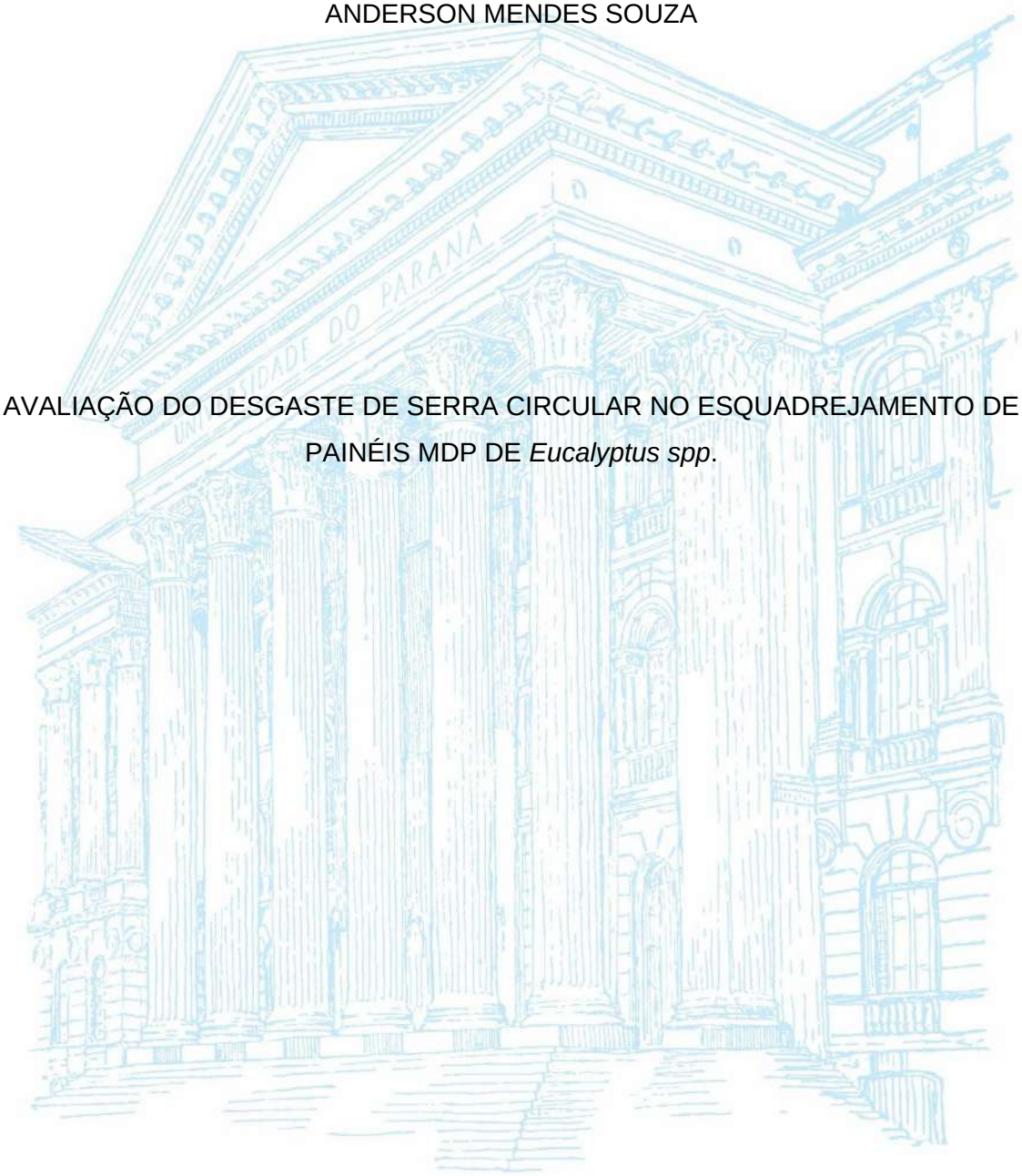
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ANDERSON MENDES SOUZA



AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE SERRA CIRCULAR NO ESQUADREJAMENTO DE PAINÉIS MDP DE *Eucalyptus spp*.

CURITIBA

2022

ANDERSON MENDES SOUZA

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE SERRA CIRCULAR NO ESQUADREJAMENTO DE PAINÉIS MDP DE *Eucalyptus spp*.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para conclusão da disciplina ENGF010 e requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Rosilani Trianoski.

CURITIBA

2022

Aos meus pais,

Maria Mendes Pedroza

e Jair Batista de Souza,

e minhas irmãs,

Eloá Mendes de Souza Pessoa Lima

e Elaine Cristina Mendes de Souza.

AGRADECIMENTOS

Começo a agradecer a minha família por tudo.

Agradeço aos professores que passaram pela minha vida.

A professora dra. Rosilani Trianoski.

Aos professores Allan Libânio Pelissari e Marcio Pereira da Rocha.

A engenheira florestal e supervisora Danila Estevam Aves da Cruz, o técnico Nelsi Cardozo e as minhas colegas estagiárias Franciele Arruda, Laila Nachtigall, Mariana Dantas e Stéffany Lima, do Laboratório de Tecnologia da Madeira da Eucatex, Unidade Painéis e Pisos (MDP), em Botucatu/SP.

Ao corpo técnico da Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR.

Agradeço a comunidade CIFLOMA, por construir um segundo lar possível nesta Universidade Federal do Paraná.

O Setor de Ciências Agrárias (SCA).

A Pró-reitoria de Assuntos Estudantis (Prae).

A Superintendência de Inclusão, Políticas Afirmativas e Diversidade da UFPR (Sipad).

Agradeço.

“*Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre*”,

Paulo Freire.

RESUMO

Este trabalho faz referência ao desgaste das serras circulares aplicadas no esquadrejamento de painéis de *Medium Density Particleboard* (MDP). O estudo foi baseado na experiência de um estágio acadêmico. O local de estudo é uma fábrica de grande porte do setor de base florestal paulista, que produz painel de madeira MDP de florestas plantadas de *Eucalyptus spp*. O processo avaliado é o esquadrejamento do painel por serras circulares, de quatro tipos distintos, do ponto de vista do desgaste da ferramenta de corte, para gerar informações úteis sobre o desgaste, com informações do fabricante, a partir da perda do fio de corte e novas afiações. Para compreender o ciclo de vida da ferramenta, as informações são registradas por operadores de diferentes turnos que manipulam as serras e registram as informações com datas de entradas e saídas, horas iniciais e finais, em planilhas de controle de registros para promover a gestão das serras. O estudo permite analisar as informações das serras, contudo se apoiou em identificar fabricantes, relacionar um conjunto de dados de dois registros, sendo um das afiações realizadas em cada serra e outro de registros de trocas disponíveis para o esquadrejamento, este último que pretende avaliar o rendimento em dias. Ainda, foram realizadas mais duas análises, onde foram empregados dois métodos, um para a elaboração de inventario com o propósito de identificar as serras circulares existentes na área de afiação e outro método que considera acompanhar a performance de três tipos de serras usadas, como teste, aplicadas no acabamento dos painéis. Este estudo considerou as informações mais relevantes com o objetivo de obter avaliações úteis para substituições satisfatórias das serras circulares com base em parâmetros conhecidos por funcionários da fábrica.

Palavras-chave: Processo de esquadrejamento. Serragem de painel MDP. Serras circulares. Painéis de madeira aglomerada. *Eucalyptus spp*.

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

PARECER

Defesa nº 286

A Banca Examinadora, instituída pelo Colegiado do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir **ANDERSON MENDES SOUZA** em relação ao seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE SERRA CIRCULAR NO ESQUADREJAMENTO DE PAINÉIS MDP DE *Eucalyptus* spp.**, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** na Disciplina ENGF010 - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, condicionada a entrega da versão final corrigida.

Profa. MSc. Danila Estevam Alves da Cruz
1ª. Avaliadora

Prof. MSc. Renan Zunta Raia
2º. Avaliador

Profa. Dra. Rosilani Trianoski
Orientadora - Presidente da Banca

Curitiba, 05 de maio de 2022.

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

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DOS ÂNGULOS BÁSICOS DE UM DENTE 14
FIGURA 2 – ELEMENTOS DOS DENTES DA SERRA 15
FIGURA 3 – DETALHE DAS FENDAS DE ALÍVIO: (A) EXTERNAS E (B) INTERNAS. 16
FIGURA 4 – GRÁFICO PARA DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS ADEQUADOS NOS PROCESSOS DE USINAGEM 18
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DO PAINEL MDP COM TODAS AS ETAPAS. 28
FIGURA 6 – PERFIL LATERAL DE DOIS CONJUNTOS DE SERRAS CIRCULARES. 29
FIGURA 7 – PERFIL SUPERIOR DO CORTE DE ACABAMENTO DA SERRA CIRCULAR CONTRA. 30
FIGURA 8 – PERFIL DO FLUXO DO PROCESSO FINAL EM UMA FÁBRICA DE PAINEL MDP 31
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DO ESQUADREJAMENTO DE PAINÉIS MDP 31
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DA ALTURA E LARGURA A SER MEDIDA 34
FIGURA 11 – FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO DA METODOLOGIA 35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – IDENTIFICAÇÃO DAS SERRAS NO INVENTÁRIO 36
TABELA 2 – QUANTIDADE E FABRICANTES DA SERRA CIRCULAR – RISCADOR 37
TABELA 3 – FABRICANTE DA SERRA CIRCULAR – TRITURADOR DIREITO 37
TABELA 4 – FABRICANTE DA SERRA CIRCULAR – SERRA CONTRA A E B..... 38
TABELA 5 – PERDA EM DESGASTE PARA O RISCADOR – R-46..... 50
TABELA 6 – PERDA EM DESGASTE PARA O TRITURADOR – E-50 51
TABELA 7 – PERDA COM DESGASTE DA SERRA CONTRA – A-72 52

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – FORNECEDORES DAS SERRAS 39
GRÁFICO 2 – QUANTIDADE DE AFIAÇÕES DAS SERRAS CIRCULARES RISCADORAS POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO 40
GRÁFICO 3 – QUANTIDADE DE AFIAÇÕES DAS SERRAS CIRCULARES TRITURADORAS (ESQUERDA) POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO 41
GRÁFICO 4 – QUANTIDADE DE AFIAÇÕES DAS SERRAS CIRCULARES TRITURADORAS (DIREITA) POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO 42
GRÁFICO 5 – QUANTIDADE DE AFIAÇÕES DAS SERRAS CIRCULARES CONTRA 350 MM POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO 42
GRÁFICO 6 – QUANTIDADE DE AFIAÇÕES DAS SERRAS CIRCULARES CONTRA 400 MM POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO 43
GRÁFICO 7 – RENDIMENTO DE ANOTAÇÕES POR TURNO 44
GRÁFICO 8 – RENDIMENTO EM DIAS POR TROCA DA SERRA RISCADOR 46
GRÁFICO 9 – RENDIMENTO EM DIAS POR TROCA DA SERRA TRITURADOR DIREITO 46
GRÁFICO 10 – RENDIMENTO EM DIAS POR TROCA DA SERRA TRITURADOR ESQUERDO 47
GRÁFICO 11 – RENDIMENTO EM DIAS POR TROCA DA SERRA CONTRA 350 MM 48
GRÁFICO 12 – RENDIMENTO EM DIAS POR TROCA DA SERRA CONTRA 400MM 48
GRÁFICO 13 – DESGASTE DO RISCADOR – R-46 49
GRÁFICO 14 – DESGASTE DO TRITURADOR – E-50 50
GRÁFICO 15 – DESGASTE DA SERRA CONTRA – A-72 51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5
2 OBJETIVOS 8
2.1 Objetivos específicos 8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9
3.1 O eucalipto 9
3.2 Produtos da indústria de painéis 9
3.2.1 *Medium Density Particleboard* (MDP) 10
3.2.2 Utilizações 11
3.3 Máquinas para serrar madeira 11
3.4 Serra circular 12
3.4.1 Características dos ângulos da ferramenta de corte 13
3.4.2 Afiação das serras 19
3.4.3 Principais defeitos em serras circulares e suas causas 20
3.4.4 Fatores que influenciam no desgaste da serra 22
3.5 Gestão ambiental e ciclo de vida 24
3.6 A linha de produção da fábrica de MDP analisada 26
4 MATERIAL E MÉTODOS 32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 36
5.1 Avaliação do inventário das ferramentas de corte 36
5.2 Avaliação do controle de afiações das ferramentas de corte 40
5.3 Avaliação dos registros de trocas das ferramentas de cortes por turno 44
5.4 Avaliação dos rendimentos das serras 45
5.5 Avaliação do desgaste de três tipos de ferramenta de corte 49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 53
6.1 Controle do inventário das serras circulares 53
6.2 Controle dos registros das afiações 54
6.3 Controle dos registros de troca das ferramentas 54
6.4 Controle dos rendimentos das serras 54
6.5 Controle do desgaste das pastilhas dos dentes das serras 54
6.7 Recomendações para a avaliação do desgaste das serras circulares 55
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 56

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal no Brasil contribui significativamente para a produção sustentável, de modo que, no Relatório anula 2021 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o Brasil aparece com posição de destaque no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. O setor de base florestal é relevante por sua alta produtividade, tecnologia incorporada, melhores práticas de manejo florestal, responsabilidade social e modernas instalações produtivas. Promove inúmeros produtos de origem renovável essenciais para o cotidiano das pessoas como móveis, livros, pisos laminados, painéis de madeira, papéis higiênicos, absorventes e embalagens. Ainda, como subprodutos desta indústria estão os *pellets*, carvão vegetal para aço verde e demais fontes para a bioenergia. É uma indústria dinâmica e se associa a ela outras indústrias que prestam produtos e serviços para manufaturar árvores.

Nos dados da agência mundial *The Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), o Brasil aparece entre os dez maiores produtores mundiais de painéis de pinus e eucaliptos, que em 2020 obteve crescimento positivo em relação ao ano anterior e a última década. O volume de painéis de madeira foi de 7,1 milhões de metros cúbicos no ano, com as vendas de MDF e MDP totalizando 4,3 e 2,9 de milhões de m^3, um aumento de 2,8% e 9,2%, respectivamente. Painéis de madeira e madeira serrada e compensada tiveram como principais destinos em 2019 os Estados Unidos e México (IBÁ, 2021).

Aponta o último relatório da IBÁ, para um movimento de consumidores, que diante da crise econômica desencadeada pela pandemia da Covid-19, buscou melhorar seus domicílios para atender as novas necessidades vindas do isolamento social e relações de trabalho, como o *home office*, fez com que o volume de vendas de pisos apresentasse um ótimo desempenho totalizando 11,8 milhões de m^2, uma alta de 14% em 2020. Esta alta ocorreu após dois anos de queda e é o maior crescimento desde 2013, quando a venda doméstica de pisos laminados cresceu 15,6%.

Das principais atividades econômicas que fornecem insumos para produção florestal estão elas, os insumos da agropecuária, que fornecem as sementes e as mudas, os serviços de empreitada, aluguel de equipamentos e veículos; os insumos da indústria de transformação, no que relaciona os adubos e fertilizantes, defensivos agrícolas aos implementos e máquinas agrícolas; os insumos de atividades prestadoras de serviços, as consultorias em pesquisa e inovação, assistência técnica, assistência jurídica, serviços de reparação e manutenção de máquinas, equipamentos e veículos; transporte, comunicações e armazenagem, meios e armazenamento da produção e de insumos e serviços de

comunicação por satélite; energia elétrica, e; insumos de outras indústrias, como construção e manutenção de obras.

Assim, a indústria de base florestal sozinha não existiria sem a inteligência e fornecimento de tecnologias e inovações de outros setores, da mesma forma que, cada vez mais a indústria de base florestal reforça o seu papel de fornecedora da biomassa na forma de subprodutos, a matéria-prima relevante para outras cadeias produtivas. É beneficiada por esta cadeia, a indústria de fabricação de serras, de todos os tipos e usos variados que elas possuem, inclusive as serras circulares, objeto da avaliação do ciclo de vida na fabricação de painéis *Medium Density Particleboard* (MDP) de madeira de eucalipto em uma fábrica de grande porte.

As lâminas de serra, seja para serra de quadro, seja circular ou serra-fita, são constituídas de um corpo ou folha e dentes. Os dentes são formados por entalhes e saliências que fazem o sucessivo ataque à madeira, arrancando certa quantidade, sob forma de pequenas partículas denominadas serragem, pó de serra ou cavacos. As lâminas exercem três funções durante o corte da madeira: geram a serragem, transportam-na para fora e mantêm os dentes retos e estáveis. (VITAL, 2008).

As serras são essenciais para a indústria de base florestal e contribuem para a perda de rendimento, produtividade, eficiência e aumento de custos caso a manutenção e afiação delas não sejam controladas. O controle é minimamente formado por registros das operações que envolve aquisições, trocas das serras, afiações, a manutenção do inventário das serras existentes na afiação, a avalição do ciclo de vida e bom relacionamento com o fabricante.

Todas as indústrias de base florestal que utilizam ferramentas cortantes desenvolvem suas metodologias de controle baseadas em suas características produtivas próprias, coletando o máximo de informação possível, visando estabelecer rotinas de aquisição, manutenção e afiação dessas importantes ferramentas. O objetivo é ter controle de qualidade e redução de custos envolvidos rastreando as falhas e investindo em melhorias.

As serras circulares são ferramentas utilizadas para corte de diversos materiais, como madeira, plásticos, acrílicos, mármores, metais etc. Contudo, as serras circulares usadas para o corte de produtos madeireiros manufaturados devem possuir características intrínsecas às propriedades físicas e mecânicas das diferentes espécies florestais.

Na indústria de painéis de madeira, as serras circulares exercem papel fundamental no esquadrejamento dos painéis. Realizam cortes retos, precisos para as dimensões pré-

estabelecidas. Para isso, as serras para madeira são formadas por um corpo de aço com as extremidades “dentadas” e na estampa dos dentes são utilizados os materiais cortantes de diversos tipos, principalmente *widia ou* vídeas, como são conhecidas, constituídas de tungstênio e cobalto. O diamante é outro constituinte usado para serrar madeiras mais duras e para cortes de precisão em usinagem.

A serra circular é utilizada para fazer esquadrejamento dos painéis logo que saem da prensa. Esse processo é resultado de uma operação contínua, onde as partículas dos painéis possuem características em tamanho, densidade e umidade únicas para a formação do colchão da camada interna (partículas maiores) e a camada externa (partículas menores), combinadas a um adesivo industrial, desmoldante e fungicida que após a pré-formação são prensadas a quente. Com a formação do painel, após a prensagem a serra circular é utilizada para o esquadrejamento do painel, etapa em que as dimensões de largura e comprimento são reguladas e causam os desgastes dos dentes das serras pelo atrito causado pela velocidade a uma determinada potência e torque, que garantem que os dentes atravessem os constituintes de um painel de madeira.

Encontram-se disponíveis trabalhos científicos florestais que abordam o rendimento e eficiência de serras circulares em madeira maciça, tanto para espécies de florestas plantadas quanto para as nativas, mas a maioria aponta para avaliações que relacionam a produtividade, a economia de custos e de energia nas operações de desdobro primário e secundário de toras. Podem ser avaliadas de forma semelhante as serras circulares de uma fábrica de painel MDP. Existem grandes quantidades de testes para a madeira, mas poucos são conhecidas em forma de análises, através de fontes oficiais, avaliações de desgaste das serras circulares utilizadas no processo de fabricação dos painéis de madeira MDP.

2 OBJETIVOS

Avaliar o desgaste de serras circulares utilizadas no esquadrejamento de painéis MDP.

2.1 Objetivos específicos

- Elaborar um inventário das serras circulares existentes em uma fábrica de madeira MDP utilizadas no esquadrejamento de painel de MDP;
- Analisar os registros existentes, como o de quantidade de afiações e trocas de serras por turno, com informações da entrada das serras no esquadrejamento, os horímetros e rendimentos, e:
- Verificar quais das análises atendem a proposta para a avaliação do desgaste das serras.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O eucalipto

Eucalipto é o nome comum de espécies do gênero *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae), pertence à família Myrtaceae, cuja maioria das espécies são originárias da Austrália. Detém cerca de 600 espécies e variedades endêmicas no país, ocorrendo ainda em Timor e várias ilhas adjacentes como Flores, Alor e Wetar (PRYOR, 1976).

Há controvérsias sobre as datas e locais exatos onde ocorreram as primeiras introduções de *Eucalyptus* no Brasil. É certo, porém, que essas introduções foram feitas inicialmente com finalidades de paisagismo, barreiras quebra-ventos e de obtenção de óleos essenciais. Entretanto, há relatos que os exemplares mais antigos seriam aqueles de E. robusta Smith e E. tereticornis Smith plantados por D. Pedro I, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em 1825 (JACOBS, 1979).

Os eucaliptos são as espécies florestais mais plantadas no Brasil por causa do seu rápido crescimento e fácil manejo e adaptação às diferentes condições edafoclimáticas existentes no País (BERGER et al., 2002). As espécies mais utilizadas no momento, em função das características de suas madeiras, são: *Eucalyptus grandis, Eucalyptus saligna, Eucalyptus urophylla, Eucalyptus viminalis, híbridos de E. grandis x E. urophylla e Eucalyptus dunnii* (região sul do Brasil). Para a região Sul, também se destaca o potencial de utilização do *Eucalyptus benthamii*, devido à sua tolerância a geadas (EMBRAPA, 2019).

Segundo o relatório anual 2021 do IBÁ, em 2020, a área total de árvores plantadas totalizou 9,55 milhões de hectares, um recuo de 1,4% em relação ao dado revisado de 2019, que ficou em 9,69 milhões de hectares. Entre as espécies, 78% da área é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,47 milhões de hectares; e 18% de pinus, com aproximadamente 1,7 milhão de hectares. Além desses cultivos, o setor conta com cerca de 382 mil hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá. Os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina seguem como principais produtores de florestas plantadas no país.

3.2 Produtos da indústria de painéis

Os painéis de madeira podem ser divididos em dois tipos: os painéis de madeira reconstituída e os painéis de madeira processada mecanicamente (Remade, 2013). Os principais tipos de painéis de madeira reconstituída são o painel de madeira aglomerada *Medium Density Particleboard* (MDP), painel de fibra de média densidade *Medium Density Fiberboard* (MDF), painel de tiras de madeira orientada, *Oriented Strand Board* (OSB),

chapa de fibra dura *(Hardboard),* painéis compensados e painel de sarrafo colado lateralmente *Edge Glued Panel* (EGP).

No Brasil, utiliza-se como matéria-prima a madeira de eucalipto e pinus de florestas plantadas. Os processos para obtenção do MDP, MDF e OSB são chamados de “via seca” porque não utilizam água, enquanto o usado para fabricação da chapa dura é “via úmida” (BNDS, 2015).

3.2.1 *Medium Density Particleboard* (MDP)

Segundo Kollmann, Kuenzi e Stamm (1984), a produção de painéis de partículas vem sendo desenvolvida ao longo da história. Os painéis de madeira aglomerada têm sua primeira patente em 1901.

Segundo Mattos (2008), a partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras investiram em modernização tecnológica, passando do processo de prensagem cíclica para prensagem contínua, o que conferiu ao produto melhores características de resistência, e implementaram a modificação da nomenclatura para MDP ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional.

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominado de “aglomerado”, é um painel produzido com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através de aplicação de calor e pressão na prensa quente (IWAKIRI, 2005).

Os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada, como descritas por Maloney (1993): (i) minimização dos efeitos da anisotropia; (ii) maior uniformidade de propriedades físico-mecânicas em diferentes pontos do painel; (iii) eliminação de defeitos naturais como nós, inclinação da grã e tensões de crescimento; (iv) possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel através das variáveis do processo produtivo como tipo e quantidade de resina, geometria de partículas, grau de densificação, entre outras; (v) menor exigência em termos de qualidade da madeira, possibilitando uso de resíduos provenientes de outras fontes de processamento; (vi) maior produção devido à tecnologia empregada e menor custo de produção.

A razão de compactação adequada para produção de aglomerado é na faixa de 1,3 a 1,6 e, portando, espécies de baixa massa específica são as mais recomendadas (DIAS et

al., 2005). Esta irá determinar o grau de classificação do material e interferir nas propriedades dos painéis.

Segundo Zenid et al. (2003), os painéis de madeira aglomerada surgiram no intuito de compensar as variações dimensionais da madeira serrada, além de diminuir o seu peso e custo, e ainda, manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Os autores ressaltam que devido à sua estabilidade, estes painéis permitem que sejam cortados em qualquer direção, obtendo o seu máximo aproveitamento, além de serem utilizados amplamente na indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros.

3.2.2 Utilizações

Os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial na Alemanha, devido aos problemas de indisponibilidade de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados. Desta forma, procurou-se fontes de matéria-prima como resíduos de madeira para produção de aglomerados como alternativa para suprir a demanda por painéis compensados (IWAKIRI, 2005). O mesmo autor relata que com o fim da 2ª guerra mundial, em 1946, com a regularização no fornecimento de resina, houve uma retomada no desenvolvimento e aperfeiçoamento do processo produtivo. Já na década de 1960 o setor passou por uma grande expansão e avanços tecnológicos, o que possibilitou que em 1966 surgisse a primeira indústria de painéis de madeira aglomerados no Brasil.

De acordo com a ABIPA (2014), os painéis aglomerados são indicados sobretudo para a produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, tendo como principais aplicações: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base inferior, frentes e laterais de gaveta e de forma secundária, na construção civil.

3.3 Máquinas para serrar madeira

As máquinas de serrar madeira podem inicialmente ser divididas em função da sua ferramenta cortante. Basicamente tem-se as serras que utilizam uma lâmina denteada e as serras que utilizam lâminas para cortar a madeira, tem-se as serras alternativas ou de quadro e as serras fitas. O grupo das serras que utilizam um disco denteado é formado pelas serras circulares (ROCHA, 2002).

3.4 Serra circular

A serra circular é uma ferramenta amplamente usada em processos de corte dos mais variados produtos e na indústria de madeira, exerce papel fundamental em muitas etapas de fabricação dos produtos de madeira. O desempenho de uma serra circular é avaliado pelo volume de material cortado por hora, pela qualidade do corte, pela seção mínima de corte e pelo nível de ruído produzido (BROGUEIRA, 2015).

As serras circulares são máquinas que sempre estarão presentes em qualquer tipo de serraria, sela ela pequena ou grande. Porém é muito importante que este equipamento seja utilizado nas operações adequadas, pois em função de utilizar discos de serras, a geração de serragem é muito maior que nas serras de fita. O fio de corte de uma serra circular pode facilmente atingir 5 mm ou mais, devido ao fato dos discos de serra serem muito espessos, proporcionando corte de 10 a 20 mm ou mais. São serras de simples instalação e boa produção de madeira serrada e seus dentes têm formas variadas, de acordo com a finalidade da serra (ROCHA, 2002).

São mais adequadas para toras de diâmetro pequenos e matéria prima de baixo custo, pois quanto maior for o diâmetro do disco, maior será a sua espessura, aumentando a produção da serragem. É mais comum o uso de serras circulares em serrarias modernas, com diâmetros pequenos e homogêneos, as quais compensam o baixo custo da matéria prima e a grande perda em serragem com alta produtividade. (ROCHA, 2002).

Na canteagem e destopo das peças, a serra circular é utilizada com muita eficiência, pois nestas operações são realizados cortes com pequenas alturas, onde os discos de serras podem ser menos espessos, causando menor geração de resíduos. Além disso, a maioria dos cortes realizados são cortes externos à peça. Nestes casos, não existe preocupação com o rendimento, mas sim com a produção. Porém, em algumas situações, quando se realiza a redução nas larguras das peças, dividindo-se em duas ou mais peças, os cortes realizados são internos, implicando em maior perda de madeira e consequentemente, redução do rendimento (ROCHA, 2002).

Uma característica importante das serras circulares que deve ser observada com muita atenção é a velocidade periférica, a qual tem importância no rendimento, dando a capacidade de corte do equipamento. Se esta velocidade for inferior ou superior à velocidade ideal, não se obtém a máxima velocidade de corte (ROCHA, 2002).

Ainda, de acordo com Rocha (2002), a velocidade periférica ideal é observada através do número de marcas de dentes no corte executado. Tem-se como velocidade ideal 4 marcas por centímetro. Se este número for maior, diminui-se a velocidade de avanço das

peças. Ser for menor, aumenta-se esta velocidade. De modo geral, a velocidade periférica oscila entre 40 e 60 m/s.

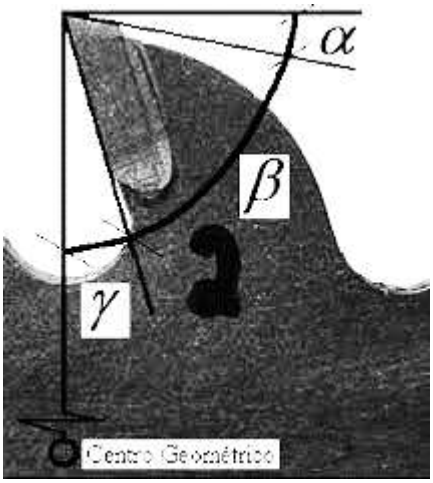
O controle da velocidade de avanço, não só para as serras circulares, mas para qualquer equipamento de uma serraria, é de vital importância sob vários aspectos. Quando a velocidade de avanço é elevada, ocorre um desgaste excessivo das ferramentas cortantes e da própria máquina, acarretando maior consumo de energia. Além disso, a qualidade da madeira serrada na maioria das vezes será prejudicada. Quando a velocidade de avanço for insuficiente, haverá desperdício de energia e o equipamento não estará sendo utilizado em sua capacidade ideal, o implica em queda na produção e aumento do custo da madeira serrada (ROCHA, 2002).

3.4.1 Características dos ângulos da ferramenta de corte

As características de uma serra, segundo Brogueira (2015), são influenciadas pela geometria, estado de afiamento do dente de corte e estabilidade da serra durante o corte. Esta última condição, o aumento da espessura da serra melhora o corte e reduz o ruído de vibração. Contudo, aumenta o desperdício de material. Deste modo, a estabilidade e a reduzida seção de corte pretendida para uma serra de corte são difíceis de combinação e constituem um desafio para os fabricantes de serras.

Quanto à morfologia de uma serra, Weber (2009) descreve que os dentes de serra são constituídos por três ângulos básicos. Eles são conhecidos como ângulo livre (α), ângulo de cunha (β) e ângulo de ataque (γ). O somatório destes ângulos é igual a 90º (Figura 1).

Figura 1 – Representação dos ângulos básicos de um dente



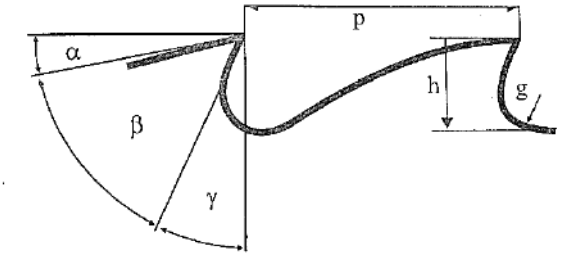
Fonte: Oliveira (2022)

O ângulo livre (α) representa o ângulo formado entre a projeção das costas do dente e a reta do cilindro de corte sobre a ponta do gume. A função é reduzir o contato dos dentes com a madeira, o que reduz os esforços devido ao atrito com a madeira (SOUZA, 2009). Para maioria dos fabricantes de serras circulares, seu valor ideal é próximo de 10º. O ângulo de cunha (β) é o ângulo formado entre as projeções do peito e costa do dente. Menores valores promovem menores esforços de corte da madeira, contudo, mas frágil será o dente levando-o ao torcimento ou quebra (SILVA, 2002). O valor mínimo para (β) deve ser de 45º e, de acordo com o Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário – CETMAM-SENAI (1996), madeiras duras e cortes transversais exigem ângulo de cunha menor.

O ângulo de ataque (γ) é formado entre a projeção do peito e a reta que vai da ponta do dente ao centro geométrico da ferramenta. O ângulo de ataque define, juntamente com a resistência da madeira e com a espessura de corte, o tipo de cavaco formado (SANTOS, 1999). Contudo, as opções de ângulo de ataque podem ser encontradas para diferentes espécies e não para diferentes painéis.

Na configuração da lâmina, são importantes a altura do dente, o passo do dente, área entre os dentes (garganta), de acordo com a Figura 1, e novamente representada na Figura 2, as demais partes que constituem a serra circular, na altura do dente (h); passos dos dentes (p); garganta, gancho ou fundo dos dentes (g), ângulo livre ou de incidência (α), ângulo da ponta do dente (β); ângulo de saída dos cavacos (γ); γ+90° = ângulo de ataque; α+β+γ = 90°.

Figura 2 – Elementos dos dentes da serra



Fonte: Vital (2008).

Para definição dos valores dos ângulos, é necessário conhecer as relações com os materiais da ferramenta e do material processado. A seleção do material da ferramenta implicará na capacidade de carga que o gume poderá suportar durante a solicitação no material da peça (GONÇALVES, 2000).

As serras circulares, principalmente aquelas empregadas para resserragem, são comumente fabricadas com dentes calçados com metal duro, que é fabricado a partir de uma carbonatação de tungstênio (VITAL, 2008).

Para seccionar o cavaco da peça de madeira no decorrer de qualquer processo de corte deste material, é necessário primeiramente provocar a ruptura estrutural entre o fio da ferramenta de corte e a peça de madeira. Levando em conta que a resistência da madeira oscila conforme a direção da fibra, o formato do cavaco, a potência de corte e a qualidade da superfície serão modificados pela direção de corte (MCKENZIE, 1960).

As serras circulares são similares a fresas que executam ranhuras com pequena espessura, basicamente são formadas por um disco e vários dentes no contorno da sua extremidade. A fabricação das ferramentas é determinada em função do material que será cortado. As serras, geralmente são produzidas em aços especiais e o seu diâmetro é compatível ao equipamento que será efetuada a operação. A resistência da lâmina de serra deve ser inferior à resistência do acionamento do equipamento, dessa maneira, caso sejam exercidos esforços excessivos a lâmina de serra deve ser danificada ao invés do equipamento (ARSHINOV; ALEKSEEVICH, 1979).

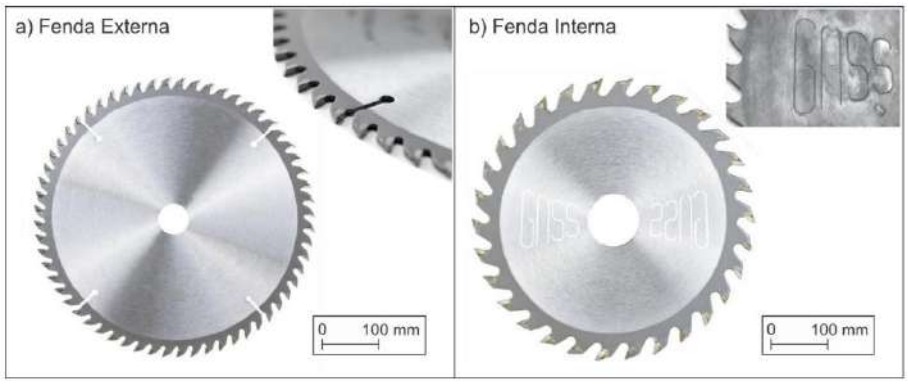
Embora a serra de fita seja bastante utilizada, hoje nas indústrias a operação de serramento da madeira é executada em grande escala através das serras circulares, elas apresentam diversas variações de diâmetros, quantidade, espessuras e geometrias dos dentes. A quantidade de dentes é influenciada por fatores como a operação a ser

executada, qualidade superficial, altura dos dentes, propriedades da madeira, tipo de cavaco gerado e velocidades exercidas no corte. Pode-se afirmar que com o aumento do diâmetro do disco, sua espessura tende a diminuir. Os discos com pequenas espessuras são denominados discos finos, sendo assim, quando apresentam uma espessura 200 vezes menor que o diâmetro da ferramenta (GONÇALVES, 2000).

Uma característica fundamental da serra circular é a sua espessura, ela é composta de duas espessuras, sendo uma relativa a largura do inserto e a outra referente ao disco. Esta diferença de espessuras é necessária para que exista uma folga entre as faces laterais do disco e da peça, com o objetivo de reduzir o atrito e desgaste da ferramenta (ARSHINOV; ALEKSEEVICH, 1979).

No corte da madeira e metais não ferrosos, a operação de serramento é executada em altas velocidades de corte, gerando o aumento da temperatura nos gumes. No corpo da serra podem ser abertas fendas, que tornam possível o alívio de tensão do disco durante o corte. As fendas são classificadas em externas (a) ou internas (b), conforme ilustrado na Figura 3 (MOREIRA et. al.,2011).

Figura 3 – Detalhe das fendas de alívio: (a) externas e (b) internas.



Fonte: adaptado de Wirutex (RIZZON, 2015).

A geometria dos dentes das serras circulares e o método de afiação são influenciados pelas exigências mecânicas do corte e pela qualidade da superfície exigida na peça. Outros fatores como a matéria-prima da peça e o material da ferramenta, também variam e influenciam na geometria dos gumes da ferramenta. Para obter o melhor desempenho possível de uma serra circular, os parâmetros de corte devem ser adotados conforme o material a ser cortado e a qualidade superficial exigida (KRILEK; KOVÁC; KUCERA, 2014).

Outro material empregado para calçar os dentes de serra é o diamante sintético ou policristalino. O diamante policristalino (PKD) possui excelente resistência ao desgaste, que

pode ser 200 vezes maior que a do metal duro, 2.000 a 3.000 vezes maior que o aço rápido. Os dentes de diamante, na forma de pastilhas semicilíndricas, são soldados sobre o corpo da serra. Em razão da extrema fragilidade do diamante, as arestas cortantes são compostas de um suporte em metal duro somente recoberto por uma camada fina de diamante (BONDULLE, 2002).

As ferramentas devem conter as propriedades necessárias para resistirem as diversas solicitações que estão propensas a receber no processo de corte. A usinagem da madeira requer resistência à abrasão, tenacidade, rigidez e resistência a oxidação. Cada processo de usinagem da madeira possui diferentes solicitações, por isso é importante identificá-los e definir quais as exigências primarias e secundárias, afim de definir o material adequado para a operação. Atualmente, não há nenhum material capaz de cumprir todos as exigências dos processos de corte simultaneamente (STEMMER, 1995; GONÇALVES, 2000).

A elaboração adequada das ferramentas de corte é de suma importância para a sua vida útil, o acabamento das faces usinadas é influenciado por fatores como a rigidez e o comportamento vibratório do ferramental. As ferramentas de corte podem ser classificadas como inteiriças, calçadas ou com dentes postiços (STEMMER, 1995).

Segundo Stemmer (1995), as ferramentas inteiriças, são caracterizadas pela utilização de somente um material em toda sua construção. A concepção destas ferramentas é fundamental para a viabilidade da usinagem. A elevada rigidez é um fator determinante, a fim de evitar o comportamento vibratório acentuado da ferramenta.

As ferramentas com pastilhas intercambiáveis são formadas por um corpo de aço rápido, os dentes podem ser alojados mecanicamente ou brasados com pastilhas de corte em materiais como o aço rápido, metal duro, cerâmico, diamante policristalino, entre outros. O corpo é fabricado com material geralmente de um custo inferior, que pode ser reaproveitado após o desgaste dos gumes da ferramenta. Estas ferramentas são adotadas em processos de precisão, sendo assim, as pastilhas são afiadas montadas na serra, a fim de evitar erros cumulativos vinculados as pastilhas intercambiáveis (STEMMER, 1995).

As ferramentas com dentes postiços ou cassetes, são compostas por um corpo de aço rápido onde os dentes postiços são fixados, eles podem ser inteiriços de aço rápido ou com pastilhas de metal duro. Este sistema tem a possibilidade de utilizar pastilhas nos mais diversos tamanhos e geometrias (STEMMER, 1995).

Os materiais aplicados em ferramentas são identificados em função das suas propriedades químicas, desta maneira, pode-se destacar materiais como aços rápidos, aços

rápidos revestidos, metal duro, metal duro revestido, materiais cerâmicos, nitreto boro cúbico e diamante, utilizados nas mais diversas aplicações e ferramentas (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001).

A Figura 4, ilustra a relação das propriedades mecânicas dos materiais citados anteriormente, de maneira que auxilie na escolha do material adequado para ferramenta, conforme a exigência do processo de usinagem a ser adotado.

Figura 4 – Tipo de constituinte das pastilhas em serras circulares

Fonte: adaptado de Konig e Klocke (1997).

Atualmente, os materiais mais empregados na fabricação de ferramentas para usinagem no setor moveleiro são, os aços rápidos (HSS), o metal duro e o diamante policristalino (PKD). Segundo Gonçalves (2000), as serras circulares são as ferramentas predominantes nos processos de serragem da madeira, classificada pelo tipo de dente adotado, sendo postiços ou fixos. Os fixos são fabricados por meio de estampagem, processo que define a geometria dos dentes, e utilizam o Aço rápido como material. As serras de dentes postiços possuem modelos produzidos para aplicações diferenciadas, mas geralmente as ferramentas com pastilhas de metal duro (vídeas) ou diamantadas são as mais utilizadas no serramento da madeira.

Segundo Vital (2008), em virtude do custo da matéria-prima e da tenacidade de fabricação do diamante, o valor de uma ferramenta calçada com diamante é muito alto.

Desta forma, dentes calçados com PKD não são empregados em serrarias onde a precisão de corte não é necessário.

O uso de Diamante Policristalino PKD em ferramentas para usinagem de madeira era virtualmente desconhecido. Isso tem mudado de acordo com os rumos da economia, afastando-se de madeira natural em direção a compostos de madeira abrasiva que requer materiais para ferramentas de alto desempenho. Consequentemente, hoje é comum encontrar uma ampla linha de ferramentas de PKD, incluindo serras circulares, fresas e perfiladores utilizados na usinagem de compostos de madeira, como painéis aglomerados de madeira, painéis de fibra de média densidade (MDF), e madeira natural (Cook, 1998).

A afiação afeta a durabilidade da serra, pois se realizada com descuido ou com ferramentas inadequadas é normalmente a causa do aparecimento de fendas no fundo dos dentes. Depois da afiação, cada dente deve ser controlado, tanto individualmente como em relação aos outros (Vital, 2008). As lâminas de serra normalmente são afiadas por meio de rebolo de esmeril, empregando-se equipamentos com controle manual ou automáticos (UDDEHOLM, 1964; WILLISTON, 1989).

3.4.2 Afiação das serras

A finalidade de se afiar as serras é a de dar aos dentes forma e ângulos exatos. Um trabalho perfeito de afiação é muito importante para o aumento da durabilidade da serra. As serras são afiadas após serem travadas. Cada dente deve ser controlado individualmente. As pontas devem estar retas e paralelas à superfície da madeira a ser cortada. A afiação pode ser realizada manualmente, através do uso de limas ou automaticamente, com rebolo ou esmeril. São equipamentos e ferramentas para a manutenção de serra circular: martelo para tensionamento da lâmina de serra, acessório para travamento dos dentes de serra, equipamento compacto para afiação das serras. Mesa convexa para tensionamento das serras. (ROCHA, 2002).

Deve-se ter em mente que a vida útil das serras é inversamente ligada ao número de afiações que se realiza, desta forma a observação do momento correto da afiação maximiza sua utilização. Então, antecedendo o processo da afiação, deve-se proceder, primeiramente, a limpeza, pois esta pode aumentar o intervalo entre afiações. Este processo consiste em banhar as ferramentas de corte num líquido que dissolva as resinas da madeira e restos de adesivos. Dentre as principais funções da limpeza, podemos citar a redução da força eletromotriz necessária a usinagem, aumento do rendimento de produção, melhor

conservação das máquinas e redução do número de afiações necessárias, aumentando a vida útil da ferramenta (REMADE, 2012).

3.4.3 Principais defeitos em serras circulares e suas causas

Segundo Rocha (2002), os defeitos e suas causas são oriundos de coletas junto a empresas fabricantes de serras, empresas para manutenção de serras e experiências de profissionais da área de manutenção de serras. Os principais defeitos em serra circular e suas causas são:

a) Corte ondulado e vibrações

- Disco com periferia mais alargada que o centro.

b) Amassados grandes

- Fragmentos rígidos entre o disco e a guia.
- Alimentação da madeira não paralela ao plano do disco.

c) Desvio no corte

- Trava ou recalque insuficientes.
- Excesso de tensionamento.
- Desigualdade entres os dentes, ângulos e travas.
- Tensão inadequada para a velocidade periférica aplicada.

d) Roçamento com algumas das guias

- Disco excessivamente frouxo.
- Ajuste incorreto das guias.
- Presença de abaloados na zona periférica.

e) Surgimento de fendas

- Falta de afiação.
- Queimaduras com esmeril (excessiva velocidade).

- Limagem excessiva na garganta do dente ou próximo a esta.
- Travamento ou recalque insuficientes.
- Tensionamento insuficiente.

f) corte côncavo e ondulado

- Disco excessivamente frouxo.

g) Rotação oscilante

- Disco mal centrado no eixo.
- Tensão incorreta para a velocidade periférica desenvolvida.

h) Ruptura dos dentes

- Trava ou recalque em excesso.
- Falta de afiação.
- Aquecimento da zona central
- Eixo deformado.
- Mesa ou dispositivo de alimentação desalinhados.
- Trava ou recalque insuficientes.

j) Aquecimento da zona periférica

- O disco se introduz na madeira excessivamente (flecha, luz ou raio de curvatura insuficientes).
- Dorso dos dentes muito alto (ângulo de saída pequeno).
- Guias muito próximas do disco.
- Serragem, resina ou gomas, fragmentos nos dentes ou entre o disco e a madeira.
- Trava ou recalque insuficientes.
- Disco demasiadamente rígido entre a periferia e o orifício central, para a velocidade periférica aplicada.

3.4.4 Fatores que influenciam no desgaste da serra

Dentro da mesma espécie, há variação conforme a idade, posição na árvore e fatores genéticos. O ambiente bem como sua manipulação podem também afetar as características da madeira e, consequentemente, sua qualidade (SHIMOYAMA, 1990).

Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis do ângulo das microfibras, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

A importância das propriedades físicas da madeira está relacionada às mais diversas utilizações, tanto nas que requerem resistência mecânica e estabilidade dimensional, quanto nas aplicações que envolvem processamento mecânico, tratamentos de preservação, acabamentos, rendimento de celulose, capacidade energética, entre outros (TRIANOSKI, 2012).

A madeira por ser um material heterogêneo é constituída por carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e pequenas quantidades de enxofre, isto do ponto de vista da química elementar. Trianoski (2012), em relação aos componentes macromoleculares, a madeira é constituída por um complexo químico de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e minerais. Estes elementos refletem diretamente nas propriedades físicas e mecânicas da madeira. Os componentes acidentais, extrativos e materiais inorgânicos, são substâncias que não fazem parte da parede celular ou da lamela média. Os extrativos podem ser ácidos graxos, ceras, compostos fenólicos e alifáticos, terpenos, entre outros.

A presença de depósitos de minerais abrasivos nas células, teor de resina, porosidade, dimensões das fibras, orientação da grã e a presença de nós, tem grande influência na qualidade da superfície e na eficiência dos processos de transformação da madeira (KOCH, 1964; PANSHIN & DE ZEEUW, 1980; KOLLMANN & COTÊ JÚNIOR, 1984; LUCAS FILHO, 1997; SILVA *et al*., 2005).

Segundo a norma ABNT NBR 7190 (1997), são realizados ensaios para a obtenção das propriedades mecânicas das madeiras, a fim de caracterizar os tipos de madeira existentes para a utilização em projetos, os parâmetros adotados para a classificação são: umidade, densidade, estabilidade dimensional, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, compressão normal às fibras, tração normal às fibras, cisalhamento, fendilhamento, flexão, dureza, resistência ao impacto na flexão, embutimento, cisalhamento na lâmina de cola, tração normal à lâmina de cola, resistência das emendas dentadas e

biseladas. As propriedades que possuem maior influência na fabricação de peças de madeira são a massa específica, o teor de umidade e a presença de defeitos naturais da madeira.

Segundo a ABIPA (2013), o painel MDP tem seu processo produtivo controlado por meio do Programa Setorial da Qualidade, na Comissão de Estudos da ABNT (CE 31:000.18), para a revisão e elaboração de novas normas técnicas para painéis de partícula de média densidade. Sustenta a Norma ANBT NBR 14810-2:2018. Os principais requisitos avaliados são: espessura, largura e comprimento (dimensões), esquadro, retilineidade, teor de umidade, densidade e teor de formaldeído. Os painéis são fabricados utilizando madeiras reflorestadas de Pinus e Eucalipto, a densidade do painel pode variar de 550 a 650 Kg/m³, de acordo com a espessura. Neste contexto, podemos abordar melhor a umidade e densidade.

A umidade da madeira é uma das principais características que influenciam no corte. Contudo, há escassez de estudos que mensurem em que magnitude essas propriedades interferem na energia que é requerida durante o processamento. Em geral, os estudos que se concentraram na interação entre a umidade da madeira e as forças envolvidas no processo de corte, relatam que há tendência descendente das forças de corte devido ao aumento da umidade da madeira (FRANZ, 1958; KOCH, 1964; LUČIĆ et al., 2004; MORADPOUR et al., 2013). No entanto, as variações neste comportamento podem ocorrer dependendo das espécies e da faixa de umidade utilizadas (LOEHNERTZ, COOZ, 1998).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980), a densidade básica da madeira varia em função da idade da árvore, aumentando mais rapidamente durante o período juvenil e depois mais lentamente até atingir a maturidade. Assim, a madeira de lenho tardio apresenta densidade básica maior que a de lenho juvenil. Esses mesmos autores afirmaram que a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade.

Kelly (1977) cita que uma das principais variáveis no processo de produção de chapas de madeira aglomerada ou MDP é a espécie da madeira e a razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada.

Artigo publicado na Revista da Madeira (2012), relata o uso da serra gera atrito entre a ferramenta e os painéis. O atrito provoca desgastes dos gumes que alteram os ângulos específicos das serras. É comum haver acúmulo de resinas provenientes da madeira e de adesivos provenientes dos painéis, este acúmulo de resinas ou adesivos também altera os ângulos de corte. Outro fator que define o momento de afiar as ferramentas é a quebra de

parte do gume através de choque mecânico. Uma ferramenta de corte será considerada indevida ao uso, quando a energia gasta para se executar a usinagem for excessiva ou quando o acabamento obtido não estiver de acordo com os parâmetros preestabelecidos. É comum o operador levar em consideração somente a queima da madeira, o excesso de força para avanço e de barulho para decidir o momento de afiar a ferramenta de corte.

3.5 Gestão ambiental e ciclo de vida

A incorporação da dimensão ambiental na empresa recebe o nome de gestão ambiental (BACKER, 2002). Esse campo de estudo desponta como uma temática que desafia a sociedade, tendo em vista que é um objeto multidimensional, que requer modelos analíticos sofisticados e respostas urgentes (JOHANSSEN, 2005). Dentre as definições encontradas na literatura, destacam-se:

Um conjunto consistente de políticas e práticas administrativas operacionais que consideram a proteção do meio ambiente por meio da mitigação de impactos e danos ambientais decorrentes do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de empreendimentos ou atividades, incluindo-se todas as fases do ciclo de vida do produto (ROHRICH e CUNHA, 2004).

É o conjunto dos aspectos da função geral de gerenciamento de uma organização, inclusive o planejamento, necessário para desenvolver e manter a política e os objetivos ambientais da organização (NAHUZ, 1995).

Tais definições, dispõe conceitualmente que a gestão ambiental empresarial envolve as atividades de planejamento e organização do tratamento da variável ambiental em projetos florestais, com o objetivo de alcançar metas ambientais específicas, demandando o engajamento das diversas áreas de gestão a fim de uma administração que otimize os processos produtivos. Entretanto, não há homogeneidade no tratamento da dimensão ambiental pelas empresas (BUYSSE e VERBEKE, 2003), o que leva a literatura especializada a apresentar taxonomias de gestão ambiental empresarial, cada qual constituída por estágios evolutivos, definidos como uma das fases possíveis de "implantação gradual de práticas de gestão ambiental em uma dada empresa (Barbieri, 2004). Dessa forma, diversos autores, Hunt e Auster (1990), Hart (1995), Azzone, Bertellé e Noci (1997); Maimon (1996), Donaire (1999), Sanches (2000), Corazza (2003), Barbieri (2004), Rohrich e Cunha (2004), Seiffert (2005), propõem, geralmente, três estágios evolutivos para a análise da gestão ambiental na empresa.

No primeiro momento, questões ambientais são tratadas em projetos florestais como onerosas, gerando custos extras, de modo que um empreendimento se torna reativo ante as problemáticas ambientais. Empreendimento reagem às continuidades e descontinuidades do arcabouço legal em matéria ambiental. Neste caso, para gerir os efeitos dos impactos ambientais, adotam-se tecnologias de fim de processo, mas não se evita que ela ocorra. Empresas costumam ser legalistas e não prevencionistas.

No segundo momento, trata-se do preventivo, a questão ambiental é uma variável importante para o sucesso empresarial, mas não determinante do desempenho. Evita-se que o impacto ambiental negativo não seja gerado, principalmente, por meio do rearranjo dos processos produtivos. Firma-se que a responsabilidade por essa mitigação do impacto ambiental seja resultado da área de gestão da produção, que demandará dessa responsabilidade para as demais áreas de gestão do empreendimento.

Por fim, os autores relatam que, especialista discorrem sobre a gestão ambiental estratégica, em que a dimensão ambiental é tomada como crítica do sucesso empresarial e como determinante como consecução dos planos empresariais, principalmente em empresas exportadoras (MAIMON, 1996). Neste contexto, a gestão ambiental empresarial atente às certificações da série ISO 14000, a responsabilidade dessa gestão passa a ser compartilhada pela totalidade das áreas do empreendimento, visto que, a gestão ambiental está além da manufatura, onde diversos benefícios são gerados, tais quais, o acesso a mercados de consumidores ambientalmente conscientes, por meio da exploração de estratégias de marketing ambiental (GINBERG e BLOOM, 2004); a possibilidade de exportação da produção para países com legislação ambiental mais severa que a do país de origem (SEIFFERT, 2005); a valorização das ações da empresa, conforme propõe o *Dow Jones Sustainability Group Index* (PRESTON, 2001); geração de vantagens financeiras, por meio da exploração da imagem institucional ambientalmente correta da empresa (MILES e COVIN, 2000); a redução do montante despendido com multas ambientais (HUNG e AUSTER, 1990); a geração de inovações em produtos e processos, oriundas do incremento da preocupação ambiental empresarial (PORTER e LINDE, 1995), são exemplos de como as empresas podem se beneficiar de práticas de gestão ambiental empresarial.

Em função da crescente importância dos problemas ambientais nos modelos econômicos e desenvolvimento, se torna importante o estudo do comportamento dos materiais e substâncias dentro da economia, pois existe uma relação direta de determinados problemas ambientais com estes fluxos (BOUMAN et al., 2000).

Na busca pela melhoria de performance ambiental, deve-se buscar por estratégias proativas de solucionamento de problemas ambientais. Neste sentido, mostra-se importante

considerar o conceito ciclo de vida (SILVA, GARCIA, FREIRE, OMETTO e VARANDA, 2013).

Considera-se produto ecologicamente correto aquele que impacta minimamente o meio ambiente, nas principais etapas do ciclo de vida: aquisição e processamento de matérias-primas, utilização, pós-utilização e descarte, considerando a extração de matéria-prima, transporte, consumo de energia, vida útil, biodegradabilidade e reciclabilidade (BRANDALISE, 2008).

3.6 A linha de produção da fábrica de MDP analisada

Neste tópico, serão abordados a produção de painéis MDP em uma fábrica. A descrição das técnicas do fluxo de processo tem como base as normas técnicas da empresa e a experiência de um estágio acadêmico.

A linha de produção está dividida em 5 fluxos de processos distintos e seriados para a obtenção de painel MDP, para produtos com diferentes especificações. São eles. Fluxo do Processo – Picador, Fluxo do Processo – Moinhos, Fluxo do Processo – Laboratório de Tecnologia da Madeira, Fluxo de Processo – Secadores, Fluxo do Processo – Encoladeira (Cozinha de Cola), Fluxo de Processo – Formação, Prensa, Linha de Classificação e Lixadeira. A todos os fluxos de processo são atribuídas funções e responsabilidades que se dividem em gerência, supervisores e funcionários, estes dois últimos divididos em equipes por quatro turnos de seis horas trabalhadas. Todos os fluxos de processo compõe a linha de produção da fábrica.

No Picador, são depositados nas mesas receptoras, toretes de eucaliptos que passarão pelo descascador para remover a casca persistente, assim, a entrada de madeira roliça sem a casca será picada à medida que o nível de cavaco no pátio de cavaco é consumido pelo processo. Este processo consiste no abastecimento de cavacos no silo, cavacos estes que atendem aos parâmetros e ajustes dos implementos. A picagem é automatizada e acompanhada pelo funcionário operador que testa e analisa a qualidade dos cavacos antes de ter a liberação e seguir para o silo.

No Moinho, o cavaco é transformado em partículas e o acompanhamento do nível do silo permite a quantidade de cavacos que serão extraídos do pátio através da mesa rotativa que é alimentada pela rosca de extração. São seis, onde cinco são equipados com estatores e um conjunto de facas que reduzem o tamanho do cavaco em partículas e um moinho que executa a redução com martelos a redução dos cavacos em partículas. Verifica-se a granulometria e a densidade aparente dos cavacos pela NTE-MDP-032 e 033. Caso os

resultados não estejam satisfatórios, pela norma, solicita-se ajustes do processo para o picador. Se sim, toda a norma é atendida, faz-se o ajuste dos parâmetros dos Moinhos, abastece-se os moinhos com os cavacos e realiza-se o teste de partículas do silo úmido, pela norma NTE-MDP-043. Ao atender a norma realiza-se o abastecimento do silo, caso contrário refaz-se o ajuste dos Moinhos até atingir a granulometria especificada.

Todo material, os cavacos e as partículas de madeira, estão em cada fluxo do processo, Picador, Moinhos e Secador são analisados no Fluxo de Processo – Laboratório de Tecnologia da Madeira, que reúne diversidade de informações sobre as madeiras recebidas das fazendas próprias e arrendamentos. As análises se baseiam em amostras coletadas para cada tipo de produto e devem atender aos padrões das normas (NTE e EMP). O resultado é registrado, analisado e informa-se ao processo os resultados em relatórios. Caso contrário, a matéria-prima não atinge os resultados esperados, é feito o registro e informa-se ao engenheiro responsável, supervisor ou gerente sobre o ajuste dos parâmetros de determinado fluxo de processo até atender ao padrão, no curto prazo.

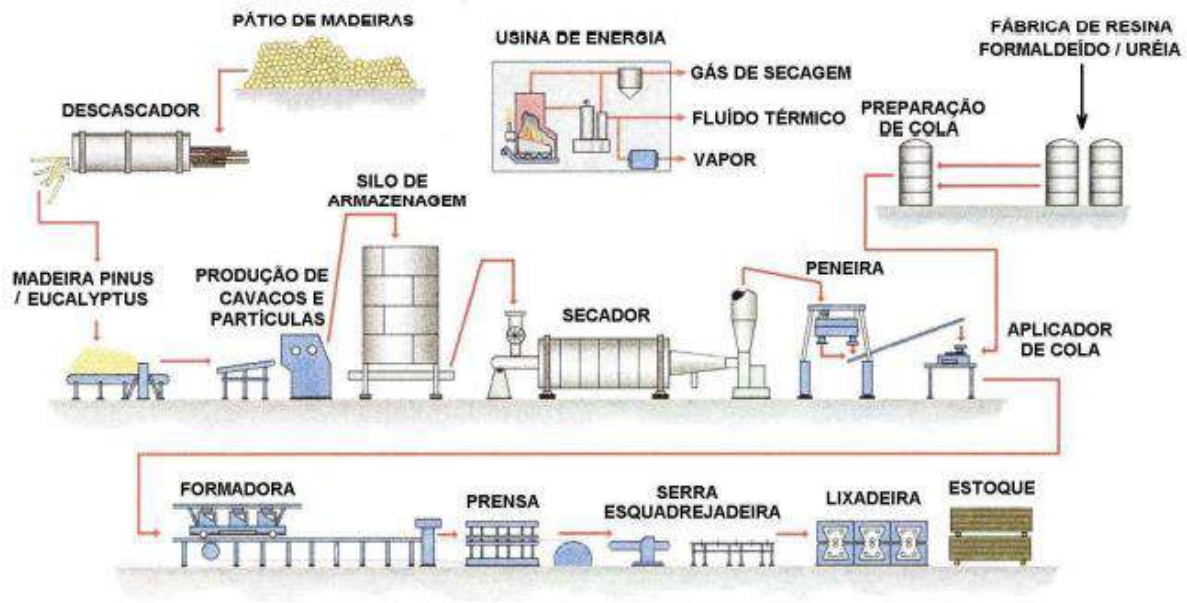
No Secador, verifica-se o nível do material no silo seco e silo úmido. Neste setor são analisadas as partículas utilizadas anterior ao Fluxo de Processo Encoladeira com a formação do colchão. Para isso, é necessário verificar a temperatura e acompanhar a umidade do material úmido (NTE-MDP-031). As roscas de extração das partículas do silo úmido que serão secas nos secadores, que possuem ajustadas a temperatura e vazão de material dos secadores e acompanham o nível do silo corta fogo. As partículas seguem para o sistema de classificação de partículas equipados com peneiras e são secas até 2% e seguem para a formação do painel MDP na pré-prensa combinando camada interna e externa. Verifica-se a umidade, novamente, mas desta vez do silo seco (NTE-MDP-031). Neste processo os ajustes devem atender ao conjunto de normas, de forma que para abastecer o silo seco é necessário conhecer as propriedades físicas da madeira, principalmente quanto à umidade e a densidade enquanto cavacos, analisados pelo Laboratório da Madeira, que realiza teste mais rigoroso quanto à matéria-prima, madeira de eucalipto, recebida no descascador e picador.

Na última etapa do fluxo do processo para a produção do painel MDP, a ordem no processo aborda a formação do colchão, a prensagem desse colchão, a linha de classificação do painel e por fim a lixadeira que dará acabamento. É aqui onde encontra-se a fase de esquadrejamento do painel pelas serras circulares após a prensa consolidar o colchão em painel. As serras circulares fazem o esquadrejamento do painel, permite com que as dimensões sejam exatamente de mesmas dimensões, comprimentos e espessuras das normas de controle de qualidade.

Em todas as etapas de fabricação e revestimentos das chapas, estas devem atender as especificações da empresa, que estão baseadas nas normas técnicas brasileiras, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Deste modo, compreendemos as etapas da produção de painel de madeira MDP. São várias etapas até chegar ao esquadrejamento que define as dimensões de um painel. Na Figura 5, podemos ver o perfil desta etapa. As chapas saem da prensa numa relação de maior temperatura (200 - 220°C) e menor tempo de prensagem com velocidade entre 24 m/min e 32 m/min.

Figura 5 – Fluxograma do processo produtivo do painel MDP com todas as etapas.



Fonte: Iwakiri (2009).

Ao sair da prensa os painéis estão na forma de chapas. Sobre as mesas estão dispostos os motores equipados com as serras circulares, conforme o fluxograma da Figura 5. O esquadrejamento inicia-se no Conjunto 1 ou Conjunto 2, conforme Figura 6, onde as serras estão dispostas do lado direito e esquerdo. As serras circulares do tipo riscadora não tem lado específico para funcionamento nos motores. Já as serras circulares do tipo triturador possuem especificações quanto à posição (direita e esquerda) e deve seguir essa orientação.

Figura 6 – Perfil lateral de dois conjuntos de serras circulares.

Fonte: o autor (2022).

As serras circulares do tipo contra são posicionadas perpendicular a linha de produção das chapas de modo que acompanhe a velocidade de produção das chapas. Esse corte perpendicular a linha de produção é inclinada em 45°, conforme Figura 7.

Figura 7 – Perfil superior do corte de acabamento da serra circular contra.

Fonte: o autor (2022).

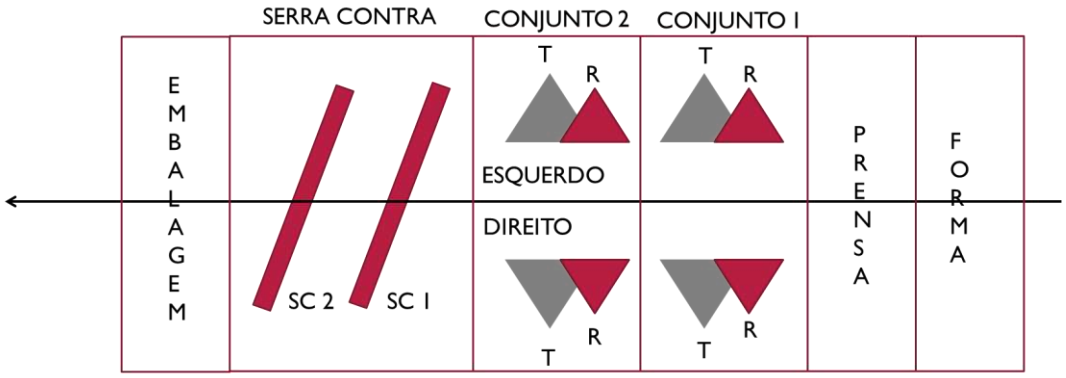
A Figura 8 representa o perfil industrial de uma fábrica de painel no último fluxo de processo. É nesta etapa que a maior parte dos painéis passam por metodologias de controle de qualidade quanto às dimensões, a qualidade da prensagem, a realização de ensaios que irão conferir conformidade aos lotes.

Figura 8 – Perfil do fluxo do processo final em uma fábrica de painel MDP

Fonte: adaptado de *Kontra* (2022).

A Figura 9 representa o processo de esquadrejamento do painel MDP após a pré-formação e prensa. O Conjunto 1 e Conjunto 2 trabalhar de modo alternado, ou seja, enquanto um conjunto funciona o outro não funcionam. Deste modo, enquanto um conjunto passa por manutenção, outro conjunto realiza o esquadrejamento e se mantém a velocidade de avanço do painel que sai da prensa direto para o esquadrejamento.

Figura 9 – Fluxograma do esquadrejamento de painéis MDP



Legenda: R - Riscador, T - Triturador SC - Serra contra (acabamento).

Fonte: o autor (2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados foram obtidos em uma indústria de painéis MDP, do setor florestal paulista, que dispõe de uma metodologia própria para o acompanhamento de suas ferramentas de corte. Os dados obtidos para avaliação fazem parte da rotina de acompanhamento dos equipamentos e insumos aplicados na linha de produção e do qual é responsabilidade do laboratório de tecnologia da madeira da fábrica realizar frequentes análises para manter a qualidade do acabamento do painel.

Foram identificadas as bases existentes para avaliação das ferramentas de corte serra circular em duas fichas existentes na fábrica. Um primeiro conjunto de anotações são os registros de afiações que fica na área de afiação que é de responsabilidade do afiador. Um segundo documento, trata-se dos registros das trocas ou substituições das serras circulares aplicadas no esquadrejamento dos painéis MDP na sala de controle central da prensa, onde as anotações são de responsabilidade dos colaboradores do turno na escala. Esses dois registros usados são fundamentais para o processo produtivo.

Para compreender melhor a avaliação, sugeriu-se a elaboração de um inventário, importante para identificar os tipos de serras circulares e quantificar as disponíveis e suas condições de uso com identificação do fabricante. O inventário das serras circulares permite maior controle dos recursos da área de afiação, quanto à quantidade de serras disponíveis na fábrica e no almoxarifado e, consequentemente, dão subsídios ao setor de compras que cotará os custos para novas aquisições de serras e agenda as futuras compras. Neste caso, o afiador da fábrica reúne as principais informações sobre as serras que estão sob sua responsabilidade. Além disso, o afiador segue as orientações fornecidas pelo fabricante e justifica as trocas e os descartes, quando elas se desgastam ou perdem o fio de corte, juntamente, registra cada movimento, inclusive quando ocorrem fenômenos com empenamento ou quebra da pastilha nas ferramentas de corte.

Por fim, com o objetivo de avaliar como ocorrem as trocas de ferramentas de corte, optou-se por testar três serras circulares a fim de que pudessem ser acompanhadas, cada uma com aplicações distintas no *layout* da serraria apresentada na Figura 9.

Os primeiros cortes de esquadrejamento de um painel MDP serão por um par de serras que estão nos dois conjuntos de serras que revezam os cortes de painéis, lado esquerdo e lado direito. A primeira serra é uma serra circular riscadora do painel usada em qualquer lado do conjunto 1 e 2. Identificou-se o conjunto 2 que passa mais tempo acionado. A segunda serra é a serra trituradora lado esquerdo, presente no conjunto 1 e 2, realiza o primeiro esquadrejamento do painel acompanhando o risco da serra anterior, contínuos e aplicação semelhante à do lado direito que não recebeu serra de teste para o lado direito, no

conjunto. Após o conjunto de serras anterior tem-se a serra circular contra do acabamento do painel MDP que realiza o corte paralelo à linha de produção no acabamento e define a dimensão final do painel. Os testes realizados nessas serras são quantidade de intervalos que a serra recebe a manutenção de seus fios de corte, medição do desgaste das vídeas anotados os seus registros de entrada e saída, horímetros. Embora a limitação da quantidade de cortes estabelecidos seja de 32.000 o correto para a troca da serra circular contra, avaliou-se a quantidade de vezes que foi afiada e a medição do desgaste da vídea, do mesmo modo como previsto para as demais serras circulares que são acompanhadas pelos registros de trocas das serras.

Uma serra quando entra na operação de corte, recebeu afiação, conforme as especificações do fabricante. Assim que as serras são substituídas por outra de mesma tipologia na linha de produção, são registrados os códigos, a tipologia de serra, a hora final da serra anterior desgastada que coincide com a hora inicial da próxima serra afiada. Com esses registros é possível obter o rendimento das serras.

A seguir são apresentadas as serras circulares utilizadas no processo de esquadrejamento e utilizadas para o levantamento das informações. As serras foram acompanhadas quanto às horas trabalhadas, onde o rendimento é obtido pela diferença entre a hora final e a hora inicial (h_1-h_0). As serras testes estão identificadas por meio de códigos do inventário, pelo operador responsável pelas afiações. As serras utilizadas neste trabalho foram identificadas da seguinte forma:

- R-46 – Serra circular riscadora, 200 mm x 4 mm, 36 dentes, fornecedor Franzoi/Santi Serras;
- E-50 – Serra circular trituradora esquerda, 355 mm x 4, 76 dentes, fornecedor Reval Serras;
- A-72 – Serra circular alternada do tipo refiladeira ou destopadeira 350 mm x 4, 80 dentes, fornecedor Reval Serras.

As serras de teste foram elencadas de acordo com quantidade disponível de serras na fábrica, pois a maior parte das serras tinham ao menos um uso e foram guardadas. Os valores de desgaste das serras foram avaliados por meio de um paquímetro digital. Para a medição foi utilizado papel milimetrado para posicionar cada pastilha medida.

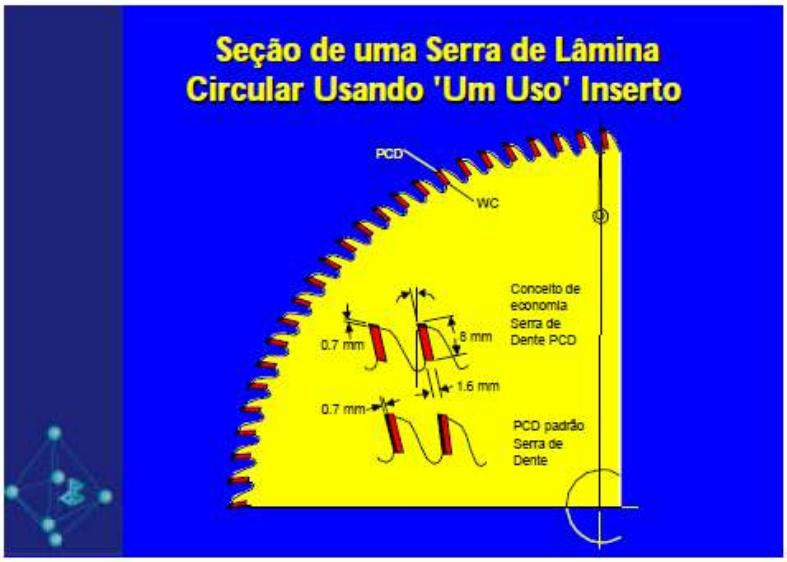
As anotações consistiram em anotação em planilhas onde foram estabelecidos por meio de um banco de dados um conjunto contínuo de anotações datados desde a primeira aferição até a final, tais quais foram estabelecidos que fossem medidos:

- 4 dentes para a serra circular riscadora (R-46);
- 6 dentes para a serra circular triturador esquerdo (E-52);
- 6 dentes para serra circular serra contra de acabamento (A-72);

Para fins de avaliar a três serras, o fabricante prevê que uma serra pode atingir de 10 a 20 afiações conforme o material disponível para todas as serras. O afiador da fábrica garante que existem serras que completaram seu ciclo de vida com aproximadamente 30 afiações.

A Figura 10 representa as medidas tiradas quando serras circulares de testes retornam da linha de produção e estão afiadas.

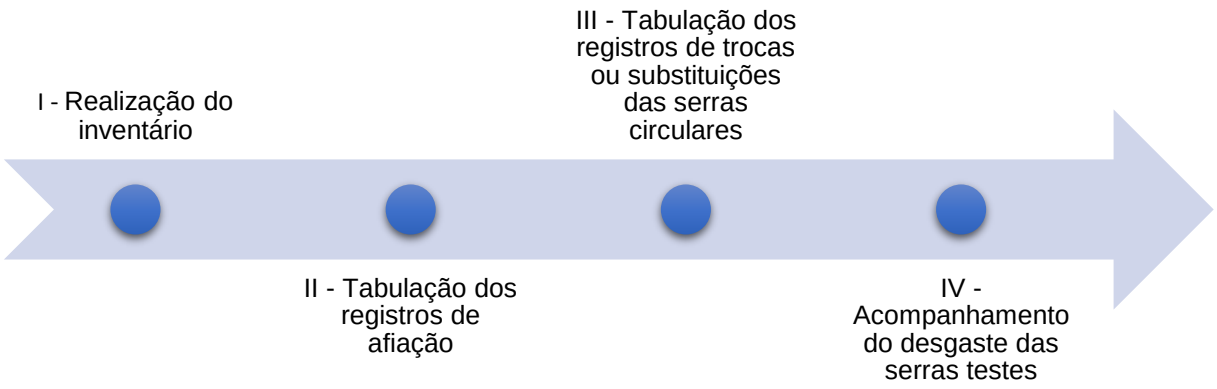
Figura 10 – Representação da altura e largura a ser medida



Fonte: adaptado de M.W. Cook, M.A. Fleming (20

Na Figura 9, o fluxograma de execução das atividades previu em um primeiro momento a confecção de um inventário que descreve as serras circulares por tipo, código de identificação e fabricante. Foram realizadas as tabulações de registros existentes em planilhas nos computadores da área de afiação (central de comando moinhos) e prensa (central de comando prensa). Por fim, foram acompanhados os desgastes de três serras testes em conjunto das demais serras disponíveis e aplicadas no esquadrejamento de painéis MDP, conforme fluxograma de atividade da Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma de execução da metodologia



Fonte: O autor (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão demonstrados em tabelas e gráficos os resultados oriundos de valores registrados em apostilas que servem de livro de registros.

Todos os registros passaram por um tratamento e foram reunidos em um banco de dados que possibilitassem responder o objetivo proposto. As discussões apresentam valores para os aspectos mais importantes de uma avaliação sobre os desgastes das serras circulares na fábrica. São elas, o inventário em si, a quantidade de ferramentas disponíveis, a quantidade de trocas e colaboradores por turno envolvidos, as quantidades de afiações realizadas em uma ferramenta, os rendimentos e por último o acompanhamento do desgaste de três serras.

5.1 Avaliação do inventário das ferramentas de corte

Nesta primeira avaliação foi possível identificar as seguintes serras circulares na área de afiação (Tabela 1).

Tabela 1 – Identificação das serras no inventário

TIPO DE SERRA CIRCULAR	ESPECIFICAÇÃO DO FABRICANTE	CÓDIGO
Serra – Contra	Acabamento 350mm 80Z D3 C4.4 AT 15.0 AF E-D FR30	A
Serra – Contra	Acabamento 400mm 72Z D 3.5 C5 AT15.0 AF E-D FR30	B
Serra – Triturador Lado Esquerdo	Triturador lado esquerdo 300 mm 72Z C5 EL 3.2 FURO 80	E
Serra – Triturador Lado Direito	Serra triturador lado direito 300 mm 72Z C5 EL 3.2 FURO 80 AT	D
Serra – Riscador	Serra Riscador 200 mm 36Z D3.2 C4.4 C15.4 AT8 AF E-D F40	R

Z: dentes; D: espessura do disco; C: espessura do corte; AT: grau de inclinação do dente; AF (E: esquerda; D: direita).

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Por meio da realização do inventário foi possível quantificar as ferramentas disponíveis para uso na área de afiação e almoxarifado da fábrica. Foram encontradas 21 serras circulares do tipo riscador (Tabela 2); 27 serras circulares do tipo triturador (Tabela 3), e; 67 serras circulares contra (Tabela 4). Totalizou-se 115 serras circulares de diferentes fornecedores.

As serras do tipo riscador em uso somam 21 de 3 diferentes fabricantes (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidade e Fabricantes da serra circular – Riscador

Riscador 200 mm – R Fornecedor	**Quantidade**
Santi	11
Leitz	6
Sul Serras	4
Total	**21**

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Diferentes fabricantes de serras riscadoras foram encontrados, assim como para as serras circulares trituradoras (Tabela 3), estas apresentam apenas um fornecedor para as serras do tipo triturador direito, mas dois fornecedores para as do tipo triturador esquerdo. Estas serras totalizam 27 trituradoras atualmente em uso nos primeiros cortes laterais (direito e esquerdo) do esquadrejamento de painéis MDP.

Tabela 3 – Fabricante da serra circular – Triturador Direito

Triturador Direito 355 mm – D Fornecedor	**Quantidade**
Reval	14

Triturador Esquerdo 355 mm – E Fornecedor	**Quantidade**
Reval	7
Sul Serras	4
N/I	2
Total	**27**

N/I: não identificado.

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

As serras circulares do tipo triturador esquerdo levantadas, como aponta o Tabela 3, possuem poucas informações dos fabricantes, algumas delas não possuem informação devido ao desgaste físico da serra na lateral onde a marca d'água do fabricante e características da serra são registradas. Contudo, as serras trituradoras estão, praticamente, em mesmas quantidades para o lado direito e esquerdo e são de diferentes fabricantes. A fábrica possui diferentes fornecedores para essas serras circulares. As serras têm seus custos cotados pelo setor de compras da fábrica.

No Tabela 4, as serras do tipo Contra de 350 mm apresentam um fornecedor e as serras do tipo Contra de 400 mm apresenta maiores quantidades de serras. Esse tipo de ferramenta é aplicado em distintas espessuras de painéis, sendo a serra de 350 mm mais aplicada no acabamento do esquadrejamento dos painéis MDP do que a serra circular de 400 mm usada para painéis com espessura maior que 17 mm na linha de produção. Foram encontradas 67 destas serras em uso, contudo maior parte delas não têm identificação com o seu código e não consta o primeiro uso.

Tabela 4 – Fabricante da serra circular – Serra Contra A e B

Serra Contra 350mm – A Fornecedor	**Quantidade**
Reval	17

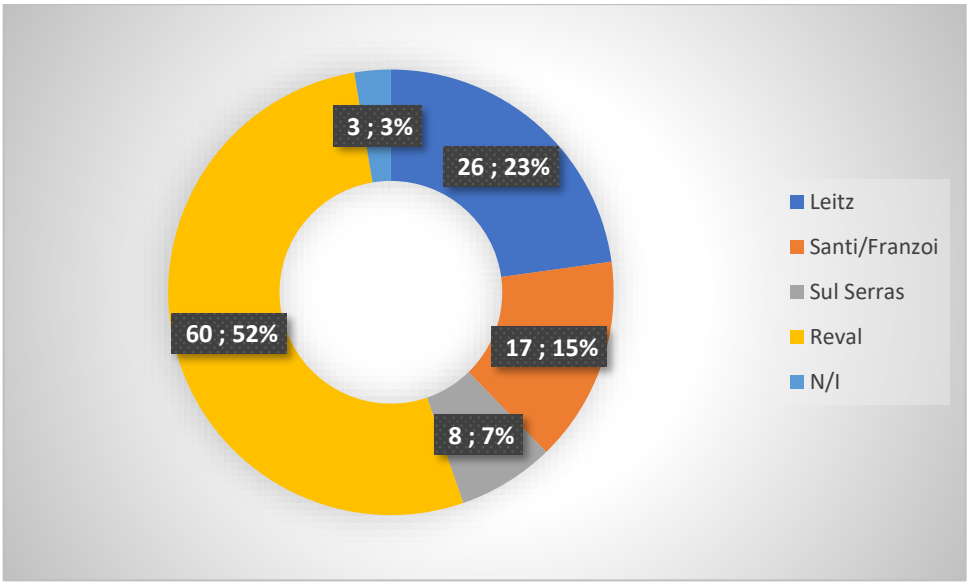
Serra Contra 400 mm – B Fornecedor	**Quantidade**
Reval	22
Leitz	20
Santi	7
N/I	1
N/I	1
Total	67

N/I: não identificado

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Por fim, com base no levantamento das serras, pode-se verificar a maior participação na quantidade de serras do fabricante Reval (Gráfico 1), contudo a fabricante não possui a serra circular do tipo riscador trabalhando na fábrica.

Gráfico 1 – Fornecedores das serras



N/I: não identificado

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Conforme demonstraram as tabelas acima, as quantidades por tipo de ferramenta em uso têm variabilidade e foram encontrados até quatro fornecedores distintos fornecendo serras circulares para a fábrica em quantidades disponíveis na área de afiação. São serras que foram adquiridas em períodos que não ocorreu controle adequado em execução, ou mesmo por não ter o afiador responsável. Assim, as ferramentas de corte eram compradas, novas e com fio de corte eram usadas na linha de produção até perder o fio de corte no esquadrejamento de painéis MDP e depois muitas delas foram guardadas com apenas uma quantidade de uso até que pudessem ser afiadas e usadas novamente na linha de produção.

A ausência de um controle de afiação das serras circulares mais a ausência do afiador responsável treinado para garantir fios de corte regulados para o esquadrejamento pode gerar falhas e aumentar custos com aquisições de novas serras circulares desnecessárias para o esquadrejamento realizado. Com o controle realizado seguindo pequenos procedimentos padrões para acompanhamento das serras permite que as serras não fiquem paradas por muito tempo ou se acumulem.

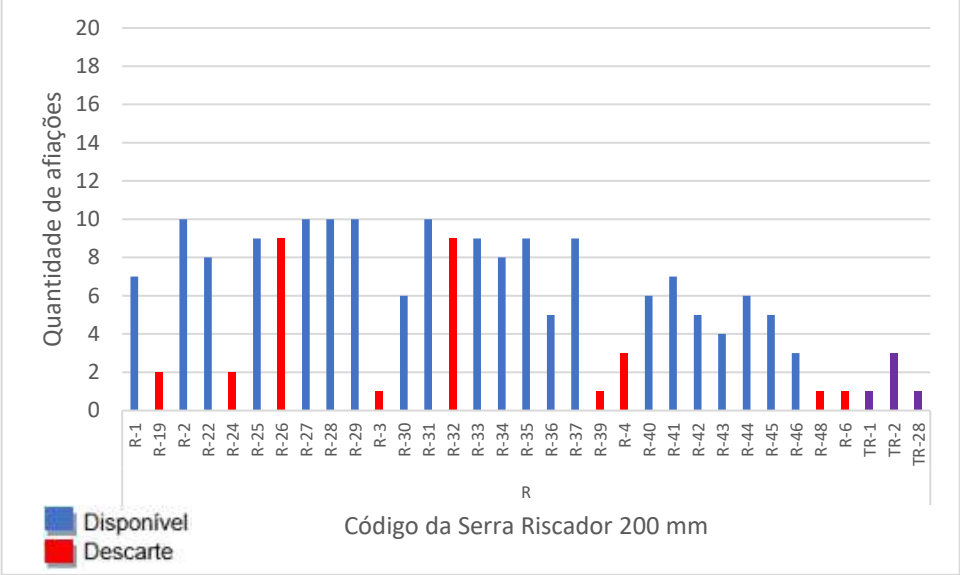
Para fins de análise do desgaste das serras não é ideal que as serras estejam disponíveis em quantidades maiores que a quantidade mínima de vezes em que são trocadas as serras circulares em um mês.

5.2 Avaliação do controle de afiações das ferramentas de corte

Com o objetivo de reduzir a quantidade de ferramentas de corte em uso, foi analisado o controle de registros das serras no ano de 2021 pelo afiador responsável, onde estão anotados a entrada de uma nova serra, a afiação após perda de corte e o descarte. Trata-se de um rastreamento, o movimento da ferramenta entre a aplicação na prensa e a área de afiação. A seguir, são apresentados os gráficos referentes a cada ferramenta por meio de seus códigos.

Para as serras riscadoras foram encontrados registros de afiações em quantidades (Gráfico 2), das serras levantadas pelo inventário e das não mais existentes descartadas. As serras descartadas não têm apoio quanto ao tipo de descarte e fabricante.

Gráfico 2 – Quantidade de afiações das serras circulares riscadoras por código de identificação



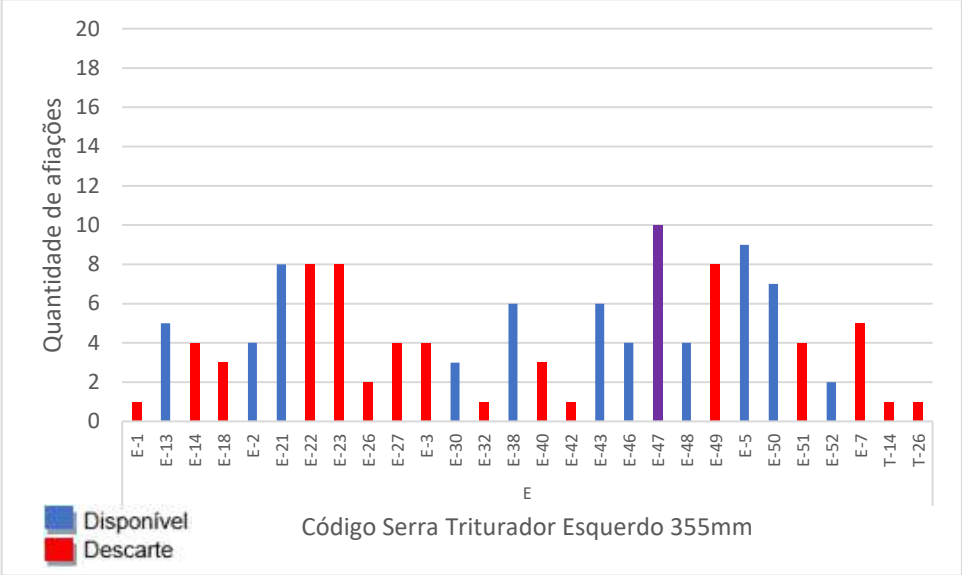
Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

No inventário das ferramentas, foram encontradas 21 serras circulares do tipo riscador disponíveis. Contudo, no controle das afiações, ocorreu o acompanhamento de 12 serras circulares que não foram levantadas e apresentam em sua maioria baixa quantidade de utilização, demonstrado pelo Gráfico 2. As serras disponíveis com maiores quantidades de afiações estão em patamares entre 3 e 10 afiações, próxima em quantidade de serras cuja afiações destas não são mais realizadas, estão entre 1 e 9 quantidades de afiações.

A mesma situação ocorre com as serras circulares do tipo triturador esquerdo que somam até 13 disponíveis no inventário, sendo que 11 ocorrem no registro de afiações e 16 serras não foram levantadas no inventário e ocorrem no levantamento de afiações com

patamares de no máximo 8 afiações, sendo que 5 delas foram descartadas com apenas uma afiação, representadas no Gráfico 3.

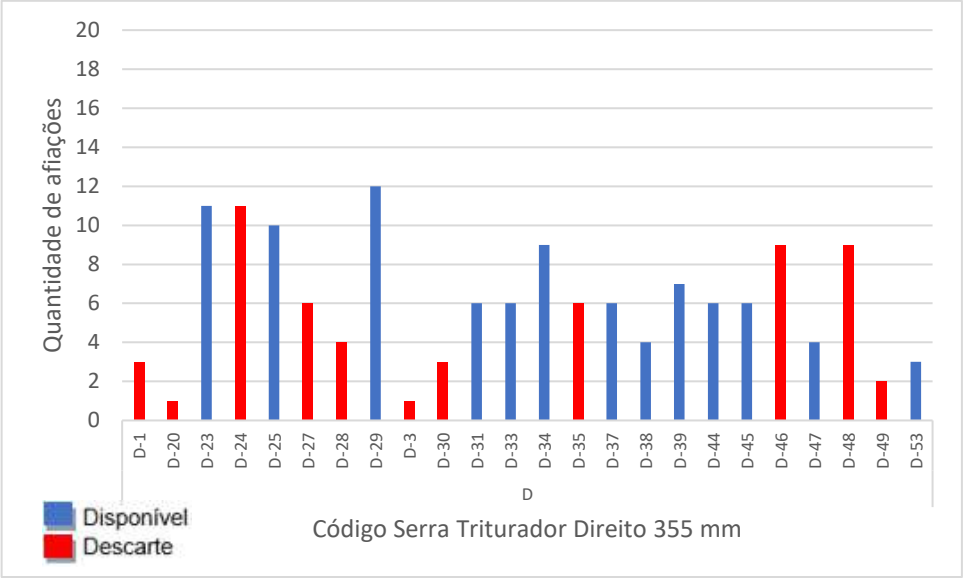
Gráfico 3 – Quantidade de afiações das serras circulares trituradoras (esquerda) por código de identificação



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

As ferramentas do tipo triturador direito (Gráfico 4) somam 14 serras levantadas no inventário, sendo que 11 ocorrem apenas nos registros de afiação com patamares entre 1 e 11 quantidades de afiações. A serra D-35 foi descartada após a realização do inventário, deste modo foi identificada o seu tipo de descarte como erro de afiação, onde as pastilhas foram desgastadas no rebolo afiador, o que favorece uma perda de balanço da serra na linha de produção. Foi a única serra em que observou um descarte por erro de afiação, contudo não foi considerado anteriormente na metodologia anotações para este tipo de descarte.

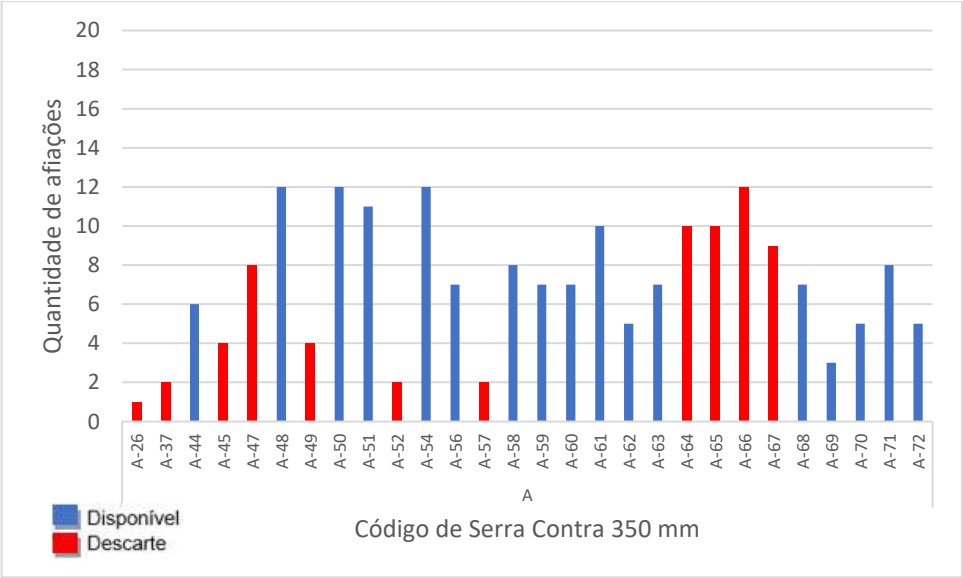
Gráfico 4 – Quantidade de afiações das serras circulares trituradoras (direita) por código de identificação



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

As ferramentas de corte de acabamento que aparecem no Gráfico 5 confirmam as 17 serras levantadas no inventário da área de afiação com patamares entre 3 e 12 afiações, contudo nos registros de afiações, foram encontradas 11 serras descartadas com patamares de afiações entre 1 e 12 afiações. Estas serras descartadas não possuem registros de tipo de descarte e fabricantes.

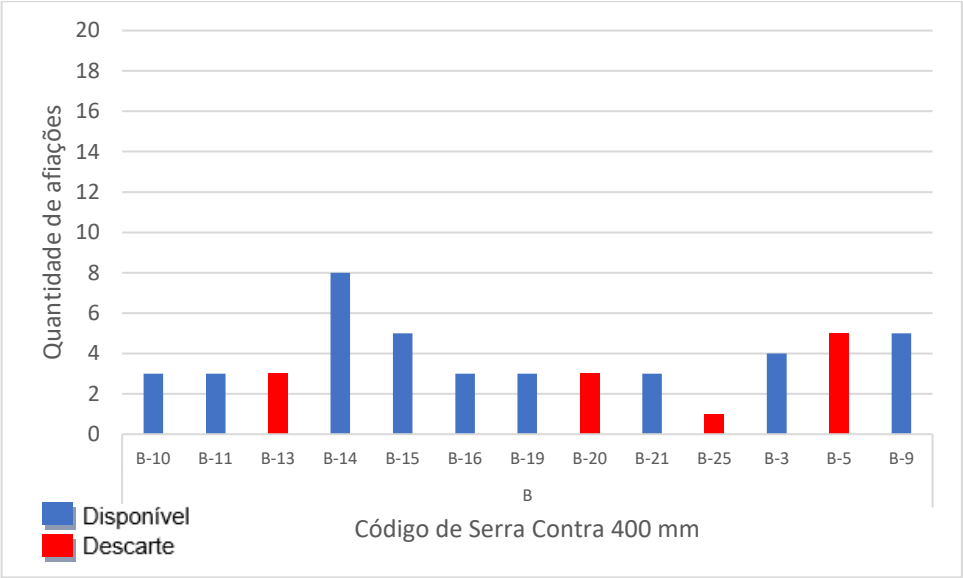
Gráfico 5 – Quantidade de afiações das serras circulares contra 350 mm por código de identificação



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Por fim, o Gráfico 6, não representa a mesma quantidade de serras levantadas e encontradas nos registros de afiações, o inventário aponta para 50 serras, porém nove ferramentas de corte do tipo serra circular contra de 400 mm são aplicadas na linha de produção. As demais serras estão reservadas para uso futuro e não foram incluídas, pois estão sem identificação.

Gráfico 6 – Quantidade de afiações das serras circulares contra 400 mm por código de identificação



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

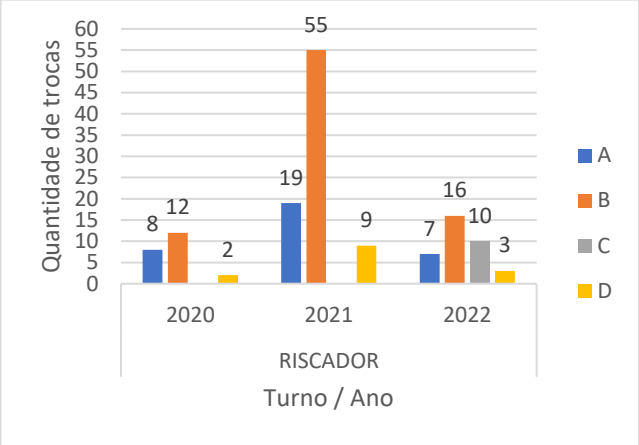
A quantidade de descartes de serras circulares registradas nos últimos 4 meses foi o total de uma serra circular. As demais serras descartadas observadas, foram de um período anterior ao atual inventário. Neste sentido, as serras descartadas anteriormente não possuem o tipo de descarte realizado. As serras descartadas em período anterior a elaboração do inventário podem ter outros tipos de descarte, além dos três atualmente utilizados. Em tempo, as suas identificações por códigos podem ter sido registradas com relevante quantidade de afiações, assim ficando em patamares de afiações próximas as das serras que foram iniciadas na linha de produção em período recente a do inventário.

A ocorrência de erros do afiador pode aumentar a quantidade de serras descartadas em um inventário. Tais erros se dão por falhas na programação automática das serras nas máquinas de afiação. A programação da máquina de afiação das serras circulares leva em consideração as especificações do fabricante das serras quanto ao ângulo de ataque, direção e contato superficial do rebolo afiador ao corpo da serra.

5.3 Avaliação dos registros de trocas das ferramentas de cortes por turno

Os resultados contidos no Gráfico 7, contém a quantidade de registros de trocas de serras circulares por turno e ano, exemplo de uma serra circular do tipo riscador. Cada turno que fez a troca tem a responsabilidade de anotar o código da serra, a hora de entrada e saída de cada ferramenta.

Gráfico 7 – Rendimento de anotações por turno



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Desde a implantação do registro de horas trabalhadas por serra para avaliar o desempenho das mesmas, em planilha eletrônica desde 2020, contém as anotações ocorreram em quantidades insuficientes para a realização de uma análise. Enquanto o afiador responsável pelo controle de afiações registrou 709 afiações nos anos 2021 e 2022, os operadores das trocas de serras na prensa fizeram um total de 141 registros de trocas em 2020, 2021 e 2022.

5.4 Avaliação dos rendimentos das serras

Por fim, são apresentados nesta parte das discussões o rendimento das serras em dias trabalhados que condiz ao seu total de entradas no fluxo do processo de produção dos painéis de madeira MDP quanto ao esquadrejamento.

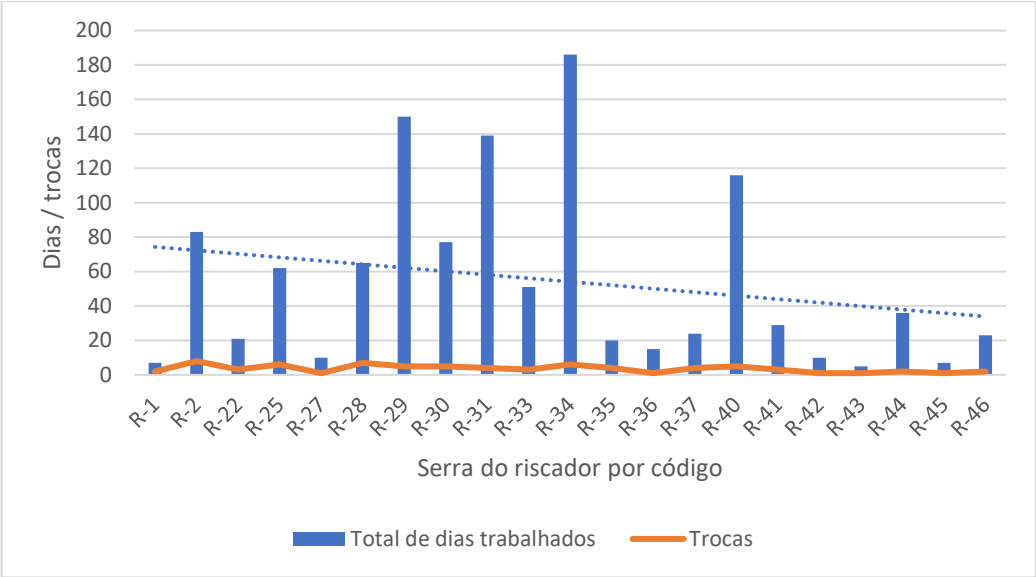
Os Gráficos 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam o rendimento em dias das serras e uma linha de tendência onde é possível notar quando extrapolam o rendimento de algumas serras, que ocorre por falhas em registros das planilhas, onde foram anotados os valores de entrada da serra circular e não foi registrada a saída, o que ocasionou maiores horas trabalhadas para serras que não tinha relação com o registro anterior ou posterior de outra serra substituída. Contudo, é possível reconhecer falhas em registros, quando é conhecido o tempo em que uma serra pode levar para perder o fio de corte, que é de aproximadamente 7 dias.

Em determinados períodos, a fábrica experimentou a troca de serras a cada sexta-feira do mês, gerando 4 trocas programadas por mês. Com este parâmetro, não haveria necessidade de fazer a troca das serras permitidas em paradas não programadas ou apenas quando uma serra circular perde o seu fio de corte. Atualmente, há a necessidade de um operador com um olhar experiente que percebe quando as serras perdem o fio de corte, é quando chapas ficam chamuscadas, ou seja, pela ação do atrito do fio de corte gasto a ferramenta de corte começa a queimar a lateral do painel.

Os resultados de rendimento das ferramentas, elencados nos próximos gráficos, foram construídos com os registros das entradas e saídas das serras na linha de produção de painéis MDP, sendo manualmente anotados em planilhas eletrônicas, de um computador instalado no comando da prensa, o código de serra, horas inicial e final trabalhados. Foram consideradas apenas as serras levantadas no inventário da afiação e aquelas que aparecem no controle de registro de afiações. Estas serras, normalmente, operam em média 7 dias.

No Gráfico 8, uma linha de tendência acusa para uma quantidade ideal de dias trabalhados para uma ferramenta de corte riscadora. Algumas destas ferramentas de corte estão acima da média por quantidade de trocas. São serras que ficaram trabalhando acima da média de 7 dias, quantidade mínima para um bom rendimento das serras. As serras que tiveram médias acima da linha de tendência não tiveram registros feitos de maneira correta e que correspondam a um rendimento ideal.

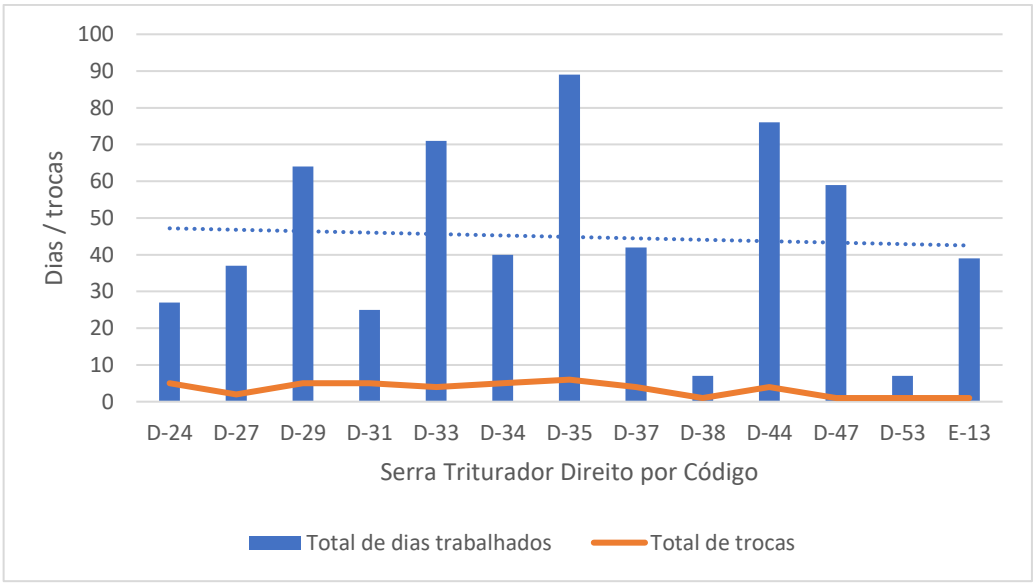
Gráfico 8 – Rendimento em dias por troca da serra riscador



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

De mesmo modo, ocorre situação semelhante para as serras circulares do tipo triturador, conforme Gráfico 9 e 10 que estabelecem níveis de afiação acima da média para a quantidade de trocas. É uma relação que pode ser dimensionada corretamente se novos registros seguir corretamente as entradas e saídas das serras se os operadores realizarem corretamente os registros das trocas das serras.

Gráfico 9 – Rendimento em dias por troca da serra triturador direito



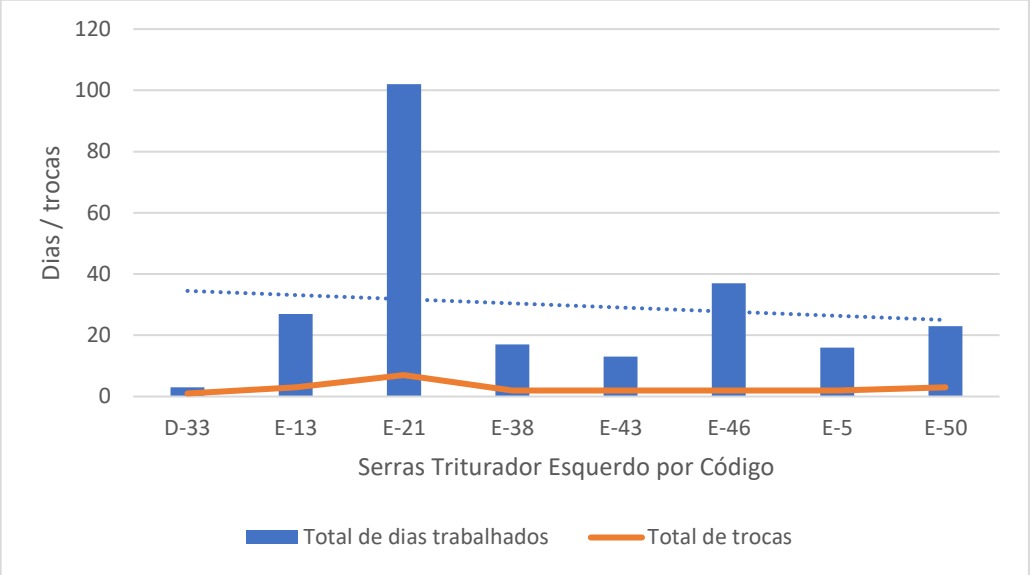
Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Apesar de as serras circulares do tipo triturador possuírem a mesma finalidade ao realizar a rebarba dos painéis de MDP, a orientação dos graus de corte de ataque é

diferente, para o lado direito e esquerdo do painel e as quantidades encontradas no inventário estão ajustadas para quantidades semelhantes, porém diferentes rendimentos em dias trabalhados foram observados. Sugere-se que o registro para estas serras é defasado quanto às anotações de entrada e saída durante as trocas.

O Gráfico 10 apresenta comportamento distinto do gráfico anterior, pois possui menos quantidades de serras avaliadas com rendimento em dias inferiores e a patamares que estão próximos de 7 dias, mínimo que uma serra pode apresentar com bom fio de corte para a produção de painéis.

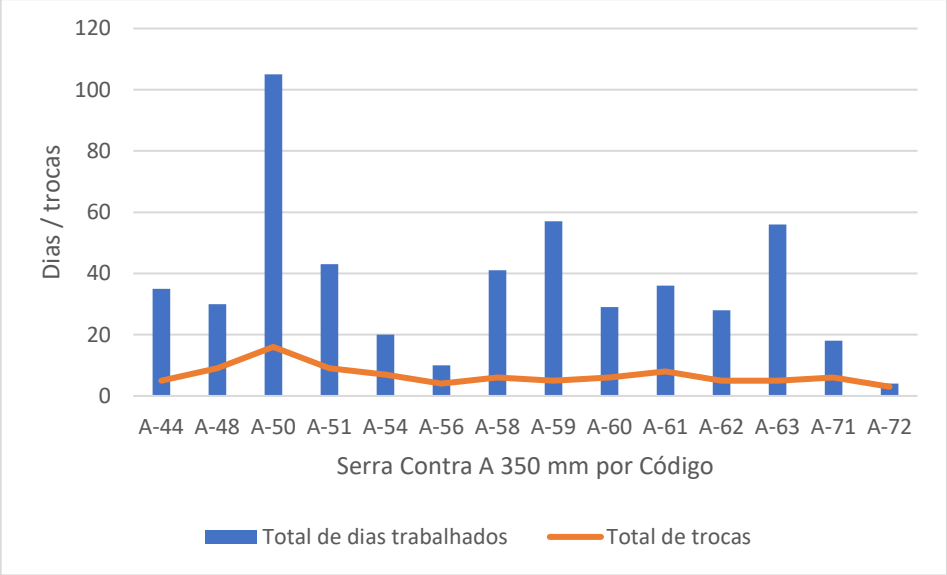
Gráfico 10 – Rendimento em dias por troca da serra triturador esquerdo



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Os Gráficos 11 e 12 apresentam os rendimentos das serras contra que são trocadas a cada 32.000 cortes. Apesar destas serras ser substituídas em uma quantidade de corte pré-definida no sistema de controle da prensa, as trocas ocorrem semelhantes as serras trituradoras, quando passam a chamuscar o painel MDP.

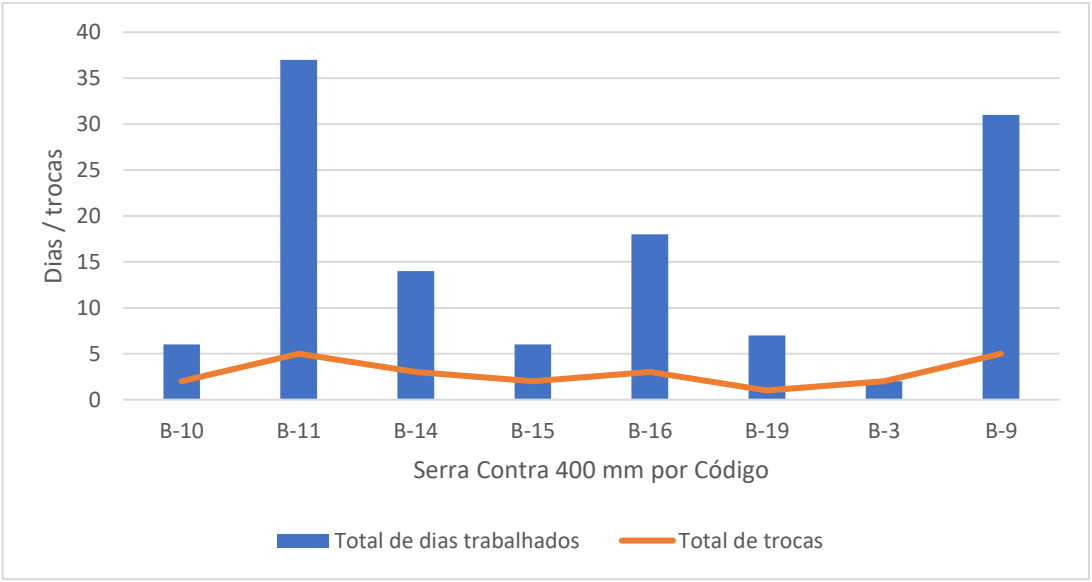
Gráfico 11 – Rendimento em dias por troca da serra contra 350 mm



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

As serras circulares do tipo contra são as serras que menos possuem horas-trabalhadas no processo de esquadrejamento, conforme é possível comprovar com o Gráfico 12. Pois elas são utilizadas para painéis de MDP que estão acima dos 15 mm de espessura. Seu uso é menos frequente do que as serras circulares do tipo contra de 350 mm.

Gráfico 12 – Rendimento em dias por troca da serra contra 400mm



5.5 Avaliação do desgaste de três tipos de ferramenta de corte

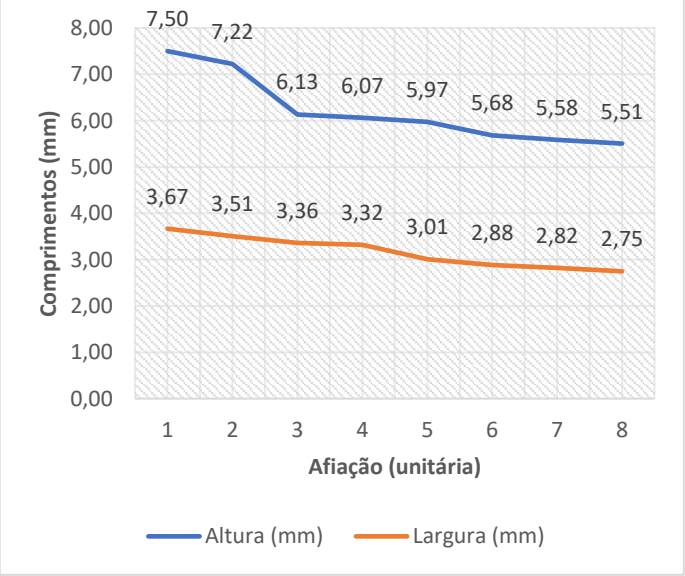
Os Gráfico 13, 14 e 15 representam o desgaste das serras circulares quanto à altura e a largura da pastilha, localizadas no dente da serra. Neste sentido, a altura e a largura representam o desgaste que é consequência do atrito no contado direto da serra circular com as substâncias abrasivas constituintes do painel de madeira MDP.

Inicialmente, as medições desta serra tiveram início em janeiro e, a cada mês até abril foram remedidas 2 vezes no mês, sendo intercaladas com as demais serras disponíveis do inventário da área de afiação, quando substituída a serra de teste no período em que são limpas e afiadas.

Com a finalidade de compreender o desgaste da serra, avaliou-se três tipo de serras circulares distintas. As três ferramentas de teste foram acompanhadas desde a primeira aplicação, contudo nenhuma delas concluiu o seu tempo de vida nos meses em que ficou disponível para serem aplicadas na linha de produção do esquadrejamento dos painéis MDP. O acompanhamento foi parcial em virtude do curto período para a avaliação das ferramentas.

O Gráfico 13 representa a serra R-46, utilizada 8 vezes na linha de produção. No período em que foi aplicada, não houve apenas um maior desgaste entre os intervalos 3 e 4 de afiações, sendo estas as que mais desgastaram as serras em cerca de 15%.

Gráfico 13 – Desgaste do riscador – R-46



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

Nas duas primeiras afiações há uma grande perda em altura das pastilhas. A Tabela 5 permite observar porcentagem de perda para altura e largura e perda de área no perfil quanto às afiações.

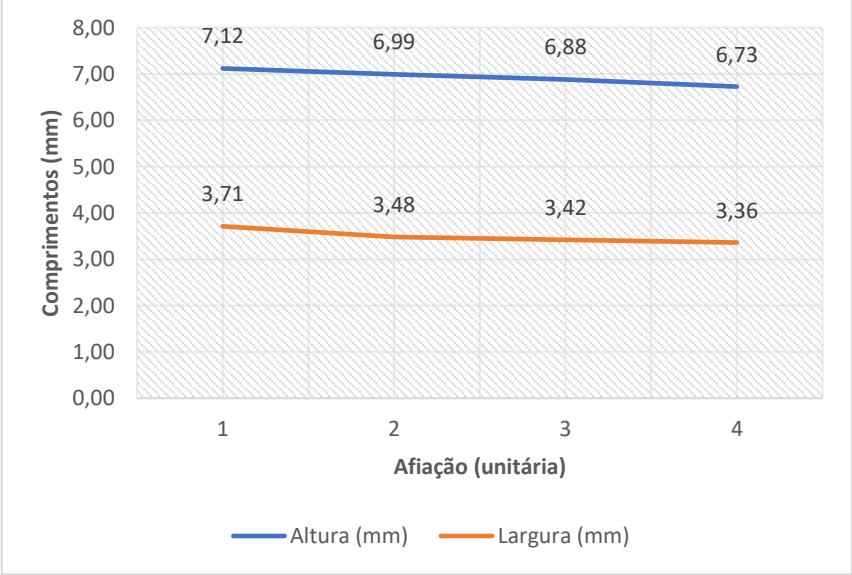
Tabela 5 – Perda em desgaste para o riscador – R-46

Número de afiação	Altura	(%)	Largura	(%)	mm²
1	7,50	-	3,67	-	27,51
2	7,22	4%	3,51	4%	0,04
3	6,13	15%	3,36	4%	0,16
4	6,07	1%	3,32	1%	0,00
5	5,97	2%	3,01	9%	0,03
6	5,68	5%	2,88	4%	0,04
7	5,58	2%	2,82	2%	0,01
8	5,51	1%	2,75	3%	0,01

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

O seguinte conjunto de dados, avalia os resultados obtidos para a serra circular do tipo trituradora E-50, compreende o desgaste dos trituradores, quanto à altura e largura. Elas possuem distintas relações de perdas das pastilhas, o que é demonstrado pelo Gráfico 14, e é possível perceber uniforme desgaste na altura em todas as afiações realizadas, porém representa maior desgaste de área na segunda afiação, confirmando a não uniformidade de perdas para a largura conforme a Tabela 6.

Gráfico 14 – Desgaste do triturador – E-50



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

A Tabela 6 demonstra mais uniformidade em desgaste das serras em altura do que em largura, este último que teve maior perda entre as trocas 1 e 2.

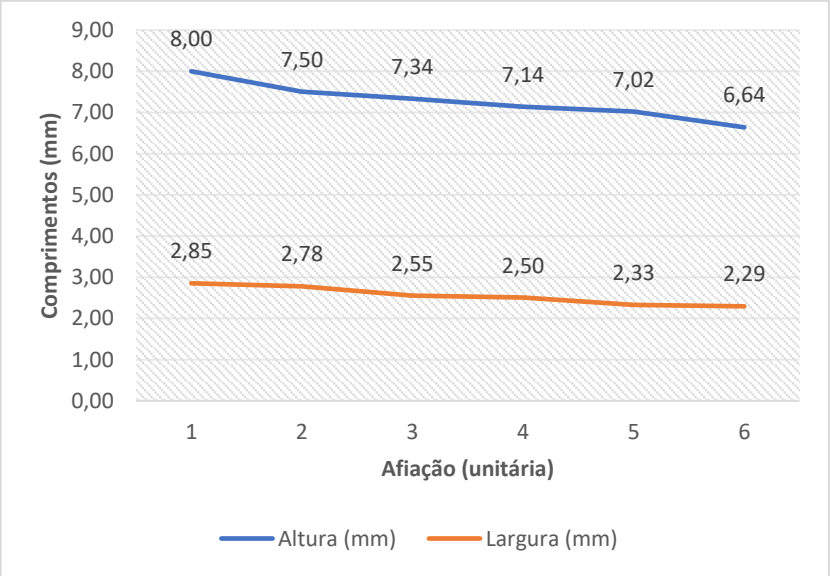
Tabela 6 – Perda em desgaste para o triturador – E-50

Número de afiação	Altura	(%)	Largura	(%)	mm²
1	7,12	-	3,71	100	26,42
2	6,99	2%	3,48	6%	0,03
3	6,88	2%	3,42	2%	0,01
4	6,73	2%	3,36	2%	0,01

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

O desgaste da serra circular de acabamento, conforme indica o Gráfico 15, possui as maiores diferenças de perdas ao longo das seis afiações realizadas. No geral são perdas pouco significativas do ponto de vista de qual comprimento mais contribui para a perda em área, como demonstra os resultados da Tabela 7.

Gráfico 15 – Desgaste da serra contra – A-72



Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

A Tabela 7, possuem valores que melhor representam as perdas uniformes em área de pastilha. Se em determinado momento perdeu-se mais em altura, por outro lado perdeu-se menos em largura e vice-versa.

Tabela 7 – Perda com desgaste da serra contra – A-72

N	Altura	(%)	Largura	(%)	mm²
1	8,00	-	2,85	-	22,83
2	7,50	7	2,78	3	0,04
3	7,34	2	2,55	9	0,04
4	7,14	3	2,50	2	0,01
5	7,02	2	2,33	8	0,02
6	6,64	6	2,29	1	0,01

Fonte: Fábrica de painel de MDP (2022).

As três serras de teste que foram acompanhadas não encerraram o ciclo de vida útil, por consequência das constantes substituições, mas as serras circulares totalmente gastas têm sido descartadas a partir de 0,9 mm e 0,6 mm. Para as serras há três tipos de descartes, (i) vídea quebrada; (ii) desgaste de uso e (iii) empenamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido surgiu de uma melhoria solicitada ao laboratório da madeira para desenvolver uma avaliação prática para contornar a ausência de parâmetros para um controle das serras circulares utilizadas no esquadrejamento de painéis MDP. Esta avaliação com base nos registros é capaz de identificar os mecanismos de desgastes das serras circulares, avaliar o rendimento delas para a correta manutenção na linha de produção.

Durante a aplicação do estudo avaliativo, mostrou-se relevante os ajustes que necessitam ser realizados e devem anteceder a operação de esquadrejamento, como conhecimento dos registros e sua importância por todos os colaboradores os registros de informações da análise toda vez que é feita a manutenção das serras.

As serras circulares possuem um ciclo de vida. Este ciclo de vida pode ser medido de diversas formas pelas fabricantes e a indústria de painéis MDP que deseja conhecer o desgaste de seus equipamentos nas características do painel que ela produz, mas ainda é um tema que carece de metodologias voltadas para a sua viabilidade. As fábricas desenvolvem avaliações próprias que devem ser mais frequentes para que os funcionários envolvidos possam perceber a sua participação. O treinamento se faz importante nesse processo, pois a participação dos funcionários nas trocas das serras possibilita conhecimento sobre o processo produtivo, acompanhamento da produtividade por turno e a sugestão de melhoria, estas possibilidades a fim de garantir os acabamentos.

A fábrica avaliada possui meios para obter excelência no controle das serras circulares, importantes para o acabamento de painéis MDP. Fazem parte do controle, realizar um levantamento contínuo das serras existentes na área de afiação, reunir os dados dos registros das trocas e de afiações, bom relacionamento com os fabricantes das serras e correlacionar os resultados para que favoreçam as tomadas de decisões futuras para as aquisições de novas serras.

6.1 Controle do inventário das serras circulares

O controle por meio do inventário permitiu identificar e quantificar as serras circulares em uso ou disponíveis na área de afiação para o esquadrejamento dos painéis. A aplicação de um inventário contorna a ausência de anotações para serras descartadas sem o tipo de descarte nos registros de afiações e possibilita a identificação dos fabricantes, bem como acompanhar seu processo de desgaste no painel MDP de eucalipto.

6.2 Controle dos registros das afiações

Por meio da planilha de registros das afiações foi possível desenvolver um primeiro acompanhamento das serras circulares da fábrica. Antes mesmo do levantamento por meio do inventário, algumas serras circulares foram identificadas por meio de código e tiveram sua circulação rastreada por meio de seu registro. O controle tem o objetivo de quantificar as afiações realizadas na área de afiação e identificar o afiador sem se ater as informações contidas no inventário. As serras podem ser acompanhadas por meio de identificação e de anotações de entrada da afiação. Ao relacionar esse controle com as aferições de altura e largura, permite conhecer a perda de área da pastilha, o que permite conhecer as quantidades máximas de afiações para os tipos de corte e tipo de serra circular do início até completar o ciclo de vida no esquadrejamento de painéis MDP.

6.3 Controle dos registros de troca das ferramentas

A participação dos colaboradores determina se o controle das anotações das trocas das serras circulares do esquadrejamento possui informações completas para obter o rendimento. Sendo confiáveis, o rendimento total de uma serra circular entre a entrada no esquadrejamento com fio de corte até a perda do fio de corte determinará o ciclo de vida das serras até o descarte.

6.4 Controle dos rendimentos das serras

A avaliação para o controle dos registros das trocas das ferramentas de corte traz o rendimento em dias ou horas para cada serra aplicada no esquadrejamento e as quantidades de entradas e intervalos de aplicação por perda de fio e novas afiações. São valores relevantes para estabelecer limites para as trocas. Pode ser alinhada a programação de paradas para a manutenção de máquinas e equipamentos e para facilitar as tomadas de decisões em futuras aquisições de serras pela fábrica.

6.5 Controle do desgaste das pastilhas dos dentes das serras

O controle do desgaste pode ser avaliado quanto à perda de área em pastilha, na altura e no comprimento. Pode ser avaliado de modo que facilmente o afiador identifique a viabilidade de mantê-la apta para ser aplicada no esquadrejamento do painel MDP.

6.7 Recomendações para a avaliação do desgaste das serras circulares

Como resultado, pode-se destacar que o método avaliativo foi capaz de abordar os fatores de desgaste presentes no processo de esquadrejamento do painel MDP. O método utilizado pode referenciar futuras avaliações de ferramentas de corte nos processos de corte disponíveis nas empresas. Para melhor avaliação, recomenda-se para os futuros estudos o controle do desgaste que considerem a quantidade de metros de painéis esquadrejados e o consumo de energia das máquinas na operação de seccionamento. Ainda, estender a utilização das serras até o fim da vida útil, a fim de obter valores máximos de afiações e rendimentos. Por fim, comparar as serras de metal duro com serras de diamante ou outro material constituinte.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Programa setorial da qualidade de painéis de partículas de madeira (MDP) e painéis de fibras de madeira (MDF).** 2013. Números. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/numeros.php> Acesso em: 14 abr. de 2022.

AGROPÓS. **Insumos agrícolas e sua importância para agricultura.** Disponível em: <https://agropos.com.br/insumos-agricolas/>. Acesso em: 14 abr. 2022.

ARSHINOV, V.; ALEKSEEVICH, G. **Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design.** 4 ed. Tradução de Nicolas Weinstein. Moscow: Mir Publishers, 1979.

AZZONE, G.; BERTELÈ, U.; NOCI, G. **At last we are creating environmental strategies which work.** Long Range Planning, v. 30, n. 4, p. 562-571, 1997.

BACKER, P. **Gestão ambiental: a administração verde.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BONDULLE, A. **Usinagem, material de corte e desgaste do gume.** Revista da Madeira, ano 11, n. 64, p 80-86, 2002.

BOUMAN, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; VAN DER BERGH, J. C. J. M.; VAN DER VOET, E. **Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models.** 2000. Ecol Econ, 32, 195-216.

BRANDALISE, L. T. (2008). **A percepção do consumidor na análise do ciclo de vida do produto: um modelo de apoio à gestão empresarial**. Cascavel: Edunioeste.

BROGUEIRA, A. J. **Estudo do Comportamento de uma serra circular**. FEUP. Dissertação. 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/102278>. Acesso em 12 abr. 2022.

BUYSSE, K.; VERBEKE, A. **Proactive environmental strategies: a stakeholder management perspective.** Strategic Management Journal, v. 24, n. 5, p. 453-470, 2003.

CENTRO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA E DO MOBILIÁRIO. **Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria madeireira e moveleira.** São José dos Pinhais, 1996. 73 p.

COOK, M. W., SEN, P.K., ACHILLES, R.D. **Vários Materiais para Ferramentas de Corte de Diamante para Usinagem de Piso de HPL.** Proc. Conferência Técnica de Materiais Ultra Duros, Windsor, Ontário, Canadá 28 – 30 mai. 1998.

CORAZZA, R. I. **Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional**. RAE Eletrônica, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2003.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia de Usinagem dos Materiais.** São Paulo: mm Editora, 2001.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

EVANS, J. L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. **Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones.** Forest Products Journal, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FRANZ, N. C. **An analysis of the wood-cutting process**. Ann. Arbor: University of Michigan Press, 1958. 600p.

GINSBERG, J. M.; BLOOM, P. N. **Choosing the right green marketing strategy**. MIT Sloan Management Review, v. 48, n. 1, p. 79-85, 2004.

GONÇALVES, M. T. T.; RUFFINO, R. T. **Mecanismo de formação do cavaco na usinagem da madeira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. Anais.... São Paulo: [s.n.], 1989. v. 4, p. 163 - 202.

HART, S. L. **A natural-resource-based view of the firm**. Academy of Management, v. 20, n. 4, p. 986-1014, 1995.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**, Lisboa: Círculo dos Leitores, 2002.

HUNT, C. B.; AUSTER, E. R. **Proactive environmental management: avoiding the toxic trap**. MIT Sloan Management Review, v. 31, n. 2, p. 7-18, 1990.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ 2022. Brasília, DF, 2022. 61 p. **Relatório anual 2021.** Disponível em: <http://www.iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>. Acesso em: 20 mar. 2022.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F.; Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba, PR, FUPEF, 2005a, p. 123-166.

JOHANSSON, T. B. **Management and policy for sustainable consumption and production**. Journal of Cleaner Production, v. 13, p. 966-972, 2005.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** (Forest Service. Forest Products Laboratory General Technical Report FPL, v. 10) – USDA. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 66f.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren Band 1**: Drehen, Fräsen, Bohren. 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1997.

KOCH, P. **Wood machining processes**. New York: Ronald, 1964. 530p.

KOLLMANN, F. F.; KUENZI, E W.; STAMM, A. J. 1984. **Principles of wood sciences and technology.** Berlin: Syracuse: Syracuse University Press, c1968. 2 v.

KRILEK, J. ; KOVÁC, J. ; KUCERA, M. **Wood Crosscutting Process Analysis for Circular Saws**, BioResources vol. 9 (nº 1), 2014, 14 p.

LIMA, J. T.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. **Influência do teor de umidade nas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 27-43, jan./mar. 1986.

LOEHNERTZ, S. P.; COOZ, I. V. **Sawtooth forces in cutting tropical hardwoods native to South America.Washington: US Forest Service** (Research Paper FPL- RP, 567) 1998. 16 p.

LUČIĆ, R. B.; GOGLIA, V.; PERVAN, S.; DUKIC, I.; RISOVIC, S. **The influence of wood moisture content on the process of circular rip-sawing**. Part I: Power requirements and specific cutting forces. Wood Research, Kyoto, v. 49, n. 1, p. 41-49, 2004.

MAIMON, D. **Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

MORADPOUR, P.; DOOSTHOSEINI, K.; SCHOLZ, F.; TARMIAN, A. **Cutting forces in band saw processing of oak and beech wood as affected by wood moisture content and cutting directions.** European Journal of Wood and Wood Products, HolzRoh Werkst, v. 71, n. 6, p. 747-754, 2013.

MILES, M. P.; COVIN, J. G. **Environmental marketing: a source of reputational, competitive and financial advantage**. Journal of Business Ethics, v. 23, n. 3, p. 299-311, 2000.

MOREIRA, M. C. et al. **Largura da fenda, formação de cavacos e desgaste gerados pela operação de serramento circular.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 7., 2013, Itatiaia. Belo Horizonte: [s.n.], 2013. 9 p. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2013/PDFS/COBEF2013-0075.PDF>. Acesso em: 24 mar. 2022.

NAHUZ, M. A. R. **O sistema ISO 14000 e a certificação ambiental**. RAE, São Paulo, v. 35, n.6, p. 55-66, 1995.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: 1980. 722p.

PORTER, M. E.; LINDE, C. V. D. **Green and competitive: ending the stalemate.** Harvard Business Review, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995.

PRESTON, L. **Sustainability at Hewlett-Packard: from theory to practice.** California Management Review, v. 43, n. 3, p. 26-37, 2001.

PRYOR, L.D. **Biology of Eucaliptos.** Canberra, Edward Arnold, 1976. 78p. (Studies in Biology, 61).

REMADE. **Controle dos desgastes de serra circular.** 2012. Revista da Madeira. Brasil. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1618&subject=M%F3veis%20&%20Tecnologia&title=Controle%20dos%20desgastes%20de%20serra%20circular>. Acesso em: 29 abr. 2022.

RIZZON, G. **Análise do desgaste em ferramentas no processo de serramento de painéis de madeira reconstituída.** 2018. 68 p. TCC. UCS. Caxias do Sul/RS. Disponível em: < https://repositorio.ucs.br/handle/11338/3648>. Acesso em: 12 fev. 2022.

ROCHA, M. P. **Técnicas e Planejamento em Serrarias.** FUPEF – Série Didática No 02/01. Curitiba, 2002. 121p

ROHRICH, S. S.; CUNHA, J. C. **A proposição de uma taxonomia para a análise da gestão ambiental no Brasil.** Revista de Administração Contemporânea, v. 8, n. 4, p. 81-97, 2004.

SANCHES, C. S. **Gestão ambiental proativa**. RAE, v. 40, n. 1, p. 76-87, 2000.

SANTOS, J. C. **Análise do comportamento das forças em função dos parâmetros de corte na usinagem de madeiras.** 1999. 136 p. Dissertação. Unicamp.

SEIFFERT, M. E. B. **ISO 14001: sistemas de gestão ambiental.** São Paulo: Atlas, 2005.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em Eucalyptus sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990. Disponível em <http://www.sidalc.net/cgibin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=125312>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SOUZA, M. E. **Influência dos parâmetros de usinagem da madeira de Eucalyptus sp. no consumo de energia específica de corte em serra circular.** 2009. 63 f. Dissertação (Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração Processamento e Utilização da Madeira) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4406>. Acesso em: 14 mar. 2022.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de Corte I**, 4a edição, Editora da UFSC, Florianópolis, 1995.

UDDEHOLM. **Manual de hojas de sierra cinta para madera.** Munkfors, Suecia: Uddeholm Strip Steel AB, 1993. 48 p.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da Qualidade da Madeira de Espécies de Pinus Tropicais por meio de Métodos Convencionais e Não Destrutivos.** 2012. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – UFPR, Curitiba. 2012.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias.** Ed. UFV. Viçosa – MG. 2008.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. 90 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/26256>. Acesso em: 14 mar. 2022.

WILLISTON, E.M. **Saws: design, selection, operation and maintenance.** San Francisco: Miller Freeman Publications Inc., 1989. 450 p.

ZENID, G. J.; NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, C.; FERREIRA, O. P.; BRAZOLIN, S. **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil.** Divisão de Produtos Florestais do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., São Paulo, 2003, 60 p.