

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NELSON DIOGO DE SOUZA JUNIOR

**QUALIDADE DE SUPERFÍCIE NA PRODUÇÃO DE PEÇAS S2S NO SETOR DE
USINAGEM DE UMA INDÚSTRIA DE MOLDURAS DE PINUS**

CURITIBA

2009

NELSON DIOGO DE SOUZA JUNIOR

QUALIDADE DE SUPERFÍCIE NA PRODUÇÃO DE PEÇAS S2S NO SETOR DE
USINAGEM DE UMA INDÚSTRIA DE MOLDURAS DE PINUS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de “Engenheiro Industrial Madeireiro”.

Orientador: Prof. Dr. Marcio P. Rocha

CURITIBA

2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Aos meus pais, Nelson e Dolores;

As minhas irmãs, Andréia e Michele;

A minha namorada, Patrícia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, por sempre me apoiarem e estarem sempre do meu lado;

Ao prof. Marcio Rocha, pela orientação e pelos ensinamentos durante a vida acadêmica;

A empresa Braslumber Industria de Molduras Ltda., por possibilitar o desenvolvimento do trabalho;

Aos professores do curso, pelos valiosos ensinamentos repassados.

RESUMO

É preciso conhecer a estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem para entender suas relações, que proporcionam os bons resultados tanto em qualidade quanto em rendimento. Neste trabalho foi feito o levantamento da geração de defeitos de pré-clivagem e da qualidade da superfície na produção de peças de madeira S4S no setor de preparação de madeiras, destinadas a produção de molduras de Pinus. O levantamento foi feito em dois equipamentos de usinagem: uma plaina S2S equipada com cabeçotes helicoidais e uma serra circular múltipla. Na serra circular múltipla (refiladeira), comparou-se dois tipos de serras circulares desintegradoras. Foram coletadas 60 amostras, as quais foram medidos os defeitos de pré-clivagem em cada máquina utilizando uma trena e um esquadro milimetrado. Também foram analisados a velocidade de corte, a velocidade avanço e o avanço por dente. Os valores encontrados sobre qualidade de superfície foram considerados como de baixa qualidade. As serras desintegradoras apresentaram o mesmo resultado de geração defeitos. Das peças S4S que são produzidas com defeito de pré-clivagem, cerca de 75% do defeito são provenientes da refiladeira. Pode-se concluir que o formato do dente da serra comparada não influenciou na diminuição do defeito e que as condições de usinagem empregadas no setor são insuficientes para se obter uma boa qualidade de usinagem.

Palavras-chaves: Usinagem da madeira. Aplainamento. Refilagem. Pré-clivagem.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	viii
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A MATÉRIA PRIMA	11
3.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA	12
3.3 USINAGEM DA MADEIRA.....	13
3.4.1 Processo de fresamento periférico.....	14
3.4.2 Processo de corte com serras circulares	15
3.4.3 Geometria da ferramenta	16
3.4.4 Grandezas físicas no processo de corte	19
3.4.5 Fenômeno de pré-clivagem.....	23
4. MATERIAS E METODOS.....	26
4.1 MATERIAIS.....	26
4.1.1 Local de estudo	26
4.1.2 Descrição do Processo	26
4.1.3 Equipamentos utilizados no estudo.....	27
4.2 METODOLOGIA	31
4.2.1 Fresamento periférico	31
4.2.1 Refilagem	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6. CONCLUSÕES	39
7. REFERÊNCIAS BIOBLOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Movimentos de corte de uma fresa	15
Figura 2. Principais ângulos de uma fresa	17
Figura 3. Principais ângulos um dente de serra circular	17
Figura 4. Esquema ilustrando as grandezas de penetração	22
Figura 5. Grandezas de usinagem de um aplainamento	23
Figura 6. Magnitudes das pré-clivagens na madeira, em função da usinagem.....	24
Figura 7. Uso de contra-facas para redução da pré-clivagem na madeira.....	25
Figura 8. Fluxograma do processo do setor de Preparação de Madeiras da empresa.....	27
Figura 9. Plaina S2S avaliada	28
Figura 10. Serra circular múltipla avaliada	29
Figura 11. Serras desintegradoras	30
Figura 12. Coleta de dados do defeito na plaina.....	32
Figura 13. Medição da pré-clivagem numa peça S4S originada pelas serras desintegradoras.....	33

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Recomendações de ângulos de saída em função do tipo corte e de madeira	18
QUADRO 2. Classificação da qualidade dos acabamentos para fresas, desempenho e desengrosso, em função dos valores do avanço por dente (fz)	20
QUADRO 3. Valores indicados para o avanço por dente (fz) em função dos tipos de materiais a serem seccionados em serras circulares.	20
QUADRO 4. Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira	21
QUADRO 5. Características gerais dos dois tipos de serras avaliados	31
Tabela 6. Comprimento médio da pré-clivagem por tábua aplainada dividido por aresta.	34
QUADRO 7. Comprimento médio da pré-clivagem por peça S4S refilada pela serra “tipo 1”	35
QUADRO 8. Comprimento médio da pré-clivagem por peça S4S refilada pela serra “tipo 2”	35
QUADRO 9. Comprimento médio da pré-clivagem remanescente da plaina por peça S4S refilada pela serra “tipo 1”	36
QUADRO 10. Comprimento médio da pré-clivagem remanescente da plaina por peça S4S refilada pela serra “tipo 2”	36

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso natural renovável que possui vantagens competitivas em relação a outros materiais utilizados na construção civil. No entanto, ela necessita ser bem trabalhada para que os resultados obtidos não transformem essas vantagens em autênticas desvantagens. É importante entender que para bem trabalhar a madeira, necessita-se conhecer suas propriedades, os parâmetros de usinagem a serem utilizados e suas relações. O conhecimento técnico da usinagem da madeira e suas relações de causa e efeito com as variáveis envolvidas na melhoria dos processos e a definição dos melhores parâmetros para essas variáveis, são primordiais para o posicionamento perante a concorrência e para o desenvolvimento de um processo de fabricação mais eficiente.

Durante todo o processo de fabricação de molduras, existem fatores que determinam a qualidade do produto final. Em modo geral, o índice de qualidade do produto do setor de preparação de madeiras depende da matéria-prima, dos equipamentos, do manuseio e da classificação do produto. Um dos fatores limitantes relacionados aos equipamentos e a matéria-prima correspondem aos defeitos de aplainamento e refilagem de peças S4S. Esses defeitos, quando não são eliminados no próprio setor, geram de retrabalhos nos setores seguintes diminuindo a eficiência do processo e conseqüentemente aumentando os custos de produção.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo geral buscar melhorias no processo de usinagem na fabricação de molduras de *Pinus spp.*

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a qualidade de usinagem de fresamento numa plaina de duas faces.
- Analisar a qualidade de usinagem na operação de refiletagem.
- Comparar dois tipos de serras desintegradoras na geração nas arestas das peças usinadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A MATÉRIA PRIMA

Com a exaustão das suas reservas naturais de essências florestais madeireiras, as regiões Sul e Sudeste do Brasil passaram a utilizar espécies alternativas, dentre as quais se destacam as do gênero *Pinus*, mormente *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Em 2007, o Brasil possuía cerca de 1,8 milhões ha de plantações de *Pinus spp*, sendo que 85% dessas florestas estão localizadas no estado do Paraná e de Santa Catarina (ABRAF, 2008). O Pinus é utilizado em grande escala tanto pelas indústrias madeireiras, quanto pelas de celulose e papel. Estima-se que aproximadamente 3,15 mil empresas no Brasil utilizam pinus nos seus processos produtivos, concentrando-se nos seguintes produtos: indústria de madeira serrada com 48%, celulose e papel com 29%, painéis – compensados, chapas duras, MDF e OSB – com 18% (REMADE, 2004).

Em relação à utilização da madeira de pinus, sabe-se que esta é matéria-prima fundamental para várias indústrias de celulose, laminação e serraria. As características morfológicas e anatômicas das árvores são específicas para cada tipo de emprego industrial, que faz com que os métodos de manejo das florestas sejam diferentes, dificultando, assim, a utilização integral da árvore.

A madeira juvenil do Pinus apresenta muitas características indesejáveis para a produção de peças sólidas e sua presença é inevitável nas toras, pois é a madeira formada inicialmente, nos anéis de crescimento mais próximos à medula. No entanto, a densidade não é a única característica ligada à juvenilidade da madeira. As características dos traqueóides também se alteram na madeira adulta, em relação à juvenil. Trabalhos de melhoramento genético têm indicado a possibilidade de se aumentar a densidade da madeira juvenil mediante seleção de matrizes. No entanto, mesmo que se consiga aumentar a densidade da madeira através do melhoramento genético, as suas qualidades física e mecânica não chegam a se equiparar às qualidades da madeira adulta. De uma forma geral, o incremento volumétrico de *Pinus elliottii* costuma ser menor que de *Pinus taeda*. Porém, ele inicia a produção de madeira adulta a partir dos cinco a seis anos de idade, em contraste com 12 a 15 anos em *Pinus taeda* (AMBIENTE BRASIL).

3.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA

As propriedades da madeira variam em função de cada espécie. Existem ainda variações entre árvores de uma mesma espécie, afetadas, principalmente, por fatores genéticos e ambientais. Ocorrem também variações influenciadas pelo sistema de manejo adotado. Em relação à posição na árvore, as propriedades podem variar tanto no sentido medula-casca (radial), quanto no sentido base-copa (longitudinal). As variações mais importantes são as que ocorrem no sentido medula-casca, associadas, às vezes, com outras no sentido da altura da árvore (REMADE, 2001).

O conhecimento das propriedades da madeira e de seu comportamento durante a usinagem é de fundamental importância para a sua correta utilização, assim como da melhor seleção de espécies e do bom dimensionamento de máquinas e ferramentas utilizadas na sua usinagem (LUCAS FILHO, 2004). As propriedades mais relevantes que influenciam na fabricação de peças S4S da madeiras são a massa específica, o teor de umidade e a presença de defeitos naturais da madeira.

Segundo SILVA (2002) a massa específica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. É uma propriedade importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro comumente utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial. Para PANSIN & ZEEUW (1980) citado por LUCAS FILHO (2004), a massa específica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. À medida que a massa específica aumenta, elevam-se proporcionalmente a resistência mecânica e a durabilidade e, em sentido contrário, diminuem a permeabilidade a soluções preservantes e a trabalhabilidade (usinabilidade). O teor de umidade é uma propriedade física que tem grande influência na usinabilidade da madeira. A água na madeira pode estar presente preenchendo os espaços vazios dentro das células ou entre elas (água livre ou água de capilaridade), pode estar aderida à parede das células (água de adesão) ou pode estar compondo a estrutura química do próprio tecido (água de constituição). O ponto de saturação das fibras (PSF) é o teor de umidade no qual a madeira deixa de ter água livre e passa a ter

somente água de adesão e água de constituição. Geralmente as forças de corte permanecem aproximadamente constantes na madeira seca até 8% de umidade, e então cai para aproximadamente $\frac{1}{4}$ ou metade desse valor quando o teor de umidade na madeira se aproxima do ponto de saturação das fibras (KOLLMANN; COTÊ, 1984 citado por LUCAS FILHO, 2004). KOCH (1964) citado por LUCAS FILHO (2004) apresenta alguns resultados da influência do teor de umidade, considerando espécies de madeira. Neles, basicamente, as forças de corte diminuem quando o teor de umidade é aumentado, ou seja, uma relação inversamente proporcional.

Alguns defeitos naturais presentes na madeira também têm influência sobre o desempenho dos processos de usinagem. Entre os principais defeitos da madeira para a sua utilização industrial estão a grã irregular, variações na largura dos anéis de crescimento, crescimento excêntrico, o lenho de reação, nós, tecidos de cicatrização, defeitos na forma do tronco, defeitos de secagem, defeitos de processamento e a influência de agentes físicos e bióticos.

3.3 USINAGEM DA MADEIRA

Segundo LIMA [199-] citado por SILVA (2002) o objetivo de usinar a madeira não é somente cortá-la, mas produzir uma forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, tão exato e econômico quanto possível. Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas, sendo:

- variações das propriedades da madeira;
- condições das máquinas - relacionado diretamente ao desgastes dos componentes das máquinas que alteram o seu funcionamento. Os principais aspectos a serem considerados são a manutenção, o balanceamento e o alinhamento do eixo porta ferramentas;
- ferramentas de corte - relacionado ao estado de conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada;
- treinamento do operador - a regulagem e o ajuste correto das máquinas é função do grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens

existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada (SILVA, 1996, citado por SILVA, 2002) .

Segundo BET (1999) citado por SILVA (2002), as condições como tipo de máquina utilizada, desgaste da ferramenta, vibrações indesejadas, parâmetros de usinagem empregados e até mesmo o operador da máquina refletem de alguma maneira na geometria da superfície. Todo esse conjunto de informações fornece uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade do processo de fabricação.

3.4.1 Processo de fresamento periférico

O fresamento periférico, popularmente conhecido como aplainamento no processo de usinagem da madeira, caracteriza pela remoção de cavacos na operação de desbaste ou acabamento de superfície. Para SILVA (2002), o fresamento periférico, é um processo de usinagem destinado à obtenção de superfícies regradadas, geradas por um movimento retilíneo alternativo da peça ou da ferramenta. Segundo GONÇALVES (2000) citado por LUCAS FILHO (2004), a máquina de fresamento é composta basicamente de conjunto de cabeçote, porta ferramentas com lâminas de corte e suportes de fixação. A fresa é uma ferramenta cilíndrica provida de dentes cortantes paralelos á superfície a ser usinada. Através do movimento combinado entre a rotação da ferramenta e o deslocamento da peça é possível produzir uma superfície plana ou com forma determinada.

Os movimentos relativos entre o avanço da peça e sentido de giro de corte da ferramenta são classificados em discordante e concordante (FIGURA 1), (GONÇALVES, 2000, citado por LUCAS FILHO, 2004). Para CAMARGO (200-), no primeiro caso, o movimento de corte da ferramenta e movimento de avanço do material a ser usinado encontram-se opostamente sincronizados. No segundo, os movimentos encontram-se no mesmo sentido. Uma das vantagens do fresamento concordante é produzir peças com melhor acabamento final, porém o fresamento discordante é ainda o mais utilizado devido à menor periculosidade para o operador e o menor uso de potência de corte.

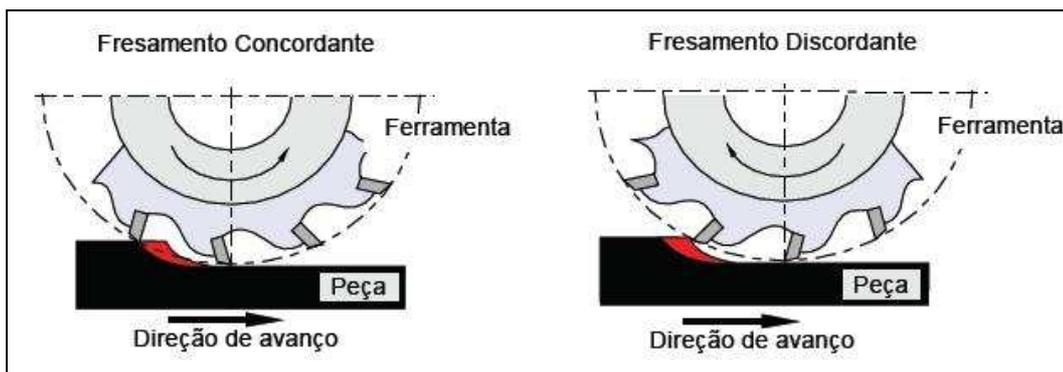


FIGURA 1. Movimentos de corte de uma fresa (STOETERAU, 2007).

De acordo BIANCHI (1996) citado por LUCAS FILHO (2004), o movimento da ferramenta de corte em relação à peça apresenta respectivamente componentes de velocidade de corte e avanço resulta um ciclóide, sendo que a velocidade de giro da ferramenta é maior que a velocidade de avanço de peça.

No fresamento periférico, os ângulos de saída (ataque) e de incidência mudam continuamente em função da profundidade de corte. O ângulo de ataque aumenta e de incidência diminui conforme a aresta executa o percurso efetivo de corte. Também, a aresta cortante muda a direção de corte relativo à direção das fibras continuamente até emergir a peça. A espessura do cavaco produzido vai de uma espessura mínima, no momento do contato, até a máxima, onde a ferramenta emerge da madeira (CAMARGO, 200-)

Em LUCAS FILHO (2004), as facas das fresas podem ser soldadas ou montadas por meio de parafusos no corpo da ferramenta. Quando parafusadas, as laminas são mais fáceis de serem afiadas, no entanto, necessitam de um alinhamento extremamente preciso no momento de sua montagem sobre o corpo do cabeçote.

3.4.2 Processo de corte com serras circulares

As serras circulares apresentam uma grande variedade de diâmetro, espessuras de disco, número e formato de dentes, dependendo de seu emprego. Quanto maior o diâmetro da ferramenta, maior é sua espessura. São considerados como discos finos, aqueles que apresentam a espessura igual ou menor que o diâmetro dividido por 200, (GONÇALVES, 2000, citado por LUCAS FILHO, 2004).

No processo de corte de madeiras, as serras circulares são utilizadas em vários tipos de corte como o desdobro, destopo, refilagem e perfilagem. ROCHA (2002) alerta a importância do uso adequado de equipamentos que utilizam serras circulares, pois a geração de serragem é muito maior que em serras fitas, devido ao fio de corte ser mais espesso. Porém, como as serras circulares são equipamentos que atingem velocidades de corte maiores que as serras fitas, existe a alternativa de se utilizar equipamentos com dois eixos, que permitem reduzir o diâmetro do disco e conseqüentemente a espessura de corte.

As serras podem ser fabricadas com dentes fixos ou cambiáveis. As de dentes fixos são geralmente confeccionadas através do processo de estampagem, que define o formato dos dentes, os quais são posteriormente travados e afiados. Quanto às serras de dentes cambiáveis, vários modelos são fabricados para aplicações especiais. O mais usual são as serras de dentes soldados. As mais comuns encontradas no mercado são as denominadas de serras de dentes com ponta de metal duro.

Nas serras de dentes com metal duro, as pastilhas são soldadas em rebaixos preparados na superfície frontal dos dentes da lâmina e posteriormente afiadas. O processo mais utilizado de fixação das pastilhas é a soldagem por indução com adição de lâmina de prata, (GONÇALVES, 2000, citado por LUCAS FILHO, 2004). De acordo com STOETERAU (2007) a widia é a liga mais utilizada no processo de usinagem devido as suas ótimas características de trabalho como dureza elevada, ótima resistência à compressão, resistência a temperatura de até aproximadamente 1000°C (mesma dureza que o aço rápido à temperatura ambiente) e velocidades de corte superiores que as ligas fundidas e aços rápidos.

3.4.3 Geometria da ferramenta

FARIAS (2000) citado por SILVA (2002), ressalta que a geometria das ferramentas possui uma grande influência sobre o acabamento da superfície da peça usinada e sobre a vida da ferramenta. Para BONDUELLE (2001), os conhecimentos dos ângulos característicos das ferramentas de corte fornecem subsídios para prever porções da qualidade da superfície usinada. Na FIGURA 2 e

na FIGURA 3 encontram-se desenhados respectivamente os principais ângulos de uma fresa e de um dente de uma serra circular.

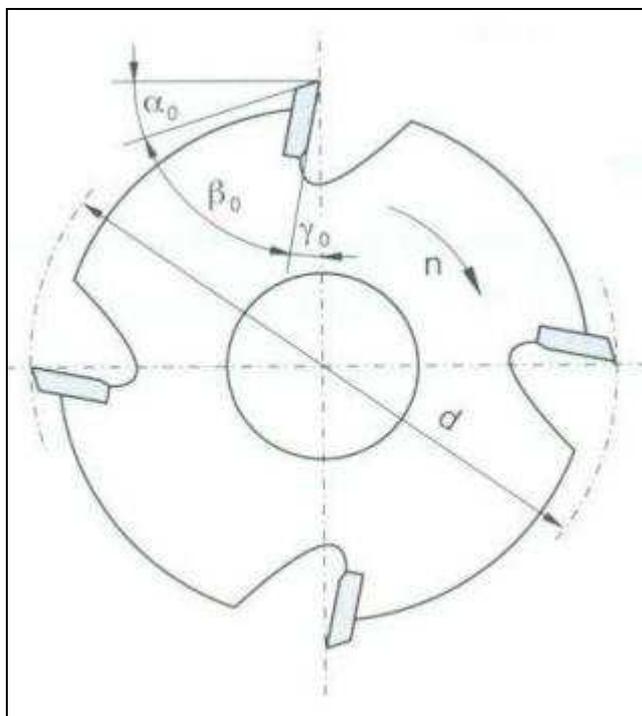


FIGURA 2. Principais ângulos de uma fresa (STOETERAU, 2007).

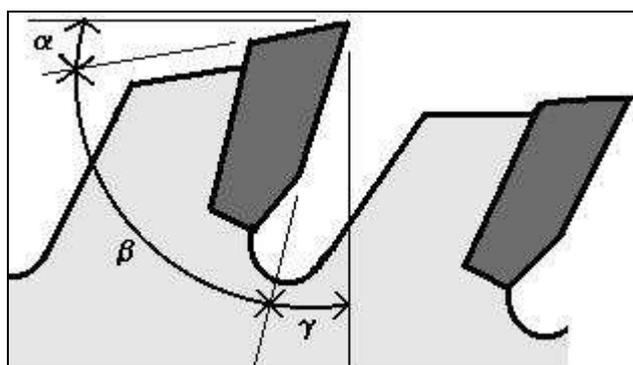


FIGURA 3. Principais ângulos de um dente de serra circular (adaptação de FREUD, 1998, citado por SILVA, 2002).

O *ângulo de ataque ou de saída* (γ) é o ângulo relacionado com a superfície de saída (face) da ferramenta, sobre a qual escoo o material da peça (cavaco). Segundo STEMMER (2001) citado por LUCAS FILHO (2004), o ângulo de saída de cavaco influi decisivamente na força e na potência necessária para ao corte, na resistência da ferramenta, na qualidade do acabamento do corte e no calor gerado

pelo processo de usinado. Para madeiras duras de alta densidade e resistência, é necessário adotar um ângulo menor que madeiras macias de baixa densidade (REVAL, 2004). Em modo geral, quanto maior o ângulo de ataque, menor o esforço de corte necessário, porém, menor a rigidez do gume cortante, e menor a qualidade superficial da peça usinada (GONÇALVES, 2000). Também, para maiores velocidades de avanço são exigidos um maior ângulo de saída (STEMMER, 2001, citado por LUCAS FILHO, 2004). O QUADRO 1 apresenta uma relação de valores recomendados para ângulos de saída em função do tipo trabalho e de madeira empregada para serras circulares.

QUADRO 1. Recomendações de ângulos de saída em função do tipo corte e de madeira.

Tipo de corte	Tipo de Madeira	Ângulo de Saída (γ)
Longitudinal	Madeira verde de baixa massa específica	20° a 25°
	Madeira seca, média e alta massa específica	15° a 20°
Transversal	Madeira verde de baixa massa específica	15°
	Madeira Seca, média e alta massa específica	10°
	Destopamento pendular	5° a -5°

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2000).

O *ângulo de incidência ou livre* (α) é formado por uma reta que tangencia a ponta do gume e por outra que tangencia suas costas passando pela ponta. Este ângulo se torna necessário para evitar atritos que aumentam o esforço de usinagem. Quanto maior for o ângulo, melhor será sua penetração na madeira. Porém se muito grande, o gume se torna enfraquecido, podendo ocorrer quebras no gume da ferramenta. Se for muito pequeno, o gume pode não penetrar de adequadamente, dificultando o avanço da peça (ROCHA, 2002). Para AMORIM (2003) o ângulo de incidência menor que 5° podem causar sobreaquecimento na ferramenta e forte desgaste do gume, ocasionando mau acabamento. Também causa a perda da resistência da ferramenta devido à redução do ângulo de cunha da ferramenta. Para a maioria dos fabricantes de serras circulares, seu valor ideal está entre 5° e 15° (BONDUELLE, 2001).

O *ângulo de Cunha* (β) é formado pela ponta do gume, determinando a sua resistência. Deve ser suficientemente grande para garantir a rigidez do dente. Seu valor varia entre 35° para madeiras macias e 65° para madeiras duras (ROCHA, 2002). Segundo BONDUELLE (2001), a variação deste ângulo prediz a resistência do dente frente ao ataque na madeira e é dependente do tipo de material e da metodologia empregados na sua fabricação.

3.4.4 Grandezas físicas no processo de corte

A “rugosidade” do estado de superfície é definida pelo avanço por dente caracterizado pela grandeza normalizada fz . O avanço por dente definido como o passo das marcas deixadas na madeira e esta grandeza é, na maioria das vezes, visível nas superfícies usinadas. Então ele se torna o fator que vai determinar o estado da superfície. Quanto menor o avanço por dente, melhor será o acabamento, porém, maior será o desgaste da ferramenta. Sempre existe essa correlação entre qualidade e rapidez do desgaste dos gumes, (BONDUEELE, 2001). O avanço por dente pode ser calculado pela equação:

$$fz = \frac{1000 \times Vf}{n \times Z} \quad (1)$$

Onde :

fz = avanço por dente em mm ;

Vf = velocidade de avanço em m/min ;

n = rotação do motor RPM;

Z = número de gumes ativos da ferramenta.

De acordo com BONDUELLE (2001), um avanço por dente recomendado para operações de aplainamento ou fresamento deve estar entre 1 mm < fz < 1,8 mm. Esse intervalo corresponde ao melhor compromisso “qualidade/desgaste”. O valor de 1 mm gera um acabamento melhor do que o valor 1,8 mm, mas o desgaste será um pouco mais rápido para o primeiro valor. Já para a operação de corte de acabamento e de precisão com serra circular, os valores recomendados

do avanço por dente devem estar entre $0,08 \text{ mm} < f_z < 0,25 \text{ mm}$ para o corte longitudinal (refilagem).

No QUADRO 2 se encontra a classificação da qualidade dos acabamentos para fresas, desempenho e desengrosso em função dos valores de avanço por dente. Já na QUADRO 3 estão listados os valores de avanço por dente para corte, em serra circular, de diferentes materiais.

QUADRO 2. Classificação da qualidade dos acabamentos para fresas, desempenho e desengrosso, em função dos valores do avanço por dente (f_z).

Avanço por dente (f_z), em mm	Qualidade do acabamento
0,3 a 0,8	Fino
0,8 a 2,5	Médio
2,5 a 5,0	Grosso

Fonte: SENAI, 1995

QUADRO 3. Valores indicados para o avanço por dente (f_z) em função dos tipos de materiais a serem seccionados em serras circulares.

Avanço por dente (f_z), em mm	Tipo de material a ser usinado
0,2 a 0,9	corte longitudinal em madeira macia
0,1 a 0,2	corte transversal em madeira macia
0,05 a 0,15	madeira dura
0,1 a 0,25	chapa aglomerada
0,05 a 0,12	chapas duras de fibras
0,05 a 0,1	chapas folheadas
0,02 a 0,05	chapas revestidas com material sintético

Fonte: SENAI, 1995.

A velocidade de avanço (V_f) é definida em função da produtividade desejada. Pode ser calculado como o comprimento da peça a ser usinado dividido pelo tempo que ela leva para ser usinada. Pode ser interpretada pela fórmula:

$$V_f = \frac{C}{t} \quad (2)$$

Onde:

V_f = velocidade de avanço em m/min;

C = comprimento da peça a ser usinado em m;

t= tempo necessário para usinagem da peça e min.

A velocidade de avanço depende de fatores como o tipo de madeira, teor de umidade, potência disponível e altura de corte (GONÇALVES, 2000) citado por SILVA (2002).

A velocidade de corte (velocidade com que os dentes da ferramenta tocam na peça) é calculada em função do diâmetro da ferramenta (extremidade) e da rotação do motor da máquina de corte. No QUADRO 4 se encontram as recomendações de valores de Vc para diferentes tipos de madeira e derivados. Calcula-se pela seguinte equação (REVAL, 2004):

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{60000} \quad (3)$$

Onde:

Vc= velocidade de corte em m/s;

D= diâmetro da ferramenta em mm;

n = rotação do motor em RPM.

QUADRO 4. Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira.

Material	Velocidade de Corte (Vc)
Madeira de coníferas	70 a 100
Madeira de folhosas (macias a médias)	50 a 80
de folhosas muito duras	30 a 60
Aglomerado e compensado	40 a 70
Aglomerado denso (d > 720kg/m ³)	35 a 50
Madeira comprimida (900 < d < 1400kg/m ³)	30 a 60

Fonte: adaptação de LIMA (199-), citado por LUCAS FILHO (2004).

Outra grandeza importante é a penetração da ferramenta. Ela pode ser medida no plano de trabalho. A penetração pode ser passiva, de trabalho e de avanço (FIGURA 4). A penetração passiva (ap) é a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho. No fresamento periférico corresponde à largura de corte. A penetração de trabalho (ae) é a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida no plano de trabalho e perpendicular à direção de avanço. A penetração é importante nas operações de

fresamento e retificação. A penetração de avanço (a_f) é a grandeza de penetração da ferramenta, medida na direção de avanço.

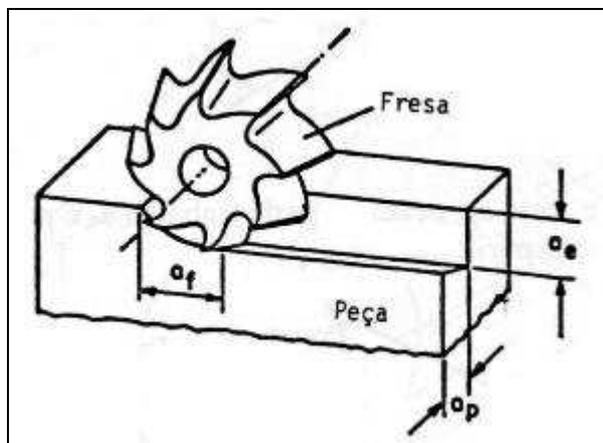


FIGURA 4. Esquema ilustrando as grandezas de penetração (STEMMER, 1995, citado por LUCAS FILHO, 2004).

CAMARGO (200-) descreve que para o processo de aplainamento, é possível calcular a profundidade do arco ciclóide, também conhecido como profundidade da marca de faca, pela seguinte equação:

$$t = \frac{f_z^2}{4 \times D} \quad (4)$$

Sendo:

t = profundidade da marca da faca (ou do arco ciclóide) em mm;

f_z = avanço por dente em mm;

D = diâmetro da fresa em mm.

A FIGURA 5 ilustra a formação do arco ciclóide, e as grandezas de usinagem relacionadas num aplainamento.

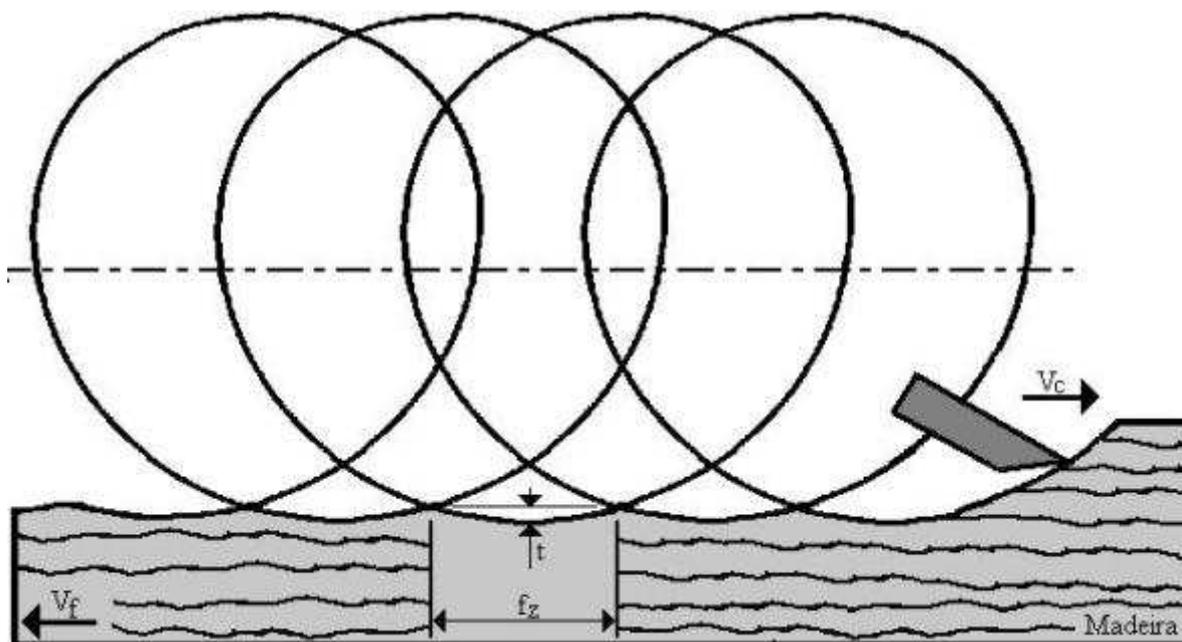
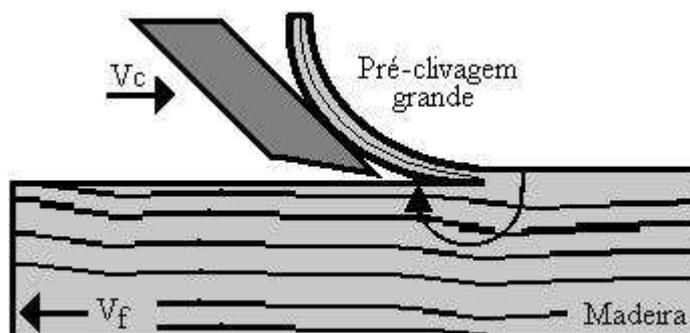


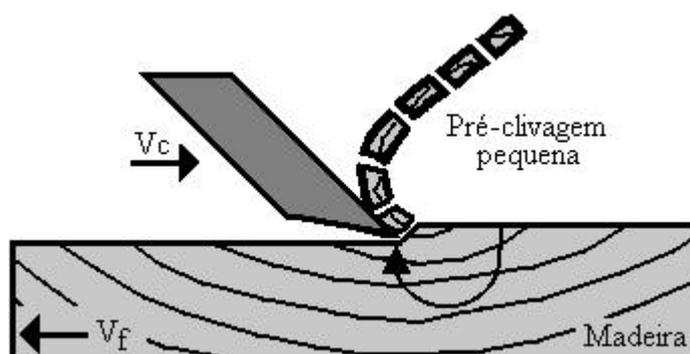
FIGURA 5. Grandezas de usinagem de um aplainamento: avanço por dente (f_z), profundidade do arco colóide (t), velocidade de corte (V_c) e velocidade de avanço (V_f) (adaptação de WEISSENSTEIN, 2000 citado por SILVA, 2002).

3.4.5 Fenômeno de pré-clivagem

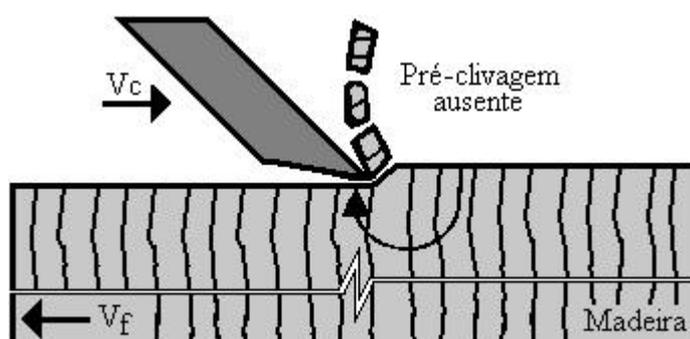
Segundo CETMAM/SENAI (1996) citado por SILVA (2002), o fenômeno da pré-clivagem ocorre pela separação que a madeira sofre devido sua estrutura interna, que tende a acompanhar as forças impostas pelos gumes após o início do corte. Ele é também conhecido por pré-rachamento, pois a madeira ao invés de ser incisada por pressão é separada ao longo das fibras por rachaduras, antes mesmo do seu corte propriamente dito. A pré-clivagem possui magnitudes diferentes em função do tipo de corte sendo considerada de grande intensidade no corte longitudinal, de baixa no corte transversal e inexistente no corte de topo (FIGURA 6). Para o beneficiamento da madeira, o efeito da pré-clivagem possui duplo sentido, isto é, poderá ter caráter positivo para a manutenção da afiação dos gumes de corte, ou caráter negativo devido ao fato de produzir superfícies mais ásperas porque o desbaste não é separado de forma plana, e sim rasgado.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 6. Magnitudes das pré-clivagens na madeira, em função da usinagem, sendo a = corte longitudinal; b = corte transversal; c = corte no topo, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da madeira. (CETMAM/SENAI, 1996, citado por SILVA, 2002).

Segundo BONDUELLE *ET AL.* (2002) citado por SILVA (2002), as magnitudes da pré-clivagem podem ser reduzidas, mas não eliminadas, uma vez que fazem parte da estrutura da madeira. Os procedimentos empregados para redução das magnitudes das pré-clivagens são, entre outros, a variação dos ângulos característicos da ferramenta de corte e o uso de contra-facas. Neste

sentido, na Figura 5 pode ser observada a melhoria da qualidade da superfície usinada com o auxílio da contra-faca. Nota-se que na FIGURA 7-a a usinagem foi executada sem as contra-facas e apresentam regiões, em destaque, de forte pré-clivagem, fato não observado na FIGURA 7-b.

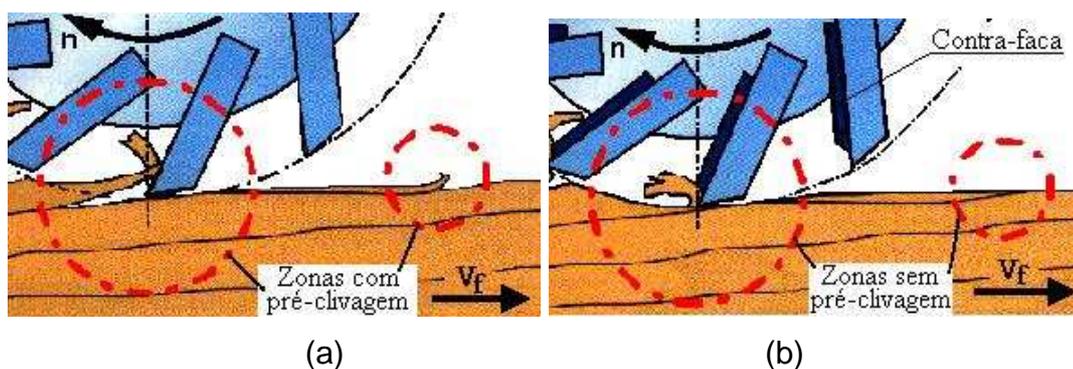


FIGURA 7. Uso de contra-facas para redução da pré-clivagem na madeira, sendo a = usinagem sem as contra-facas; b = usinagem com as contra-facas; n = freqüência de rotação do eixo porta facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira. Em destaque as regiões de pré-clivagem e as qualidades obtidas. (adaptação LEITZ, 2001, citado por SILVA, 2002)

A colocação das contra-facas é executada no peito do dente sobre o ângulo de ataque, sem alterar sua grandeza, pois a contra-faca não atinge a ponta (gume) do dente. As contra-facas promovem a ruptura do cavaco em formação, evitando o rachamento contínuo ao longo do plano de fendilhamento paralelo ao comprimento das fibras (BONDUELLE ET AL., 2002 citado por SILVA, 2002),

4. MATERIAS E METODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Local de estudo

O estudo foi realizado na empresa Braslumber Indústria de Molduras Ltda. Instalada no Município de Telemaco Borba, região Centro Oeste do Paraná, a Braslumber se encontra próxima a uma das maiores concentrações de florestas plantadas de pinus do Brasil. A empresa produz molduras de pinus destinados ao acabamento da construção civil. Atualmente a fábrica disponibiliza em torno de mil e quinhentos tipos de molduras, marcos e componentes para portas e janelas. Seus produtos são destinados principalmente para o mercado norte-americano, porém com o novo cenário econômico, a indústria vem buscando diversificar sua carteira de clientes em outros continentes, entre os quais o mercado europeu.

4.1.2 Descrição do Processo

O setor de Preparação de Madeiras da empresa é responsável pelas operações de aplainamento e fresamento da madeira, formando peças de madeira S4S de acordo com as dimensões requeridas.

A madeira gradeada é fornecida pelo setor de secagem com um teor de umidade médio de 10% é direcionada para o estoque. De acordo a programação da produção, a madeira é aplainada numa plaina duas faces. Depois de aplainada, a tábua segue pelas esteiras de alimentação até ser refilada numa serra circular múltipla de acordo com o plano de corte programado. As peças S4S seguem então para a esteira de classificação onde é manualmente é empacota classificada por largura. Por fim, os pacotes S4S são armazenados novamente no estoque aguardando o envio ao seu cliente interno, o Setor de Destopadeiras. A FIGURA 8 ilustra o processo fluxograma do processo do setor.

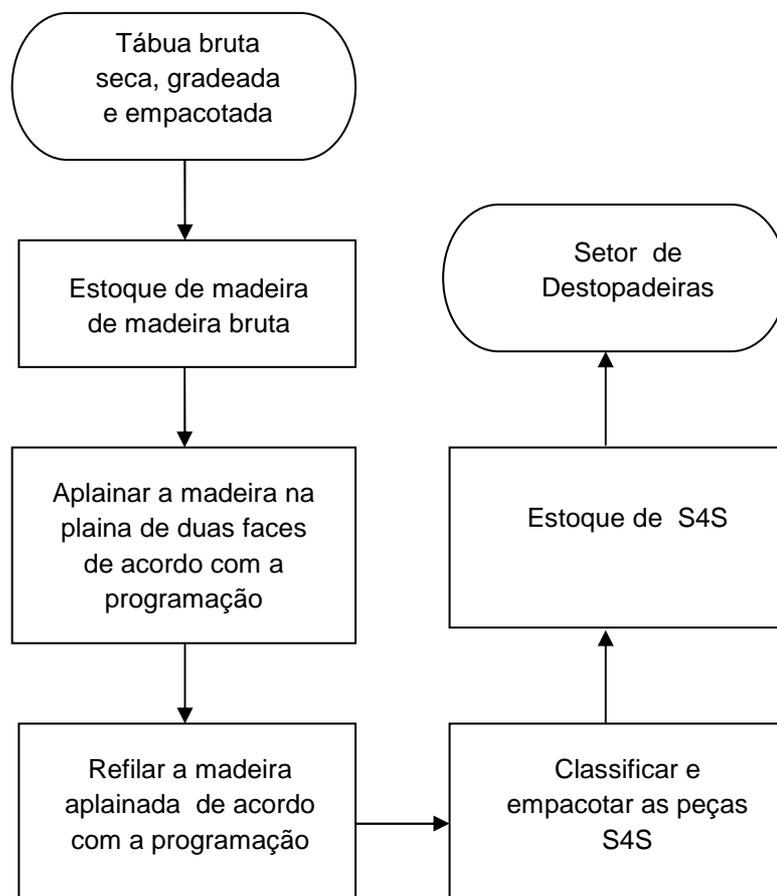


FIGURA 8. Fluxograma do processo do setor de Preparação de Madeiras da empresa (O AUTOR).

4.1.3 Equipamentos utilizados no estudo

4.1.3.1 Plaina S2S

A máquina avaliada no processo de fresamento foi uma plaina de duas faces (S2S) da marca Yates American (FIGURA 9). A máquina possui dois cabeçotes, um superior e um inferior, com 190 mm de diâmetro, utilizando 8 fresas por cabeçote. Em cada cabeçote, utiliza-se um motor com rotação de 3500 RPM. A potência do motor do cabeçote inferior e do superior são respectivamente 75 CV e 40 CV. Os movimentos relativos entre o avanço da peça e sentido de giro de corte da ferramenta é do tipo discordante. Os cabeçotes da plaina são do tipo helicoidal e que não possibilitam a troca das ferramentas de corte de forma simples. Logo, a

afiação das fresas são feitas com um afiador móvel específico fornecido com a máquina, para que a afiação da ferramenta seja feita no próprio equipamento.



(a)



(b)

FIGURA 9. Plana S2S avaliada, sendo a = visão geral do equipamento, b = cabeçote helicoidal (O AUTOR)

4.1.3.2 Serra circular múltipla (refiladeira)

Na avaliação dos defeitos no processo de corte com serras circulares foi utilizado uma serra circular múltipla da marca Mereen Johnson modelo 424 (FIGURA 10). Essa máquina é equipada com apenas um eixo e a regulagem do plano de corte é feito manualmente utilizando espaçadores no eixo de acoplamento

das serras. Motor da máquina de corte fornece uma potência de 152 CV com rotação de 3550 RPM.



(a)

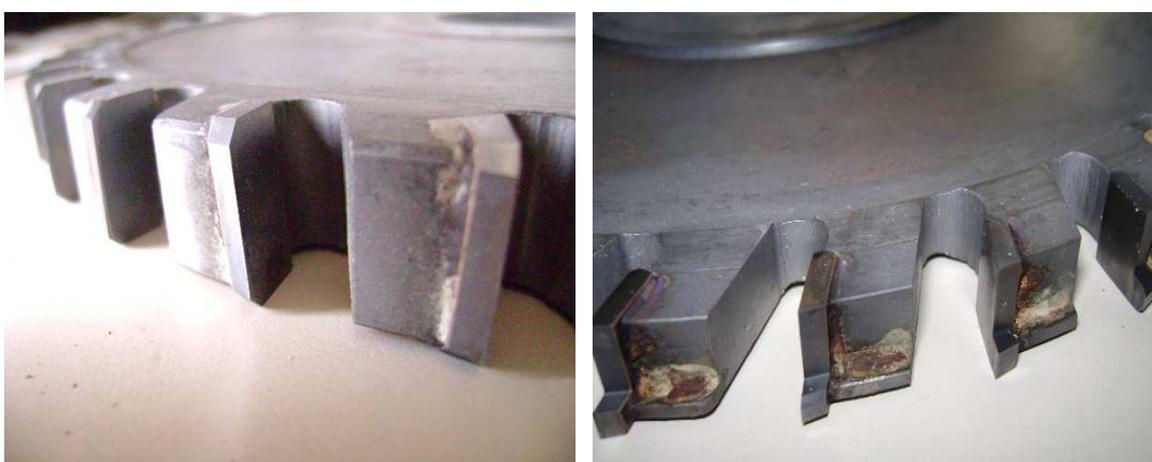


(b)

FIGURA 10. Serra circular múltipla avaliada, sendo a = visão geral do equipamento, b = eixo montado com as serras (O AUTOR).

4.1.3.3 Serras circulares desintegradoras

Para a avaliação do defeito de clivagem no processo de corte foram comparados dois tipos de serras desintegradoras. Utilizam-se um par de desse tipo de serra para cortar longitudinalmente as peças S2S que saem das laterais das tábuas aplainadas e eliminar os refiles gerados e transformando-os em serragem. Foram utilizados dois tipos de serras nomeadas de serras do “tipo 1” e serras do “tipo 2” (FIGURA 11).



(a)

(b)

FIGURA 11. Serras desintegradoras: a= serras do “tipo 1”, b= serras do “tipo 2” (O AUTOR).

As serras do “tipo 1” são as serras utilizadas atualmente no processo de corte. Já as serras do “tipo 2” é o protótipo de feito com intuito de eliminar ou minimizar o problema de pré-clivagem existente no processo. A principal diferença desta serra é o formato do dente. O QUADRO 5 apresenta as principais características de cada modelo de serra.

QUADRO 5. Características gerais dos dois tipos de serras avaliados.

	Serra "tipo 1"	Serra "tipo 2"
Diâmetro externo (mm)	304,8	304,8
Diâmetro do furo (mm)	79	79
Número de dentes	36	36
Espessura de corte (mm)	20	13
Espessura da serra (mm)	18	11
Ângulo de saída (γ)	15°	15°
Ângulo de incidência (α)	5°	Aproximadamente 5°
Tipo do dente	Dente alternado chanfrado	Dente reto e trapezoidal

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Fresamento periférico

Aleatoriamente foram coletadas sessenta tábuas brutas secas de dimensões médias de (38x210x3600)mm de *Pinus spp.* Então as tábuas foram aplainadas nas duas faces no sentido longitudinal para dimensões médias de (34x210x3600)mm. As tábuas foram retiradas da saída da máquina que, em seguida, utilizando um pincel atômico, foram demarcados os defeitos de pré-clivagem nas quatro arestas de cada peça. As arestas e os defeitos foram identificados por letras e números de modo que fosse possível identificá-los após o refilagem. Após a identificação, foi medido o comprimento do defeito com uma trena (FIGURA 12-a) e com o auxílio de um esquadro de precisão milimétrica, foi medida a sua largura (FIGURA 12-b). Para auxílio na análise dos dados, foram calculados a velocidade de corte (V_c) pela equação 3, o avanço por dente (f_z) através da equação 1, utilizando os dados do fabricante da máquina. Também foram cronometrados os tempos de usinagem das peças para o cálculo da velocidade média de avanço (V_f) utilizando a equação (2).

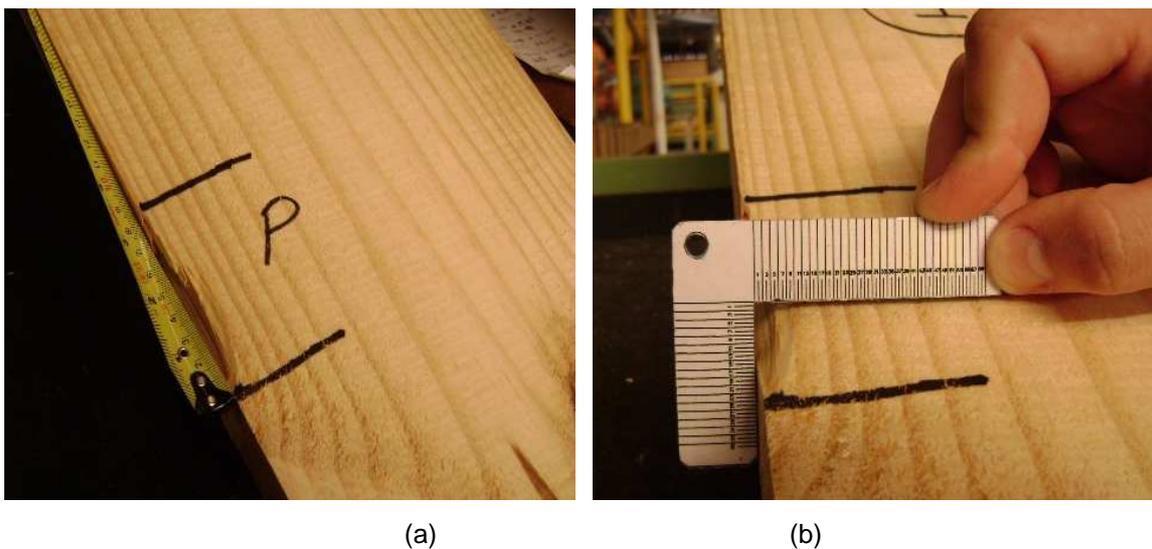


FIGURA 12. Coleta de dados do defeito na plaina, sendo a = comprimento, b = largura (O AUTOR)

4.2.1 Refilagem

Utilizando as mesmas amostras coletadas na plaina, selecionaram-se trinta tábuas aplainadas para serem refiladas nas serras do “tipo 1” e o restante para as serras do “tipo 2” para serem refiladas na serra circular múltipla. Após o corte, as peças das laterais foram coletadas na saída da máquina, onde já estavam divididas na largura em peças S4S. Em seguida, foi feito o levantamento dos dados do defeito utilizando o mesmo procedimento já descrito no processo de aplainamento (FIGURA 13). Devido à identificação com o pincel feita anteriormente, foi possível medir os defeitos gerados pelas serras desintegradoras, e também os defeitos remanescentes da plaina. Nesta coleta, as classes de largura foram delimitadas para menor ou igual a 3mm ou maior que 3mm. Assim como aplainamento, foram também calculados para a refilagem a velocidade corte (V_c), o avanço por dente (f_z) e a velocidade de avanço (V_f) média. Para os cálculos da V_c e F_z estão listados na os dados do fabricante da máquina necessários.



FIGURA 13. Medição da pré-clivagem numa peça S4S originada pelas serras desintegradoras. (O AUTOR)

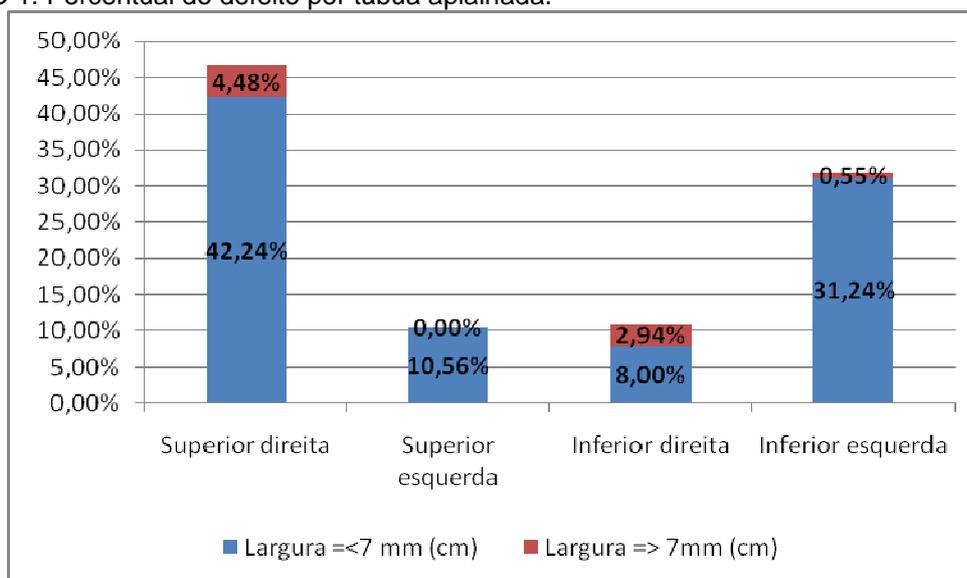
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados para a plaina estão anotados no QUADRO 6 e no GRÁFICO 1. Foi decidido dividir o defeito em duas classes de largura, pois a serra circular múltipla é regulada para refilar 7mm de cada borda da tábua.

QUADRO 6. Comprimento médio da pré-clivagem por tábua aplainada dividido por aresta. Cada tábua possui o comprimento médio de 3,6m.

Aresta	Largura ≤ 7 mm (cm)	Largura > 7 mm (cm)	Total (cm)
Superior direita	49,98	5,30	55,28
Superior esquerda	12,49	0	12,49
Inferior direita	9,46	3,48	12,94
Inferior esquerda	36,96	0,65	37,61
Total	108,89	9,43	118,32

GRÁFICO 1. Percentual do defeito por tábua aplainada.



Os valores encontrados mostram que no total em torno de 79% da pré-clivagem está localizada na aresta inferior e superior da tábua. Isso se deve a geometria helicoidal da ferramenta que favorece a maior retirada de cavaco em uma das extremidades. É importante citar que a ferramenta não possui contra-fracas, que são extremamente recomendadas para a amenização do defeito. Notou-se também que a grande parte dos defeitos se localizavam próximas as regiões dos nós. Nessas regiões existe a presença de grã irregular que prejudica na

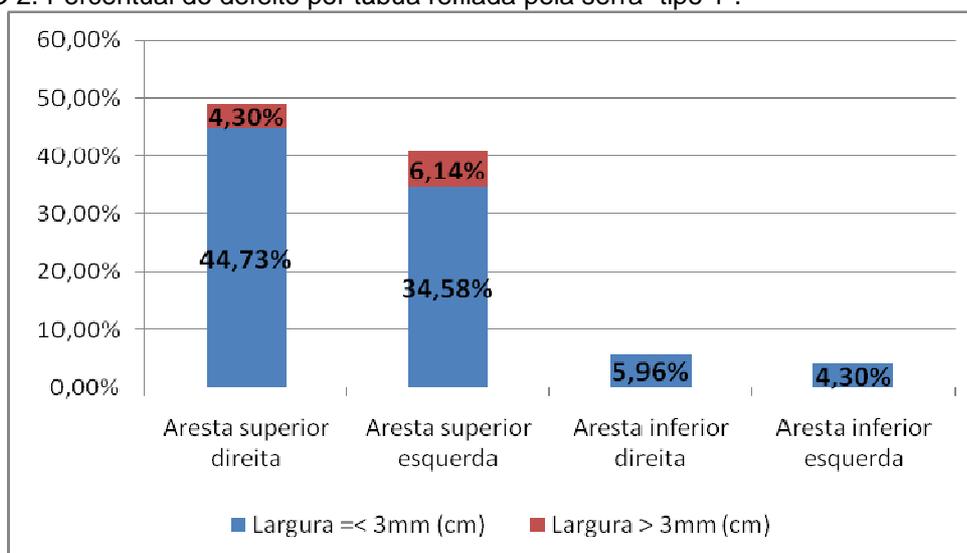
trabalhabilidade da madeira, ocasionando falhas na superfície da peça aplainada. A velocidade de corte da máquina foi 34,82m/s. Já A velocidade de avanço (V_f) média utilizada no processo foi de 111,76m/min. que proporcionou um avanço por dente na peça (f_z) calculado de aproximadamente de 3,9mm. De acordo com a literatura consultada, a qualidade da superfície usinada das tábuas é classificada como grossa, por estar na faixa entre 2,5 mm e 5 mm. Uma das formas de se tentar obter um melhor acabamento superficial seria diminuir velocidade de avanço, no entanto o volume de produção ficaria prejudicado, visto que a mesma é utilizada para fornecer tábuas para duas refiladeiras.

Os resultados dos defeitos de pré-clivagem encontrados das peças refiladas nas serras circulares “tipo 1” estão listados no QUADRO 7 e no GRÁFICO 2. Já o QUADRO 8 e o GRÁFICO 3 se encontram os valores para as serras do “tipo 2”

QUADRO 7. Comprimento médio da pré-clivagem por peça S4S refilada pela serra “tipo 1”. Cada tábua possui o comprimento médio de 3,6m.

Aresta	Largura \leq 3mm (cm)	Largura $>$ 3mm (cm)	Total (cm)
Aresta superior direita	45,05	4,33	49,38
Aresta superior esquerda	34,83	6,18	41,01
Aresta inferior direita	6,00	0	6,00
Aresta inferior esquerda	4,33	0	4,33
Total	90,21	10,51	100,72

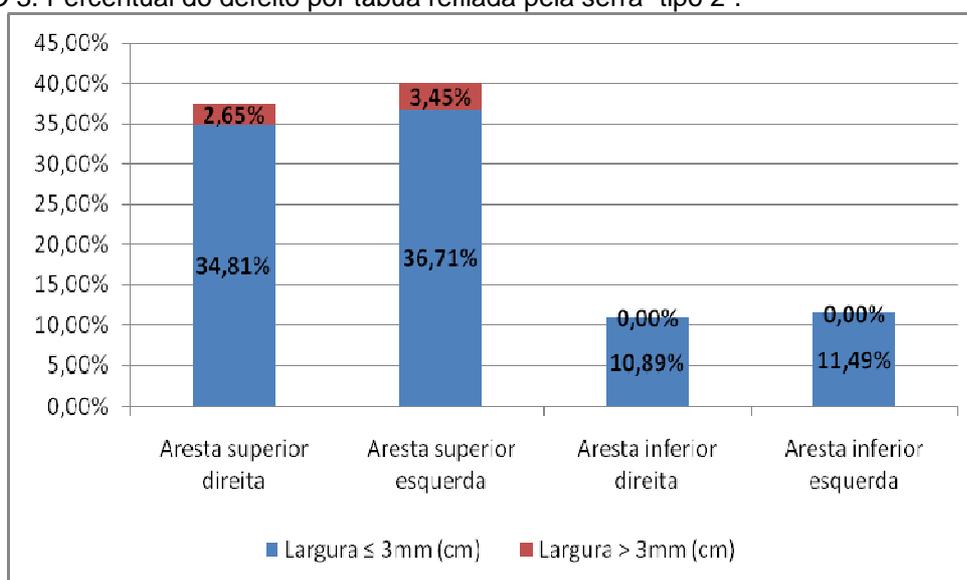
GRÁFICO 2. Percentual do defeito por tábua refilada pela serra “tipo 1”.



QUADRO 8. Comprimento médio da pré-clivagem por peça S4S refilada pela serra “tipo 2”. Cada tábua possui o comprimento médio de 3,6m.

Aresta	Largura ≤ 3mm (cm)	Largura > 3mm (cm)	Total (cm)
Aresta superior direita	39,40	3,00	42,40
Aresta superior esquerda	41,55	3,90	45,45
Aresta inferior direita	12,33	0	12,33
Aresta inferior esquerda	13,01	0	13,01
Total	106,29	6,90	113,19

GRÁFICO 3. Percentual do defeito por tábua refilada pela serra “tipo 2”.



Os resultados encontrados estão divididos em duas classes de largura. Os resultados mostram que utilizando ambas as serras o defeito se localizou em sua maioria nas arestas superiores da peça S4S. São nessas arestas que correspondem a saída do dente da serra da peça. Em ambas as serras, mais de 90% do defeito possuiu a largura igual ou menor que 3 mm. Os valores totais encontrados nas duas tabelas foram parecidos, sendo que a serra “tipo 2” demonstrou ser ligeiramente menos eficiente que a serra do “tipo 1”.

A velocidade de corte da refiladeira foi de 56,65m/s. A velocidade de avanço (V_f) média utilizada no processo de refilagem foi de 74,54m/min. O avanço por dente na peça (f_z) calculado foi aproximadamente de 0,58mm. Segundo a literatura consultada, para se obter uma qualidade de corte longitudinal o avanço por dente deve estar na faixa entre 0,08 mm e 0,25 mm.

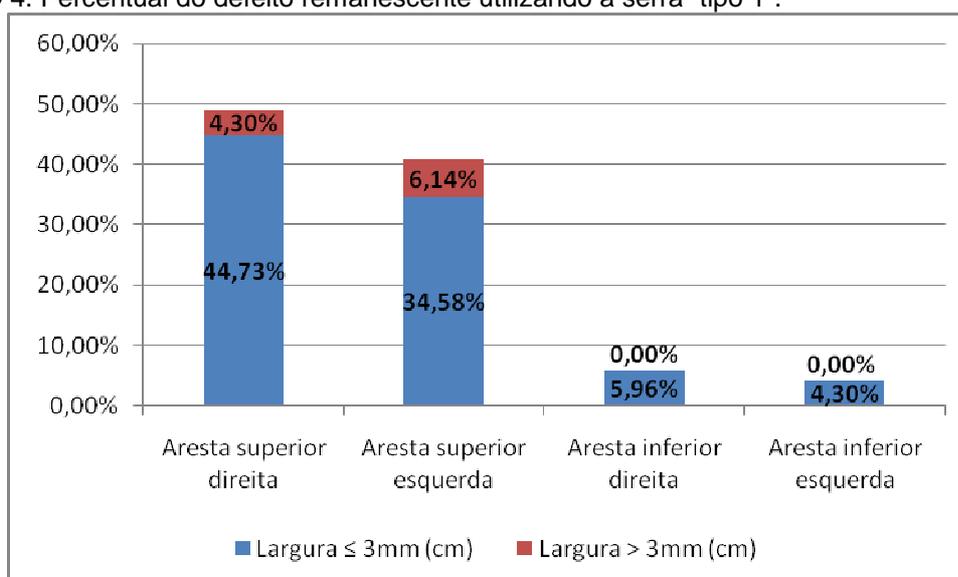
O ângulo de saída de ambas as serras está de acordo com as recomendações encontradas na literatura e em catálogos de fabricantes de serras. Porém, seria interessante aumentar o ângulo de incidência para facilitar a penetração do gume na peça e minimizar o desgaste da ferramenta, podendo haver um aumento da qualidade no corte.

Os resultados do defeito de pré-clivagem remanescente encontrado nas peças refiladas pelas serras “tipo 1” estão listados no QUADRO 9 e no GRÁFICO 4. Já o QUADRO 10 e o GRÁFICO 4 se encontram os valores remanescentes utilizando as serras do “tipo 2”

QUADRO 9. Comprimento médio da pré-clivagem remanescente da plaina por peça S4S refilada pela serra “tipo 1”. Cada tábua possui o comprimento médio de 3,6m.

Aresta	Largura \leq 3mm (cm)	Largura $>$ 3mm (cm)	Total (cm)
Aresta superior direita	6,22	2,76	8,98
Aresta superior esquerda	5,25	0	5,25
Aresta inferior direita	8,00	0	8,00
Aresta inferior esquerda	9,26	4,00	13,26
Total	28,73	6,76	35,49

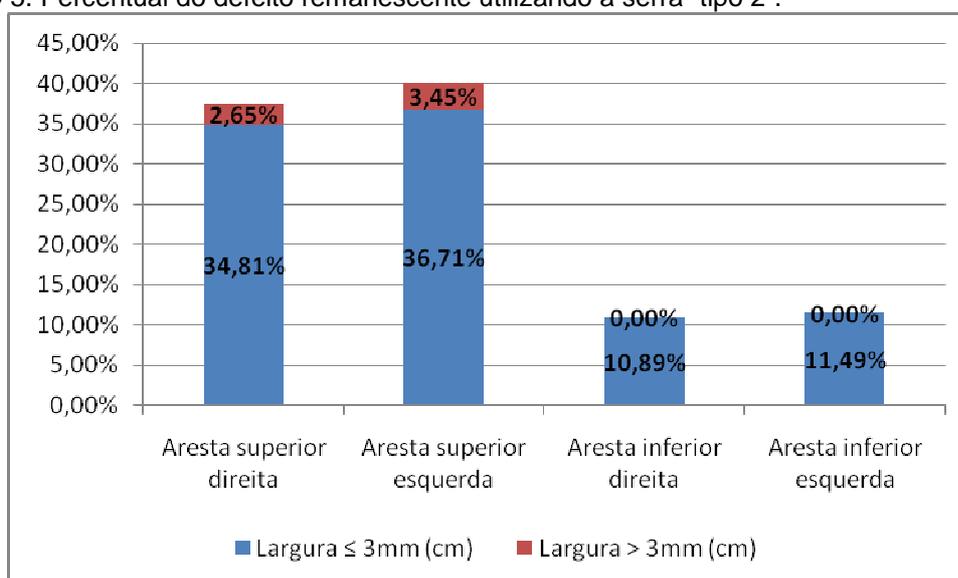
GRÁFICO 4. Percentual do defeito remanescente utilizando a serra “tipo 1”.



QUADRO 10. Comprimento médio da pré-clivagem remanescente da plaina por peça S4S refilada pela serra “tipo 2”. Cada tábua possui o comprimento médio de 3,6m.

Aresta	Largura \leq 3mm (cm)	Largura $>$ 3mm (cm)	Total (cm)
Aresta superior direita	4,89	3,67	8,56
Aresta superior esquerda	4,00	0	4,00
Aresta inferior direita	0	0	0
Aresta inferior esquerda	9,89	4,50	14,39
Total	18,78	8,17	26,95

GRÁFICO 5. Percentual do defeito remanescente utilizando a serra “tipo 2”.



Os valores encontrados utilizando a serra “tipo 1” mostraram que em torno de 26% do total do defeito da peça S4S foi proveniente da plaina. Já a do “tipo 2” foi em torno de 21,4%. Então, da mesma forma que as serras eliminam a pré-clivagem da plaina, elas também acabam criando o defeito. Pode-se concluir que a refiladeira foi responsável pela maioria dos defeitos da peça.

O defeito remanescente foi devido a pré-clivagens feitas pela plaina de largura superior a 7 mm. Como as serras circulares foram reguladas para usinar 7 mm de cada borda da tábua, elas não conseguem por completo defeitos superiores a essa largura. Quando as tábuas possuem encanoamento as serras também não refilam uniformemente toda a borda da tábua podendo ocorrer mais um defeito conhecido como falha lateral.

6. CONCLUSÕES

Do estudo feito do processo de usinagem do setor, pôde-se concluir que:

- O formato do dente da serra desintegradora não influenciou na diminuição do defeito pois o resultado em ambas as serras foi semelhante.
- O defeito remanescente da plaina foi devido à pré-clivagem com largura superior à usinagem de corte e a empenamentos na tábua que afetam o refile podendo originar falhas nas laterais da peça.
- As atuais condições de usinagem no setor são consideradas insuficientes para apresentar melhores qualidades de superfícies usinadas. Neste sentido, podem-se frisar a baixa velocidade de corte e o alto avanço por dente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem de madeiras visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. Dissertação de-Mestrado, Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROCHA, M. P. **Técnicas e Planejamento em Serrarias**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

ABRAF – **Anuário estatístico da Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas, ano base 2007, 2008**

REVAL – **Catálogo de serras circulares**, 2004.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. Revista da Madeira, Curitiba, n.61, p.82-86, 2001.

CAMARGO, C. E. – **Apostila da matéria de Processos de Corte de Madeira**, curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná, 200-.

STOETERAU, R. L – **Processos de Usinagem**, curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007