos constantes para todos os tratamentos, assim consegue-se avaliar apenas o efeito dos parâmetros avaliados, referentes à características da matéria prima.

TABELA 1 - PARÂMETROS DE PICAGEM

Tempo de facas	0 - 3 horas
Quantidade de facas	18
Ângulo de corte	35°
Velocidade de rotação picador	277 rpm
Velocidade de alimentação	1,7 m/s
Diâmetro médio de toras	150 mm
Comprimento nominal dos cavacos	27,6 mm
Capacidade	300 - 500 m <sup>3</sup> sub / h

Fonte: A empresa (2022).

### 3.2 TRATAMENTOS

Foram testados quatro tratamentos, mesclando-se dois comprimentos de madeira com dois tempos de estocagem, conforme demonstrado na Tabela 2 abaixo:

TABELA 2 - ESQUEMA DE TRATAMENTOS ADOTADOS

Tratamento	Tempo de estocagem	Comprimento	Repetição	
1	0 semanas	2,4 m	A1	
			A2	
			A3	
2		0 semanas	7,0 m	B1
				B2
				B3
3	2 semanas		2,4 m	C1
				C2
				C3
4		2 semanas	7,0 m	D1
				D2
				D3

Convencionou-se denominar a madeira de 2,40 m como “madeira curta”, e a madeira de 7,0 m como “madeira longa”.

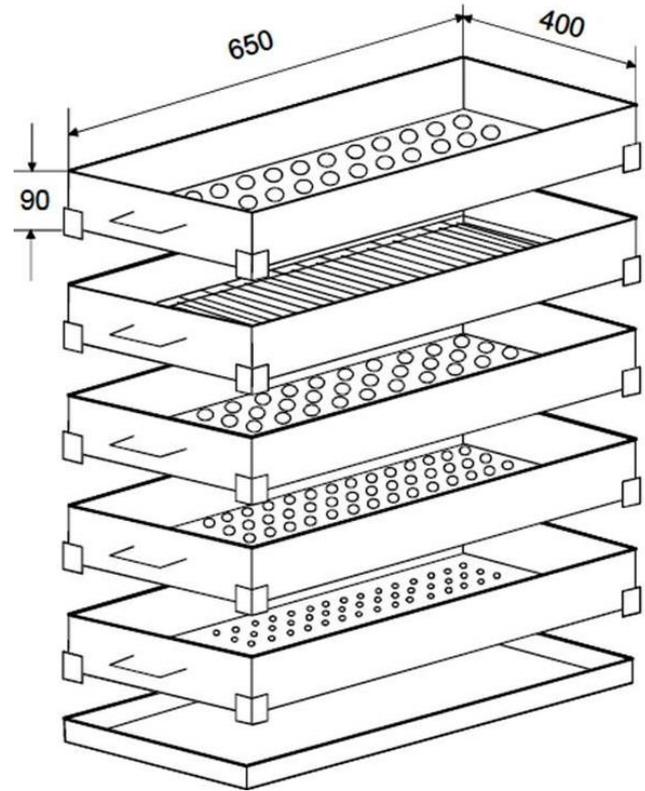
### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS CAVACOS

Foi avaliado a distribuição de tamanho e umidade de cavacos produzidos a partir dos quatro tratamentos descritos anteriormente.

O método utilizado para classificação de cavacos é denominado SCAN-CM 40:01, sendo este um método escandinavo para distribuição de tamanhos de cavacos de madeira para produção de celulose. Ele substitui o antigo SCAN-CM 40:94, diferindo deste por possuir uma classe a mais. O equipamento utilizado é o Classificador de Cavaco (Figura 2), que separa a amostra em seis classes, descritas a seguir:

- (i) Bandeja 1 - *Oversize chips* (abertura circular de 45 mm de diâmetro): cavacos que não passam na primeira tela do classificador;
- (ii) Bandeja 2 - *Overthick chips* (hastes cilíndricas paralelas de 8 mm de espaçamento): cavacos que passaram na primeira tela, mas foram retidos na segunda;
- (iii) Bandeja 3 - *Large accept chips* (abertura de 13 mm de diâmetro): cavacos que passaram pelas duas primeiras telas, mas foram retidos na terceira;
- (iv) Bandeja 4 - *Small accept chips* (abertura de 7 mm de diâmetro): cavacos que passaram pelas três telas superiores, mas foram retidos na quarta;
- (v) Bandeja 5 - *Pin chips* (abertura de 3 mm de diâmetro): cavacos que passaram pelas quatro telas superiores, mas foram retidos na quinta;
- (vi) Bandeja 6 - *Fines*: partículas que passaram pelas cinco telas, ficam retidas na sexta e última tela.

FIGURA 2 - CLASSIFICADOR DE CAVACOS



FONTE: SCAN-CM 40:01 (2001)

A segunda bandeja, por separar cavacos por espessura e não por tamanho/diâmetro, tem uma conformação diferente. Constitui-se por hastes paralelas cilíndricas, com distância máxima entre hastes adjacentes de 8,3 mm (Figura 3). Cada segunda haste está em um nível mais baixo que as outras:

FIGURA 3 - CONFORMAÇÃO DA SEGUNDA BANDEJA DO CLASSIFICADOR



FONTE: A autora (2022)

Para a classificação, uma amostra de cavacos, de aproximadamente 3 Kg, é depositada na bandeja superior. A parte inferior de cada bandeja tem tamanho de tela de 650 mm x 400 mm. As bordas da bandeja devem ter 90 mm de altura. O equipamento é mantido em movimento contínuo lateralmente, deslocando-se da direita para a esquerda e vice-versa por um período de dez minutos. Após este tempo, o equipamento desliga, e as bandejas são removidas para que se possa retirar o material que ficou depositado. O material de cada bandeja foi pesado separadamente em balança de precisão. Não é necessária a determinação do teor de matéria seca, mas é essencial para a precisão do resultado que o material não ganhe ou perca umidade após a classificação.

Por fim, foi calculado o peso total da amostra, somando-se o peso individual das seis classes. Em seguida, calcula-se a porcentagem de cada classe, dividindo-se o peso do material da respectiva classe pelo peso total da amostra.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE CAVACOS

O teor de umidade foi referenciado com base em seu peso úmido. Para determinação da umidade dos cavacos, foram coletadas amostras de 300 g de cada repetição do estudo. Estas amostras foram então para a estufa para secar em temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  até peso constante (mínimo 15 horas).

Após a secagem as amostras foram novamente pesadas, e calculou-se a umidade através da seguinte fórmula:

$$U (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Onde:

U (%) = Teor de umidade em base úmida, em %;

M<sub>i</sub> = Massa inicial da amostra úmida, em g;

M<sub>f</sub> = Massa final da amostra seca, em g.

### 3.5 ESTATÍSTICAS

Estatisticamente, foi feito uma análise de variância (ANOVA) para cada uma das variáveis resposta obtidas. Ou seja: (i) umidade; (ii) porcentagem de *oversize*; (iii) porcentagem de *overthick*; (iv) porcentagem de *large + small accept*; (v) porcentagem de *pins* e (vi) porcentagem de finos. Para facilitar a análise dos resultados as classes *Small Accept* e *Large Accept* foram somadas e denominadas “aceite”.

O objetivo foi analisar se houve alguma variação significativa entre amostras de diferentes tratamentos. Ou seja, demonstrar como o comprimento da madeira e o tempo de estocagem influenciam no tamanho do cavaco após a picagem. Os dados foram analisados no programa *Excel*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 UMIDADE DE CAVACOS

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância realizada para umidade dos cavacos:

TABELA 3 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA UMIDADE DOS CAVACOS

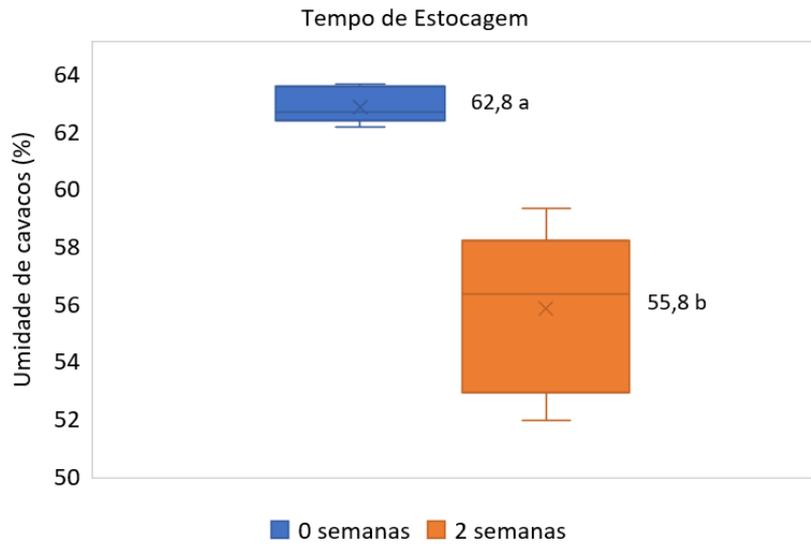
Fonte de Variação	GL	QM	F
Tempo de estocagem	1	147,7008	43,83 *
Comprimento	1	8,8408	2,62 ns
Tempo de estocagem x Comprimento	1	7,2075	2,14 ns
Resíduo	8	3,3700	
Total	11	-	
Média (%)		59,3	
CV (%)		7,02	

GL = grau de liberdade, QM = quadrado médio, F = valor F calculado, \* = significativo a 5% de probabilidade, ns = não significativo.

FONTE: A autora (2022).

O tempo de estocagem, a 5% de probabilidade, apresentou um valor  $p = 0,00017$  (menor que 0,05), e um valor F maior que F crítico, portanto, a hipótese nula de que as médias são iguais foi descartada. Assim, pode-se concluir que o tempo de estocagem influenciou a umidade dos cavacos, o que era um comportamento esperado. A Figura 4 ilustra este comportamento, em que a média de umidade para o tempo de estocagem de zero semanas é 7% maior comparada à média para o tempo de duas semanas. Além disso, observa-se que a variação de umidade para o tempo de duas semanas foi maior do que o de zero semanas. Isto indica que a umidade é influenciada por diversos fatores, e, com o passar do tempo, a interação destes fatores, como variação de chuvas, vento, disposição das pilhas, etc, resulta em maiores variações de umidade das toras.

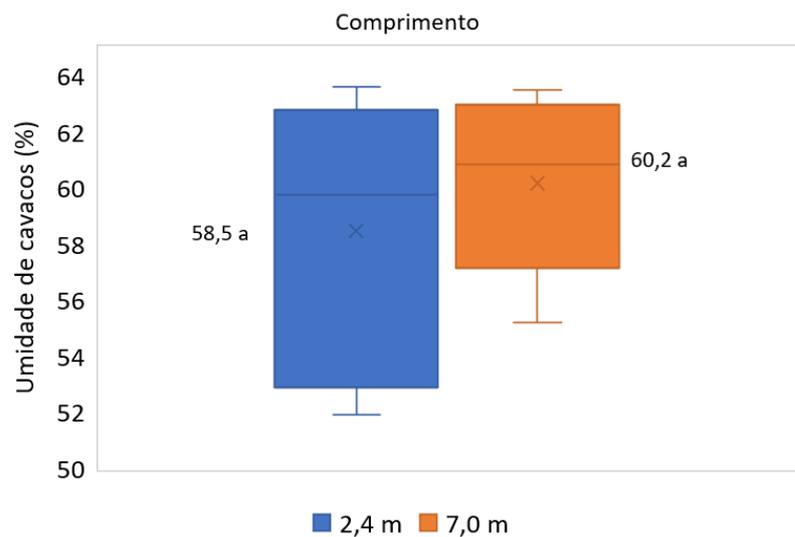
FIGURA 4 - MÉDIAS DE UMIDADE DE CAVACOS PARA PERÍODOS DE ESTOCAGEM DE TORAS



FONTE: A autora (2022).

Já o comprimento das toras, com um valor  $p = 0,14$  (maior que 0,05) e  $F$  menor que  $F$  crítico, não influenciou na umidade dos cavacos (Tabela 3 e Figura 5).

FIGURA 5 - MÉDIAS DE UMIDADE DE CAVACOS PARA COMPRIMENTOS DE TORA



FONTE: A autora (2022).

Apesar disso, houve um comportamento a ser analisado. Para madeira sem tempo de estocagem, não há diferenças significativas de umidade entre os tratamentos de madeira curta e madeira longa (variação de 0,2%). Porém, para madeira armazenada por duas semanas, observou-se que a madeira mais curta perdeu 3,2% mais umidade do que a madeira longa (Tabela 4).

Isto pode ser um indicativo de que a madeira curta apresentará maiores taxas de secagem, quando houver um período significativo de armazenamento, o que está de acordo com estudos que demonstram que as taxas de secagem aumentam com a diminuição do tamanho de toras (HARTSOUGH et al., 2000; CONNEL, 2003; DEFO & BRUNETTE, 2007). Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que há mais superfície relativa para secagem em toras com menor comprimento. Para comprovar tal efeito, seria necessário conduzir mais experimentos com diferentes tempos de estocagem, que possivelmente conduziram a um resultado que comprovasse tal interação.

TABELA 4 - MÉDIAS DE UMIDADE PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS

Tempo de estocagem	Comprimento (m)	Umidade (%)
0 semanas	2,4	62,7 (0,78)
	7,0	62,9 (0,56)
2 semanas	2,4	54,2 (2,87)
	7,0	57,4 (2,07)

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Fonte: A autora (2022).

## 4.2 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE CAVACOS

A Tabela 5 demonstra os valores de F das análises de variância para distribuição do tamanho de cavacos:

TABELA 5 - VALORES F DA ANOVA PARA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS DE CAVACOS

Fonte de Variação	Oversize	Overthick	Aceite	Pin	Finos
Tempo de estocagem	1,88 ns	23,03 *	39,41 *	50,25 *	11,98 *
Comprimento	16,13 *	48,93 *	21,75 *	0,65 ns	0,56 ns
Tempo de estocagem x Comprimento	2,12 ns	2,78 ns	1,28 ns	1,76 ns	0,87 ns
Média (%)	1,85	5,92	84,41	5,55	2,26
CV (%)	51,4%	29,1%	5,1%	39,2%	34,3%

\* = significativo a 5% de probabilidade, ns = não significativo.

FONTE: A autora (2022).

A distribuição do tamanho de cavacos diferiu significativamente em relação ao período de estocagem de toras para todas as variáveis analisadas, exceto *Oversize* (Tabelas 5 e 6). O comprimento de toras influenciou a quantidade de *Oversize*, *Overthick* e *Aceite*, porém não teve efeito significativo para *Pin* e *Finos* (Tabelas 5 e 7). A interação entre o tempo de estocagem e comprimento de toras não influenciou significativamente a porcentagem de cavacos gerada em nenhuma das classes de tamanho (Tabela 5).

TABELA 6 - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE ESTOCAGEM

Tempo de estocagem de toras	Variável				
	<i>Oversize</i> (%)	<i>Overthick</i> (%)	<i>Aceite</i> (%)	<i>Pin</i> (%)	<i>Finos</i> (%)
0 semanas	2,1 (1,06) a	5,1 (1,09) a	87,5 (2,23) a	3,7 (0,90) a	1,7 (0,35) a
2 semanas	1,6 (0,85) a	6,8 (1,88) b	81,3 (3,62) b	7,5 (0,99) b	2,8 (0,68) b

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Valores médios seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2022).

TABELA 7 - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES COMPRIMENTOS

Comprimento de toras (m)	Variável				
	<i>Oversize</i> (%)	<i>Overthick</i> (%)	Aceite (%)	Pin (%)	Finos (%)
2,4	2,5 (0,61) a	7,2 (1,49) a	82,1 (4,44) a	5,8 (2,62) a	2,4 (0,95) a
7,0	1,2 (0,69) b	4,7 (0,68) b	86,7 (2,92) b	5,3 (1,86) a	2,1 (0,62) a

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Valores médios seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2022).

#### 4.2.1 Overzise

Não foram observadas interações significativas entre período de estocagem e comprimento de toras e a quantidade de cavacos *Oversize* produzidos ( $p=0,1838$ ). Apenas o efeito individual do comprimento gerou diferenças para esta classe, sendo que a madeira curta produziu 1,3% mais *Oversize* do que madeira longa.

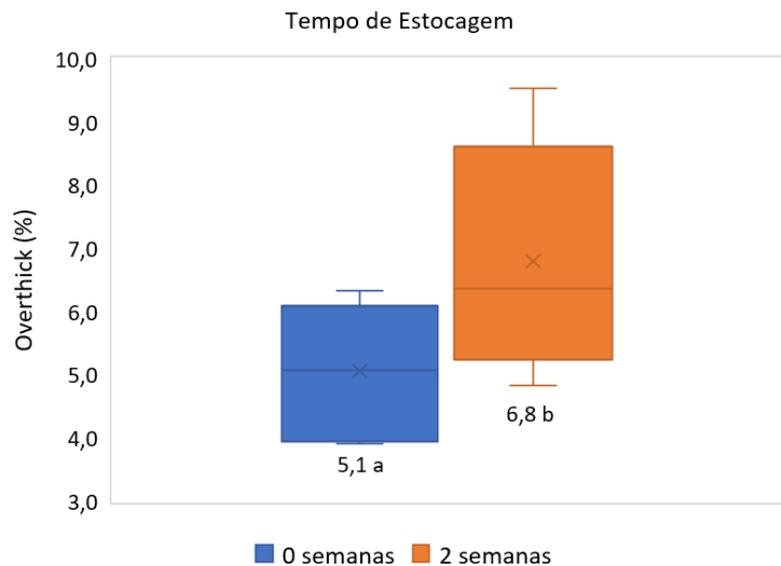
Estudos anteriores demonstram que o picador de alimentação horizontal produz menores quantidades de cavacos grandes, em comparação com outros tipos de picadores, como os de alimentação por gravidade (TWADDLE & WATSON, 1992a; TWADDLE & WATSON 1992b, NATI et al., 2014). Os autores sugerem que isto ocorre pois em picadores com alimentação por gravidade as toras apresentam orientação altamente variáveis durante a picagem. Além disso, principalmente quando a velocidade de alimentação é muito alta, toras das extremidades finas quebram quando são forçadas contra as facas (ISOKANGAS, 2010). Esses fatores podem levar a uma maior produção de cavacos de tamanho grande. Estes mesmos efeitos podem explicar a maior geração de *Oversizes* em picadores de alimentação horizontal alimentados com madeira curta. A madeira curta possui menor superfície de apoio durante a picagem do que a madeira longa, e, portanto, quando entra em contato com as facas do picador, ela não fica no ângulo correto, e isto produz cavacos com maiores tamanhos. Outro fator que pode contribuir para este posicionamento incorreto é o fato de que as madeiras curtas se entrecruzam na entrada do picador, enquanto a madeira mais longa naturalmente se alinha melhor no equipamento anterior ao picador.

#### 4.2.2 Overthick

A interação entre período de estocagem e comprimento da madeira não influenciou na quantidade de *Overthick* produzida ( $p = 0,1343$ ). Porém, os efeitos individuais destes fatores resultaram em diferenças significativas (Tabela 5).

Toras estocadas por duas semanas geraram 1,7% mais *Overthicks* do que toras sem período de estocagem (Tabela 6 e Figura 6). Este mesmo comportamento foi observado por Watson & Stevenson (2007) em um estudo que analisou a influência da umidade da madeira no tamanho de cavacos produzidos tanto de *hardwood* quanto *softwood*. Neste estudo foi observado que quando o teor de umidade da madeira é alto, ela será mais fraca. Assim, menos força é necessária para formar os cavacos à medida que a faca passa pela tora. Isso significa que quando a umidade da madeira é maior, cavacos com menores espessuras serão formados.

FIGURA 6 - PORCENTAGENS MÉDIAS E VARIAÇÃO DE OVERTHICK PRODUZIDOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE ESTOCAGEM DE TORAS



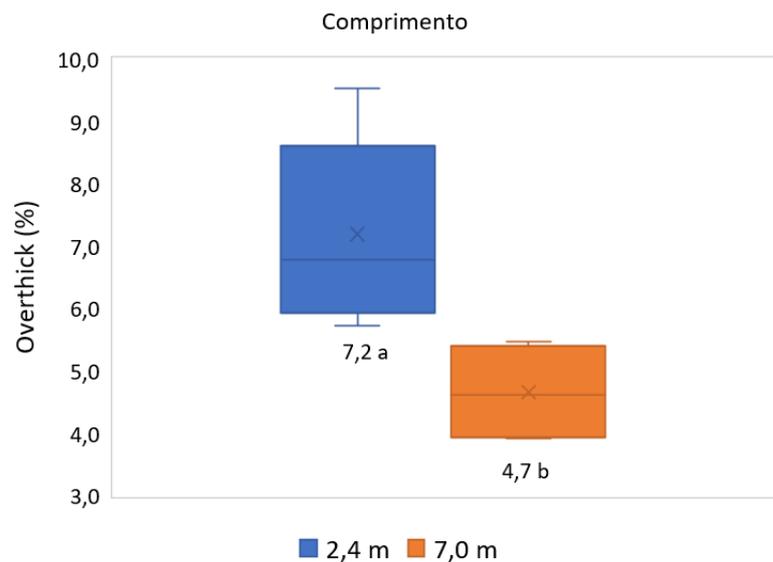
FONTE: A autora (2022).

O comprimento da madeira, dentre os dois fatores de variação analisados, foi o que mais influenciou na quantidade de *Overthick* formada ( $p = 0,000113$ ), conforme demonstrado na Tabela 5. Toras de maior comprimento geraram 2,5% menos *Overthick* do que toras mais curtas. As madeiras curtas no caso da empresa em

questão apresentam uma particularidade que deve ser mencionada. Normalmente elas são oriundas das partes mais finas das árvores, ou seja, do seu topo. Isto porque os sortimentos de maiores diâmetros, da base da árvore, são vendidos para fins mais nobres, como madeiras para serem processadas em serrarias. Assim, podemos dizer que a classe de madeira de 2,4 m se constitui principalmente de madeira de topo das árvores. A classe de 7,0 m também apresenta madeira de topo, porém em quantidade proporcionalmente menor, pois nas mesmas cargas há também presença de madeira de base. Esta particularidade deve ser observada pois estudos sugerem que produção de cavacos com maiores espessuras está relacionada a defeitos de qualidade da madeira, como grã irregular e nós (BJURULF, 2006; CÁCERES et al., 2016).

Juntamente a isto, deve-se observar que estudos feitos com *softwoods* comprovaram que as porções da tora com menores diâmetros (topo das árvores) apresentam maiores quantidades de nós (ZOLOTAREV et al., 2020; CÁCERES et al., 2016a; CÁCERES et al. 2016b). Portanto, pode-se dizer que o teor de nós aumenta proporcionalmente com a altura da árvore, o que explicaria a maior produção de cavacos mais grossos para toras de topo (ELLOUMI et al., 2021).

FIGURA 7 - PORCENTAGENS MÉDIAS E VARIAÇÃO DE OVERTHICK PRODUZIDOS PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TORAS



FONTE: A autora (2022).

#### 4.2.3 Pin e Finos

Em relação às frações de menores tamanhos, Pins e Finos, não foram observadas diferenças significativas entre médias de porcentagem de Pin para comprimento de toras nem para a interação entre tempo de estocagem e comprimento de toras (Tabela 5). Apenas o período de estocagem influenciou a quantidade de material gerada para estas duas classes. Toras estocadas por duas semanas produziram significativamente mais Pins comparado a toras sem período de estocagem (7,5% e 3,7% respectivamente), bem como finos (2,8% e 1,7%, respectivamente). Este resultado está de acordo com a observação feita por BRÄNNVALL (2009), de que madeiras com um teor de matéria seca elevado produz maiores porcentagens de pins e finos. TIMMERFORS et al. (2021), ao conduzir uma pesquisa com Abeto (*softwood*) utilizando um sistema óptico de análise de dimensões de cavacos, observou que a fração combinada de pin e finos foi de 10,3% para madeiras mais secas, e 6,5% para madeiras com alto teor de umidade.

Alguns estudos sugerem que quando a umidade da madeira é muito baixa, a quantidade de cavacos não aceites é maior (PULKKI, 1991; UHMEIER & PERSSON, 1997; WATSON & STEVENSON, 2007; FÄRLIN, 2008; HELLSTRÖM, 2010; SPINELLI et al., 2011; MIHELIČ et al., 2015). Como a madeira superficial seca mais rapidamente do que as porções mais internas das toras, à medida que a relação superfície/volume das toras aumenta (o que pode ser observado em toras mais curtas), aumenta-se a quantidade de porções superficiais com maiores taxas de secagem, que levam a porções maiores de madeira excessivamente seca e, conseqüentemente, maior quantidade de pin e finos produzidos. Este comportamento não foi observado para toras sem tempo de estocagem no presente estudo, pois a madeira quase não teve tempo de perder umidade e o comprimento não chegou a afetar esta perda. Porém, quando analisamos as médias individuais dos tratamentos para toras armazenadas por duas semanas (Tabela 8), consegue-se notar que a porcentagem tanto de pin quanto de finos é maior para o comprimento de tora de 2,40 m. Portanto, há um indicativo de que classes de toras menores, por terem maiores proporções de madeira de superfície exposta com baixa umidade, geram mais pin e finos (ARAKI, 2002; Watson & Stevenson, 2007).

TABELA 8 - PORCENTAGENS MÉDIAS DE CADA CLASSE E CAVACOS PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS

Tempo de estocagem	Comprimento da madeira	Oversize (%)	Overthick (%)	Aceite (%)	Pin chips (%)	Fines (%)
0 semanas	2,4	3,0 (0,43)	6,0 (0,29)	85,8 (1,41)	3,5 (0,85)	1,7 (0,45)
	7,0	1,1 (0,02)	4,1 (0,28)	89,2 (1,16)	3,8 (1,10)	1,7 (0,31)
2 semanas	2,4	2,1 (0,22)	8,4 (1,14)	78,5 (2,74)	8,0 (1,11)	3,1 (0,74)
	7,0	1,2 (1,09)	5,2 (0,34)	84,2 (0,88)	6,9 (0,52)	2,5 (0,62)

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

FONTE: A autora (2022).

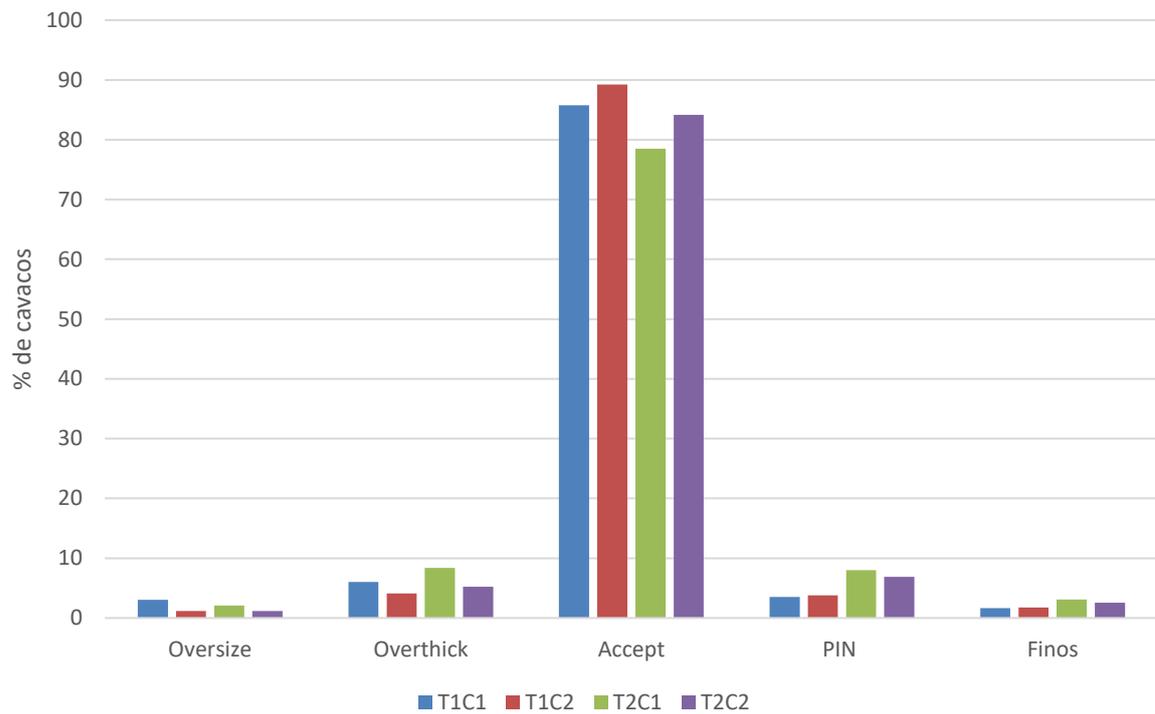
#### 4.2.4 Aceite

Quanto à classe de aceite, pode-se dizer que a porcentagem de cavacos produzidos para esta classe durante a picagem é função da porcentagem das frações de tamanho indesejáveis produzidas. Quanto maior a porcentagem de cavacos nas classes não desejáveis (*Oversize*, *Overthick*, Pin e Fines), menor será a quantidade resultante de aceite.

Houve diferenças significativas entre as médias de porcentagem de Aceite produzido para os dois diferentes períodos de estocagem (Tabela 5). Toras sem período de estocagem produziram 6,2% mais cavacos da classe Aceite do que toras armazenadas por duas semanas. Como podemos observar na Tabela 6, toras armazenadas por período mais longo produziram maiores porcentagens de *Overthick*, Pin e Fines, o que resultou numa proporção menor de aceite, sendo que a única classe que não apresentou tal comportamento foi *Oversize*, a qual a variável tempo de estocagem não influenciou significativamente.

A mesma tendência é observada quando analisamos os resultados de classificação para o parâmetro comprimento de toras individualmente (Tabela 7). Toras curtas produziram cavaco com maior quantidade de *Oversize*, *Overthick*, Pin e Fines, o que resultou numa quantidade de cavacos da classe aceite produzida significativamente menor comparada a quantidade da mesma classe produzida a partir de toras longas. Pode-se observar estes efeitos na Figura 8.

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHOS DE CAVACOS PARA CADA TRATAMENTO



T1 – Tempo de estocagem de toras de 0 semanas; T2 – Tempo de estocagem de toras de 2 semanas; C1 – comprimento de toras 2,4 m; C2 – comprimento de toras de 7,0 m.

FONTE: A autora (2022).

## 5 CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que diferentes parâmetros da madeira resultaram em diferenças nítidas em relação ao teor de umidade e classificação de cavacos.

Quanto à variável tempo de estocagem, houve diferenças significativas nos resultados de umidade e porcentagem de todas as classes de cavaco (exceto quantidade de *Oversize*). Já o comprimento de toras influenciou apenas as classes de *Oversize*, *Overthick* e *Aceite*, não resultando em diferenças significativas para porcentagem de *Pin* e *Finos*.

Não foram observadas interações significativas entre tempo de estocagem e comprimento de toras para nenhuma das variáveis analisadas. Porém, houve indicativos de que o comprimento afetaria a umidade de toras, e conseqüentemente a classificação de cavacos, para algumas classes avaliadas. Uma hipótese é que o período de estocagem de zero semanas não tenha permitido uma avaliação da influência do comprimento das toras na umidade, pois não houve tempo útil para que alguma interação pudesse ser observada. Portanto, em trabalhos futuros, se sugere um estudo mais aprofundado com no mínimo três períodos de estocagem para madeira curta e madeira longa.

Assim, através das análises do presente estudo, pode-se afirmar que toras com menor tempo de estocagem (maior teor de umidade) e maior comprimento geram cavacos de melhor qualidade, considerando-se cavacos de boa qualidade aqueles que possuem maior porcentagem de peso na classe *Aceite* e menor porcentagem nas classes *Oversize*, *Overthick*, *Pin* e *Finos*. Para a espécie *Pinus taeda*, toras de madeira recém-colhida (que não ficam estocas), com comprimento de 7,0 m, parecem ser a melhor alternativa de matéria prima para geração de cavacos com maior uniformidade e menor quantidade de rejeitos, ou seja, para um maior rendimento no processo de picagem, e que resultarão numa melhor qualidade da polpa celulósica produzida.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, R., AUCHET, S., MÉAUSOONE, P.J. Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. 2011. *Biomass Bioenergy* 35(2), p. 843–852.
- ANDRITZ. Superior Quality Chips. HHQ- Chipper Horizontally Fed Chipper. 2019. Disponível em: <<https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/woodyard/chip-processing/hhq-chipper>>. Acesso em 07 jul 2022.
- BAJPAI, P. Biermann's Handbook of Pulp and Paper. Elsevier, 3rd. Ed, p. 249-259, 2018.
- BETINI, M. A.; GALATTI, P. E. Curso de pasta mecânica. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Monte Alegre, 1995. Disponível em: < [http://celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07\\_Curso%20Pasta%20Mecanica.pdf](http://celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_Curso%20Pasta%20Mecanica.pdf)>. Acesso em: 03 jul 2022.
- BJURULF, A. Chip geometry: methods to impact the geometry of market chips. 2006. 43 f. Tese de Doutorado - Dept. of Forest Products and Markets, Swedish University of Agricultural Sciences.
- BRÄNNVALL, E. Wood handling. 2009. In: *Pulping Chemistry and Technology*. Eds. Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. De Gruyter, Berlin, pp. 13–34.
- CÁCERES, C. B., HERNÁNDEZ R. E., KULJICH, S. & KOUBAA, A. Effects of commercial thinning, log position in the stem, and cutting width on the surface quality of cants produced by a chipper-canter. 2016b. *Wood Material Science & Engineering*, 13 (1), P. 28-35.
- CÁCERES, C.B., HERNÁNDEZ, R.E., KOUBAA, A. Effects of log position in the stem and cutting width on size distribution of black spruce chips produced by a chipper-canter. 2016a. *Wood and Fiber Science* 48(1), p. 25 – 42.
- CAMARGO, S. K. C. A. et al. Influência da dimensão e qualidade dos cavacos na polpação. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 813-820, set-dez. 2015.
- CONNEL, M.J. Log Presentation: Log damage arising from mechanical harvesting or processing. 2003. *Forestry and Forest Products Report No. PN02.1309*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Yarralumla, 64 p.
- DEFO, M., BRUNETTE, G., Application of a mathematical model to the analysis of the influence of length and diameter on log drying rate. 2007. *Wood and Fiber Science* v. 39, n. 1, p. 16–27.
- FÄRLIN, A. Analysis of chip quality and value at Norske Skog Pisa Mill. 2008. Tese de mestrado, Swedish University of Agricultural Science, p. 16–48.

FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. Grau Celsius, 2009. Disponível em: <[https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15\\_Impregna%c3%a7%c3%a3oCavacos.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_Impregna%c3%a7%c3%a3oCavacos.pdf)>. Acesso em: 04 jul 2022.

GJERDRUM, P., SALIN, J. 2009. Open-air drying of scots pine transmission poles prior to creosote treatment. 7th International Conference: Wood Science and Engineering in the Third Millennium, International Union of Forest Research Organizations, Brasov, Romania, p. 95–102.

HARTSOUGH, B., SPINELLI, R., POTTLE, S., KLEPAC, J. Fiber recovery with chain flail delimiting/debarking and chipping of hybrid poplar. 2000. Journal of Forest Engineering 11(2), p. 37–41.

HELLSTRÖM, L.M. On the wood chipping process – a study on basic mechanisms in order to optimize chip properties for pulping. 2010. Tese de doutorado, Mid Sweden University, 46 p.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. Dados do Relatório Ibá 2021. Ano-base 2020. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2022.

INGRUBER, O. V.; KOCUREK, M. J.; WONG, A. (Ed.). 1985. Pulp and paper manufacture 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Association, v. 4, 352 p.

ISOKANGAS, A. Analysis and management of woodroom. 2010. Tese de doutorado, University of Oulu, 118 p.

JANKOWSKY, I. P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. IPEF, n.31, p.41-46, dez.1985.

KLOCK, U. et al. Manual Didático Polpa e Papel. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 3rd. ed. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

MIHELIČ, M., SPINELLI, R., MAGAGNOTTI, N., POJE, A. Performance of a new industrial chipper for rural contractors. 2015. Biomass and Bioenergy 83, p. 152–158.

NATI, C., ELIASSON, L., SPINELLI, R. Effect of chippertype, biomass type and blade wear on productivity, fuel consumption and product quality. 2014. Croatian Journal of Forest Engineering 35(1), p. 1–7.

PERSSON, E., SJÖSTRÖM, M., SUNDBLAD, L., WIKLUND, S., WILHELMSSON, L. 2002: Färskt virke—en utmaning för skogsbruk och virkesmätning [Fresh wood—a challenge for forestry and timber measurement]. Skogforsk Report No.8. Skogforsk, 1–4.

ROUTA, J., KOLSTRÖM, M., RUOTSALAINEN, J., SIKANEN, L. Validation of prediction models for estimating the moisture content of small diameter stem wood. 2015. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(2), p. 111–119.

SMOOK, G. A. Characteristics of wood and wood pulp fibers. In: SMOOK, G. A. *Handbook for pulp & paper technologists*. 3rd. ed. Vancouver: Angus Wilde Publications, 2002. p. 10-19.

SPINELLI, R., MAGAGNOTTI, N. The effect of raw material, cut length, and chip discharge on the performance of an industrial chipper. 2012. *For. Prod. J.* 62(7-8), p.584–589.

SPINELLI, R., MAGAGNOTTI, N., PALETTO, G., PRETI, C. Determining the impact of some wood characteristics on the performance of a mobile chipper. 2011. *Silva Fenn.*, v. 45, n. 1, p. 85–95.

TIMMERFORS, J. G. et al. The impact of using different wood qualities and wood species on chips produced using a novel type of pilot drum chipper. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, v. 36, n. 2, p. 214–226, jun. 2021.

TRUGILHO, P. F. et al. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, mar. 2005.

TWADDLE, A. A., WATSON, W.F. Shortwood vs. longwood chipping what impact on chip distribution. 1992a. *TAPPI Journal* 75(6), p. 107–111.

TWADDLE, A. The influence of species, chip length, and ring orientation on chip thickness. *Tappi Journal*, v. 80, n. 6, p. 123 – 131, jun. 1997.

TWADDLE, A.A., WATSON W.F. Quantification of factors affecting chip quality from disc chippers. 1992b. *TAPPI Journal* 75(10), p. 135–140.

UHMEIER, A., PERSSON, K. Numerical Analysis of Wood Chipping. 1997. *Holzforschung* 51(1), p. 83–90.

VAN DER MERWE et al. The Impact of Log Moisture Content on Chip Size Distribution When Processing Eucalyptus Pulpwood. 2016. *Croatian Journal of Forest Engineering*. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/307019020>>. Acesso em 06 jul 2022.

WATSON, W.F., STEVENSON, R. The effect of seasonal variation in wood moisture content on chip size and Kraft pulping. 2007. *Engineering, Pulping and Environmental Conference: Innovations in Engineering, Pulping and Environmental*. Jacksonville, Florida, EUA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1–8.

ZOLOTAREV, F. et al. Modelling internal knot distribution using external log features. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 179, 1 dez. 2020.