

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

VINÍCIUS RODRIGUES BARROS

**FRESAMENTO DE MADEIRAS DE MÉDIA DENSIDADE –
MDF**

Itapeva - SP

2013

VINÍCIUS RODRIGUES BARROS

**FRESAMENTO DE MADEIRAS DE MÉDIA DENSIDADE –
MDF**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza.

Itapeva - SP
2013

Barros, Vinícius Rodrigues

B277f Fresamento de madeiras de média densidade- MDF / Vinícius Rodrigues Barros. -- Itapeva, SP, 2013
76 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2013

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves;
M.e Paulo Roberto Gomes Alves
Bibliografia

1. Usinagem. 2. Trabalho em madeira - Ferramentas. 3. Painéis de madeira. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 621.9

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, pela minha vida e por nunca deixar minha fé se apagar.

Aos meus pais, Fred e Ivonete por todo amor e compreensão, pela educação e maneira como fui criado. A minha irmã Maria Carolina, motivo do qual eu busco ser uma pessoa boa para tentar lhe passar somente bons exemplos. Aos meus avós pela sua sabedoria e a toda minha família.

Agradeço aos orientadores Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves e Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza, pela oportunidade, pelas experiências divididas e pela cobrança.

Ao professor e orientador Manoel pelas melhores aulas já lecionadas no campus de Itapeva.

Agradeço aos meus amigos e irmãos”, pela amizade, por todos os ensinamentos e virtudes e pelo companheirismo em todos os momentos. Ao meu amigo e irmão Thierso por toda ajuda, inclusive neste trabalho.

Agradeço ao CAENGIM e a Promad Jr e ao Cursinho Cuca - Fresca.

Aos professores, servidores e técnicos da UNESP de Itapeva por todos os ensinamentos ao longo dos anos de graduação.

Agradeço à UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus experimental de Itapeva e ao curso de Engenharia Industrial Madeireira.

*“See the path cut by the moon
For you to walk on”*

Eddie Vedder

RESUMO

A expansão tecnológica e de mercado de madeira industrializada como painéis de madeira faz com que as pesquisas dos processos que envolvem esse material sejam cada vez mais necessárias. O presente trabalho estuda o processo de fresamento de MDF – painel de fibras de média densidade com fresa de topo com dentes helicoidais, apresentando a análise do acabamento superficial através da avaliação da rugosidade (Ra) e análise da potência consumida. Foram analisados três tipos de cortes no fresamento: concordante, discordante, e corte de topo. Utilizou-se 5 rotações (6000, 8000, 10000, 12000 e 14000 RPM), estabelecendo cinco velocidades de corte, 301; 402; 502; 603 e 703 m/min respectivamente. E 5 velocidades de avanço 4, 6, 8, 10 e 12 m/min. Cada condição foi repetida seis vezes, totalizando 180 ensaios. Os resultados de rugosidade foram obtidos através de rugosímetro e os dados de potência consumida foram captados por sensor de efeito Hall. Esses resultados foram analisados estatisticamente através de análise de variância e teste de Tukey. Concluiu-se por fim que há poucas diferenças significativas entre os resultados de rugosidade quando variam-se as velocidades de corte, e de avanço e há maiores diferenças quanto a potência consumida. A melhor qualidade superficial, e o menor consumo de potência foram para a velocidade de corte de 703 m/min. Para a velocidade de avanço variando, a velocidade de 4 m/min apresentou melhor qualidade superficial e menor consumo de potência.

Palavras-chave: Fresamento. Velocidade de Corte. Velocidade de Avanço. Rugosidade, Potência consumida.

ABSTRACT

The technological expansion and market manufactured wood as wood paneling makes the research of processes involving this material are increasingly necessary . The present study examines the milling process MDF - fiberboard with average density endmill with helical teeth , with the analysis of the surface finish by evaluating the surface roughness (Ra) and analysis of the power consumption . We analyzed three types of cuts in milling : concordant , discordant , and cut top . We used 5 rpm (6000 , 8000 , 10000 , 12000 and 14000 RPM) , establishing five-speed cutting, 301 , 402 ,502, 603 and 703 m / min respectively. Five forward speeds and 4, 6, 8, 10 and 12 m / min. Each condition was repeated six times , totaling 180 tests. The results of roughness were obtained from rugosimeter data and the power consumption were obtained by Hall-effect sensor . These results were statistically analyzed using analysis of variance and Tukey test . Finally it was concluded that there are few significant differences between the results themselves vary roughness when cutting speeds and feed and no major differences in power consumption . The best surface quality and lower power consumption were for cutting speed of 703 m / min . To varying forward speed , the speed of 4 m / min showed better surface quality and lower power consumption .

Keywords: Milling. Cutting Speed. Speed forward. Roughness, power consumed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mecanismo de formação de cavacos (BESKOW, A. B. Processos de Usinagem I - aula 4).	18
Figura 2. Fresamento Tangencial (A) e Fresamento Frontal (B) (STEMMER, 2005).	19
Figura 3. Principais operações de fresamento (Machado et al. 2009 , acessado em set 2013)	20
Figura 4. Geometria do Fresamento Discordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	21
Figura 5. Percurso de corte (lc), percurso de avanço (lf) e percurso efetivo (le); profundidade de corte (a_e), no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	22
Figura 6. Geometria do Fresamento Concordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	23
Figura 7. Avanço por dente (fz), avanço de corte (fc) e avanço efetivo (fe) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	23
Figura 8. Superfície real de um corpo (DINIZ, E. D. P. Medidas e Medições, Curso de Metrologia, 2009).	29
Figura 9. Rugosidade média e perfil de rugosidade (ISO 4287, 2002).	30
Figura 10. Esquema do processo produtivo de fabricação de MDF (DURATEX, 2010, in BARBOSA, 2010).	33
Figura 11. Modelo de fresadora CNC (Wess Máquinas, acessado em nov. 2013).	35
Figura 12. A máquina Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1 (Catálogo TECH Z1 2011, in ALMEIDA, 2013).	36
Figura 13. Plano de eixos utilizado pelo equipamento (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado, in ALMEIDA, 2013).	36
Figura 14. Painel de MDF seccionado.	37
Figura 15. Painel com seis trechos usinados de cada corte.	37
Figura 16. Corpo de prova (usinagem concordante e discordante).	38
Figura 17. Corpo de prova (usinagem de topo).	38
Figura 18. Serra seccionadora TECMATIC - marca e modelo (ALMEIDA, 2013).	40
Figura 19. Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011, in ALMEIDA, 2013).	41
Figura 20. Dados Técnicos Gerais (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011, in ALMEIDA, 2013)	41
Figura 21. Software Xilog Plus (in ALMEIDA, 2013).	42
Figura 22. Programa de Comando Numérico de base para os ensaios.	43
Figura 23. Serra esquadrejadeira - marca e modelo (in ALMEIDA, 2013).	44
Figura 24. Fresa de acabamento (Fabricante: CMT, in ALMEIDA, 2013).	45
Figura 25. Rugosímetro Modelo SURTRONIC 25+; marca TAYLOR HOBSON.	46
Figura 26. Haste de medição.	46
Figura 27. Computador para medição da potência.	47
Figura 28. Picos de potência durante os ensaios.	47

Figura 29. Corpo de prova pesado em baçanço.....	50
Figura 30. Corpos de prova em estufa.....	51
Figura 31. Gráficos de médias e desvio padrão.	54
Figura 32. Gráficos de médias e desvio padrão.	55
Figura 33. Gráficos de médias e desvio padrão.	56
Figura 34. Gráficos de médias e desvio padrão.	57
Figura 35. Gráficos de médias e desvio padrão.	58
Figura 36. Gráficos de médias e desvio padrão.	58
Figura 37. Gráfico comparativo da rugosidade superficial obtida nos cortes discordante e concordante (CASTRO, 2000, adaptado).....	59
Figura 38. Gráfico da influência do sentido de corte na rugosidade superficial Ra (CASTRO, 2000).	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais tipos de painéis de fibras de madeira. (IWAKIRI, 2005).	31
Tabela 2. Grupos e seus conjuntos.....	51
Tabela 3. Médias e desvios da densidade das amostras de MDF.	52
Tabela 4. Médias e desvios da umidade percentual das amostras.	52
Tabela 5. Velocidades e Rotações dos grupos A e B.....	53
Tabela 6. Velocidades dos grupos C e D.....	53
Tabela 7. Valores médios de rugosidade cada rotação nos três tipos de corte - grupo (A).....	54
Tabela 8. Valores médios de potência para cada rotação nos três tipos de corte - grupo (B).....	55
Tabela 9. Valores médios de rugosidade para cada velocidade de avanço nos três tipos de corte - grupo (C).	56
Tabela 10. Valores médios de potência para cada velocidade de avanço nos três tipos de corte - grupo (D).	57
Tabela 11. Teste de variancia - grupo A.	60
Tabela 12. Teste de variancia - grupo B.....	61
Tabela 13. Teste de variancia - grupo C.....	62
Tabela 14. Teste de variancia - grupo D.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	OPERAÇÕES DE USINAGEM	17
2.2	FRESAMENTO	18
	2.2.1 Fresamento Discordante	21
	2.2.2 Fresamento Concordante.....	22
	2.2.3 Parametros do Fresamento.....	24
2.3	POTÊNCIA DE USINAGEM	27
2.4	RUGOSIDADE	29
	2.4.1 Rugosidade Ra.....	30
2.5	PAINEL DE MDF.....	31
	2.5.1 Produção de MDF	32
2.6	MÁQUINAS CNC	34
	2.6.1 Fresadora CNC	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	PEÇAS DE MDF	36
3.2	VELOCIDADES.....	39
	3.2.1 Velocidade de Corte V_c	39
	3.2.2 Velocidade de Avanço V_f	39
3.3	MÁQUINAS UTILIZADAS	40
	3.3.1 Serra Seccionadora.....	40
	3.3.2 Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1.	40
	3.3.2.1 Programas utilizados (CNC).....	42
	3.3.2.2 Configuração dos Comandos Numericos.....	43
	3.3.3 Serra Esquadrejadeira.....	44
3.4	FERRAMENTAS UTILIZADA	45

3.5	MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE	45
3.6	MEDIÇÃO DA POTÊNCIA	46
3.7	DENSIDADE E UMIDADE	49
	3.7.1 Densidade.	49
	3.7.2 Umidade.	50
3.8	PROCEDIMENTO DE DADOS	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	RESULTADOS DE DENSIDADE E UMIDADE	52
4.2	DADOS DOS GRUPOS	53
4.3	RESULTADOS DAS MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO.....	53
	4.3.1 Grupo A	53
	4.3.2 Grupo B	55
	4.3.3 Grupo C	56
	4.3.4 Grupo D	57
4.4	RESULTADO DA ANÁLISE DOS GRUPOS	60
	4.4.1 Grupo A – Rugosidade com Velocidade de Corte Variando.....	60
	4.4.2 Grupo B – Potência com Velocidade de Corte Variando.....	61
	4.4.3 Grupo C – Rugosidade com Velocidade de Avanço Variando.....	62
	4.4.4 Grupo D – Potência com Velocidade de Avanço Variando.....	63
4.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
	4.5.1 Rugosidade	64
	4.5.2 Potência	64
5	CONCLUSÃO.....	65
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
7	ANEXO A.....	70
7.1	MATRIZ DE DADOS	70
	7.1.1 Dados de Rugosidade e potência	70

	7.1.2	Mádeias e Desvios dos dados	72
7.2		MATRIZ PARA ANÁLISE DE VARIANCIA DOS GRUPOS.....	73
	7.2.1	Grupos A e C.....	73
	7.2.2	Grupos B e D.....	74
7.3		VALORES DE DENSIDADE E UMIDADE DE CADA AMOSTRA	75

1 INTRODUÇÃO

Os produtos florestais são importantes para o homem, pois estão inseridos como parte da economia de muitos países produtores, gerando riqueza, e com benefícios sociais e ecológicos através de manejos sustentáveis e usos racionais. Por produtos florestais pode-se citar a madeira, em forma de toras, madeira serrada, lenha ou na forma de painéis, e ainda outros produtos como frutos, óleos, resinas, etc.

A indústria de painéis no Brasil e no mundo, ao longo dos anos vem aumentando sua produção e o consumo de painéis vem acompanhando o crescimento do mercado. Pode-se mensurar que para esse aumento de produção e consumo deve-se à constante busca por alternativas ao uso de madeira maciça, modernização e aumento da tecnologia das indústrias e a busca pela melhoria da qualidade dos produtos. Além dos incentivos à construção civil e as indústrias moveleiras, consumidoras de painéis de madeira.

O painel do tipo MDF (Medium Density Fiberboard) é um painel de madeira reconstituída, composto por fibras. Por ser um painel homogêneo e de superfície lisa apresenta vantagens em sua usinabilidade e de acabamento superficial, podendo utilizar assim diversos tipos de revestimentos. Vem apresentando cada vez mais espaço no mercado, principalmente no setor de moveis e molduras.

Um dos processos utilizados na produção e operações de usinagem e acabamento de MDF é o fresamento, podendo ser realizado com diversos tipos de máquinas-ferramentas, com diferentes graus de tecnologia, como em fresadoras CNC (Comando Numérico Computadorizado) que realizam operações com alta precisão e qualidade, além do maior controle das variáveis e condições de usinagem.

Este trabalho tem como alvo, análise da qualidade superficial do processo de fresamento de uma máquina CNC, em painéis de MDF através da medição da rugosidade das peças, e análise da potência utilizada pela máquina durante o processo de usinagem.

O fresamento em MDF foi escolhido por sua crescente utilização no mercado e pela carência de estudos e pesquisas relacionadas, visando assim uma otimização de sua aplicação.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade superficial e a potência consumida no processo de fresamento do painel de MDF, através da utilização de um Centro de Usinagem de Comando Numérico Computadorizado (CNC), verificando a influência da velocidade de avanço, velocidade de corte, do sentido de usinagem (concordante e discordante e usinagem de topo).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho aborda três assuntos principais: o primeiro refere-se às operações de usinagem e de fresamento. O segundo mostra os parâmetros estudados – potência e rugosidade e por fim descrição sobre o material – MDF e equipamento – CNC empregados.

2.1 OPERAÇÕES DE USINAGEM

A usinagem compreende o processamento de um material que altere sua forma inicial através da remoção de partes desse material na forma de cavaco. Essencial para a indústria e para qualquer peça que necessite da transformação de sua matéria prima.

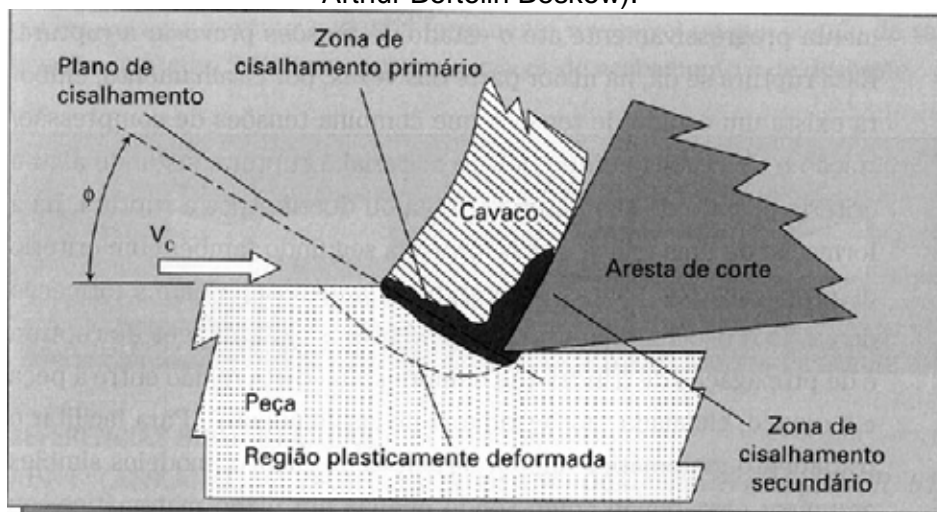
Segundo Ferraresi (1977), usinagem é a operação que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, produz cavaco. E ainda por cavaco define-se como: a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. Portanto, na usinagem, as peças são produzidas a partir da remoção de seu material na forma de cavaco.

Os processos de usinagem podem ser classificados como: Torneamento; Aplainamento; Furação; Alargamento; Fresamento, entre outros, cada um deles podendo ter diferentes tipos, conforme a posição do corte.

Segundo Machado et al. (2009), com o avanço da tecnologia das máquinas-ferramentas, que realizam os processos nos materiais, é possível a obtenção de peças mais precisas e de um melhor acabamento, mesmo em materiais de difícil usinabilidade. As máquinas-ferramentas podem ser manuais, automáticas e ainda automáticas controladas numericamente, como em centros de usinagem de Comando Numérico Computadorizado (CNC).

Na Figura 1 é apresentado um mecanismo de usinagem com remoção de cavaco:

Figura 1. Mecanismo de formação de cavacos (Processos de Usinagem I – aula 4. Prof. Arthur Bortolin Beskow).



2.2 FRESAMENTO

Superfícies planas ou curvas, internas ou externas, de quase todas as formas e dimensões podem ser usinadas por fresamento (DOYLE, 1978).

Fresamento é um processo mecânico de usinagem que segundo Ferraresi (1977) é capaz de gerar quaisquer superfícies com auxílio de ferramentas multicortantes. Onde a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam em uma trajetória qualquer.

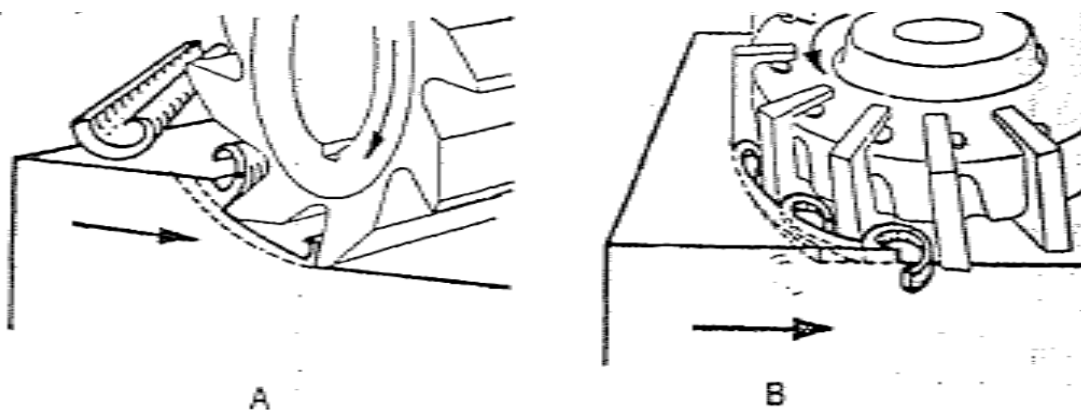
As principais características desta operação de usinagem segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2001) são;

- I) A fresa é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo;
- II) O movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa ao redor do seu eixo;
- III) O movimento de avanço é geralmente feito pela própria peça em usinagem, que está fixada na mesa da máquina, o qual obriga a peça a passar sob a ferramenta em rotação, que lhe dá forma e dimensão desejadas.

Ainda segundo Diniz et al. (2001), os processos de fresamento podem ser de diferentes tipos, segundo a posição do eixo – árvore da máquina ferramenta, podem ser classificados em fresamento horizontal, fresamento vertical ou fresamento inclinado. Segundo a disposição dos dentes ativos da fresa, classifica-se a operação da seguinte maneira;

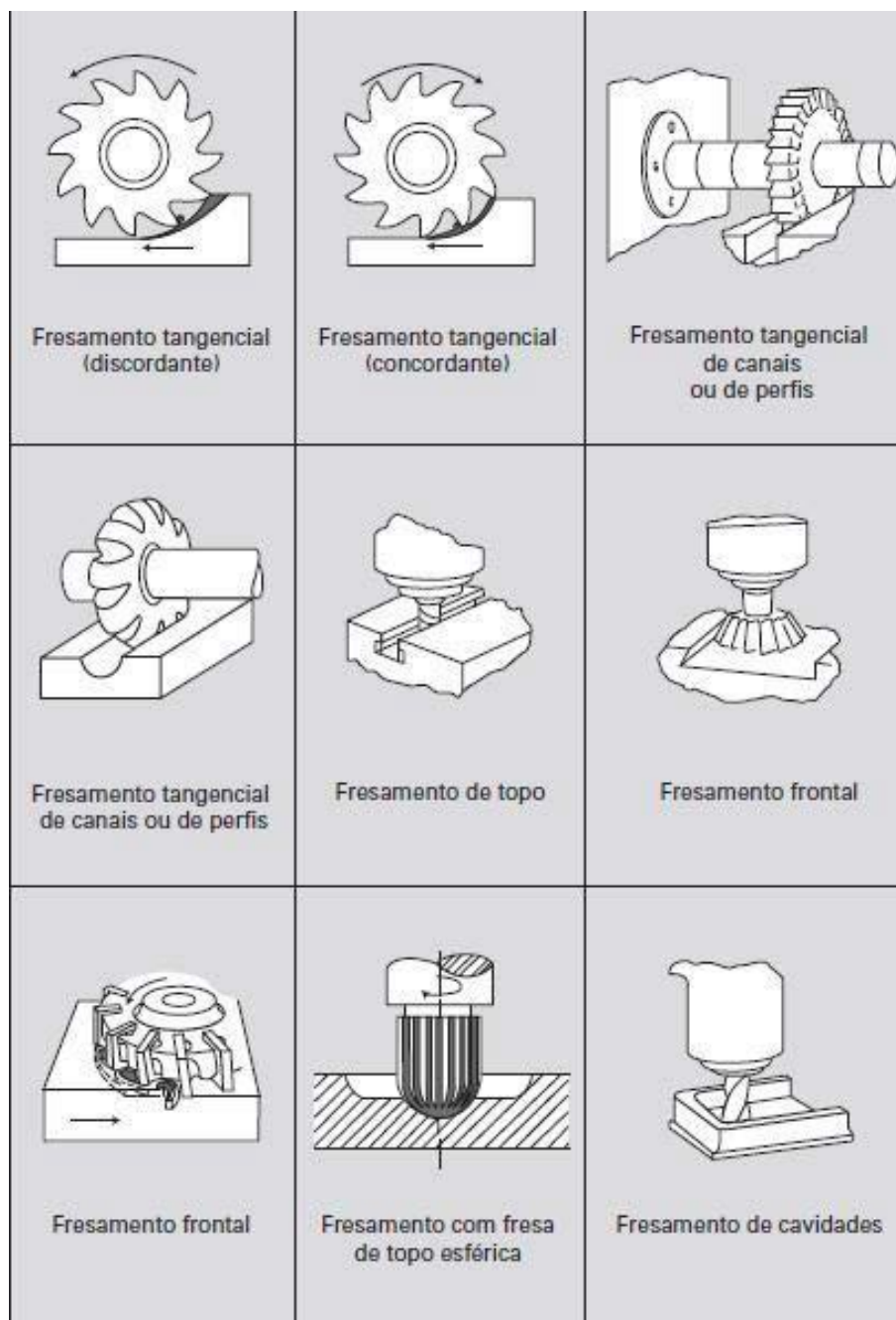
- I) Fresamento tangencial – operação na qual os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta – o eixo da fresa é paralelo à superfície que está sendo gerada. As fresas são chamadas de fresas cilíndricas ou tangenciais.
- II) Fresamento frontal – operação na qual os dentes ativos da fresa estão na superfície frontal da ferramenta – o eixo da fresa é perpendicular à superfície gerada. As fresas são chamadas de fresas frontais ou de topo.

Figura 2. Fresamento Tangencial (A) e Fresamento Frontal (B) (STEMMER, 2005).



Na Figura 3 são apresentados alguns tipos de fresamentos:

Figura 3. Principais operações de fresamento (Machado et al, 2009, acessado em set 2013).



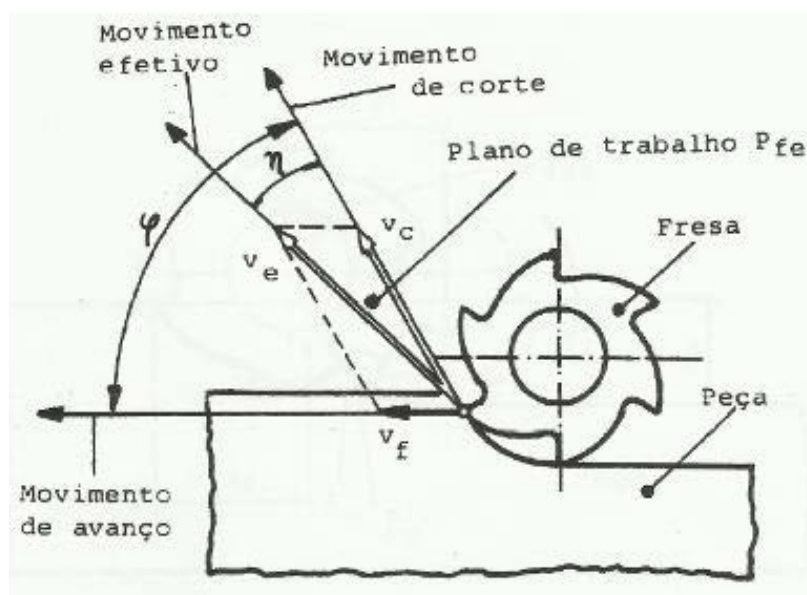
Segundo Hioki (2006), pode-se classificar o fresamento, entre outras classificações, como concordante e discordante, conforme o sentido de rotação e o avanço da peça.

2.2.1 Fresamento Discordante

Segundo Diniz et al. (2001) no fresamento discordante o sentido de movimento de avanço é contrário ao sentido do movimento rotatório da fresa, e o ângulo de direção de avanço (ϕ), ângulo entre a linha radial da fresa em que se tem o contato da aresta com a peça e outra linha radial que passa pelo ponto onde a espessura do cavaco é inicialmente zero e atinge um valor máximo no final da passagem da aresta de corte. Quando a aresta toca a peça, ela é forçada para dentro da peça, criando um grande atrito que acarreta em uma deformação plástica ao invés da formação de cavaco naquela região e ainda altas temperaturas. Com o corte em superfícies encruadas pelo dente anterior, o atrito favorece o aumento do desgaste da ferramenta. Com a pressão da aresta cortante capaz de vencer a tensão de ruptura da peça, a ferramenta penetra na peça e começa a retirar material em forma de vírgula. Assim no começo da operação de cada dente, a componente vertical tende a afastar a ferramenta da peça empurrando-a contra a mesa da fresadora, e no final da operação a aresta cortante tende a afastar a peça da mesa.

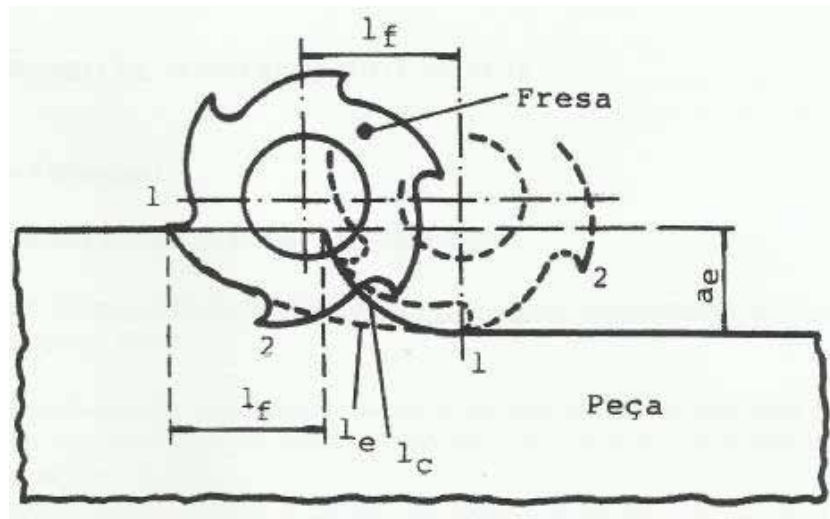
Em seu livro, Gonçalves (2000) apresenta o fresamento discordante segundo a Norma 6162/88, adotadas para usinagem de metais, como é mostrado na Figura (4):

Figura 4. Geometria do Fresamento Discordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).



Tem-se ainda os movimentos no processo de fresamento periférico segundo a Norma 6162/88, também apresentados por GONÇALVES (2000) (Figura 5).

Figura 5. Percurso de corte (l_c), percurso de avanço (l_f) e percurso efetivo (l_e); profundidade de corte (a_e), no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).

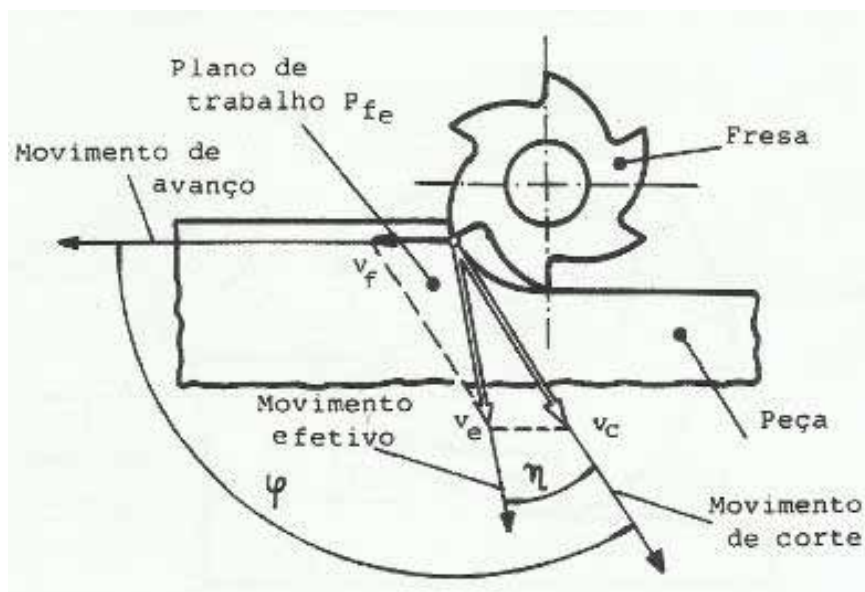


2.2.2 Fresamento Concordante

O fresamento concordante se caracteriza pelo movimento de avanço e o movimento rotatório da fresa estarem no mesmo sentido. Neste corte o ângulo ϕ começa em um valor máximo e decresce até zero. A componente vertical da força de usinagem tem sempre o mesmo sentido, sempre empurrando a peça na direção da mesa. Como a aresta de corte penetra na peça em um ângulo máximo, o contato inicial se dá em condições desfavoráveis, diminuindo a vida da ferramenta. (DINIZ et al., 2001).

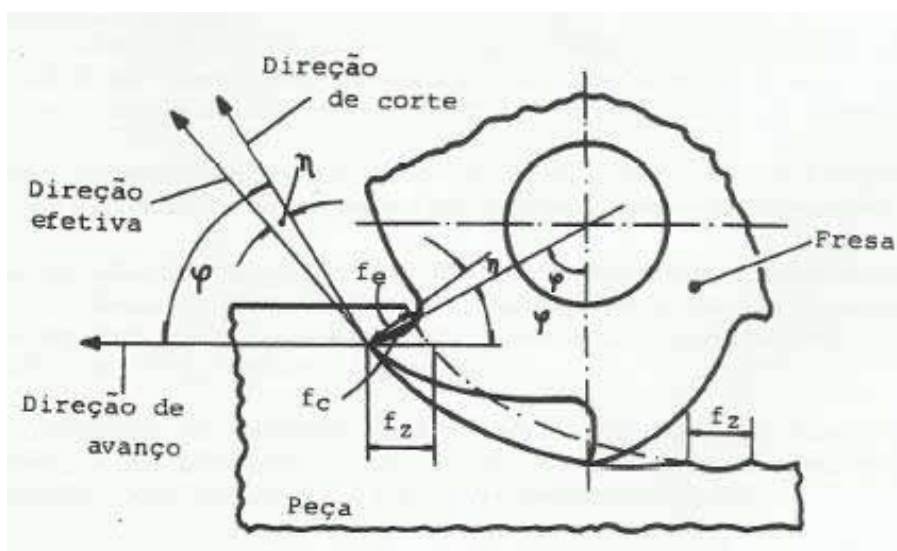
Gonçalves (2000) apresenta na Figura 6 o fresamento concordante e suas terminologias, segundo a Norma 6162/88, adotadas para usinagem de metais e os movimentos no processo de fresamento.

Figura 6. Geometria do Fresamento Concordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).



Gonçalves (2000) por fim, apresenta na Figura 7, os movimentos em um dos processos de fresamento periférico segundo a Norma 6162/88.

Figura 7. Avanço por dente (f_z), avanço de corte (f_c) e avanço efetivo (f_e) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).



Onde:

P_{fe} = Plano de trabalho é o plano que passando pelo plano de corte escolhido contém as direções de corte e avanço.

V_c = Velocidade de corte (m/s).

V_e = Velocidade efetiva (m/s).

V_f = Velocidade de avanço (m/min).

η = Ângulo de direção efetiva.

φ = Ângulo de direção de avanço.

Das relações geométricas, tem-se: $V_f = f_z \cdot Z \cdot n$

Onde $f_z \cdot Z = f$ Logo: $V_f = f \cdot n$

Sendo: f_z = Avanço por dentes da ferramenta (mm/rot)

Z = Número de dentes da ferramenta

N = Rotação da ferramenta (rpm)

F = Avanço da peça (mm/min).

2.2.3 Parâmetros do fresamento

Segundo as definições de Ferraresi (1977), tem-se as seguintes definições, conforme seu tipo:

- I) Movimentos entre a peça e aresta cortante:
 - Movimento de corte: é um movimento entre a peça e a ferramenta e, o qual sem um movimento de avanço origina somente uma única remoção de cavaco durante uma volta ou um curso;

- Movimento de avanço: é um movimento entre a peça e a ferramenta que juntamente com o movimento de corte, originam um levantamento repetitivo ou contínuo de cavaco durante várias revoluções ou cursos. O movimento de avanço pode ser resultante de vários movimentos componentes, como por exemplo, o movimento de avanço principal e o movimento de avanço lateral;
- Movimento efetivo de corte: é um movimento resultante da combinação dos movimentos de corte e de avanço realizados ao mesmo tempo.

II) Direções dos movimentos

- Direção de corte: é a direção instantânea do movimento de corte;
- Direção de avanço: é a direção instantânea do movimento de avanço;
- Direção efetiva de corte: é a direção instantânea do movimento efetivo de corte.

III) Velocidades:

- Velocidade de corte: é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção e sentido de corte;
- Velocidade de avanço: é a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço;
- Velocidade efetiva: de corte é a velocidade instantânea do ponto de aresta cortante, segundo a direção efetiva de corte.

IV) Ângulos:

- Ângulo φ da direção de avanço: é o ângulo entre a direção de avanço e a direção de corte;
- Ângulo η da direção efetiva de corte: é o ângulo entre a direção efetiva de corte e a direção de corte;

- Ângulo de folga α : também chamado de ângulo de incidência, é o ângulo entre a superfície de folga e o plano de corte, medido no plano de medida da cunha cortante;
- Ângulo de Cunha β : é o ângulo entre a superfície de folga e a superfície de saída medida no plano de medida da cunha cortante;

Estes movimentos, direções, velocidades e ângulos podem ser visualizados nas figuras 4, 6 e 7.

Souza Júnior (2001) apresentou os parâmetros de condições de corte que influenciarão na qualidade da peça:

- Velocidade de corte (m/min): é a velocidade tangencial com que o diâmetro externo da fresa percorre a peça de trabalho, sendo que este diâmetro é a medida entre as arestas de cortes opostas linearmente.
- Velocidade de avanço da mesa (mm/min): é a relação entre a distância percorrida a cada minuto de peça em relação à ferramenta.
- Avanço por rotação (mm/rev*z): é a distância percorrida pela peça (mesa de trabalho) para cada rotação da fresa.
- Avanço por dente (mm/rev): é a distância percorrida pela mesa de trabalho para cada rotação da mesa dividido pelo número de dentes da fresa.
- Profundidade de corte (mm): é a largura de penetração da ferramenta na peça, medido numa direção perpendicular ao plano de trabalho, ou seja, é a profundidade com que a ferramenta de corte cortará a peça.
- Penetração de trabalho (mm): é a penetração da ferramenta em relação à peça, medido no plano de trabalho e numa direção perpendicular à direção de avanço.
- Penetração de avanço (mm): é a penetração da ferramenta medida no plano de trabalho e na direção de avanço

2.3 POTÊNCIA DE USINAGEM

Segundo Machado et al. (2009), a potência de usinagem é a soma das potências necessárias para cada componente da força de usinagem. Os componentes de corte e de avanço da usinagem contribuem para a potência de usinagem.

Ainda segundo Machado et al. (2009), a potência de corte, em kW, é dada pela Equação 1:

$$P_c = F_c \cdot V_c / 60 \times 10^3 \quad (1)$$

Onde:

P_c – Potência de corte [kW];

F_c – Força de corte [N];

V_c – velocidade de corte [m/min];

A potência de avanço, em kW é dada pela Equação (2):

$$P_f = F_f \cdot V_f / 60 \times 10^3 \quad (2)$$

Onde:

P_f – Potência de avanço [kW];

F_f – Força de avanço [N];

V_f – velocidade de avanço [m/min];

A potência do motor de acionamento é dada pelas potências das Equações (1) e (2) divididos pelos respectivos rendimentos de seus sistemas de transmissão entre os eixos dos motores e dos sistemas finais de entrega de potência na ferramenta ou no carro de avanço da máquina – ferramenta (Machado et al. 2009).

Têm-se então as potências P_{mc} – Potência do motor de acionamento e P_{mf} – potência do sistema de avanço.

Segundo a proporção entre os componentes de usinagem para torneamento de aço apresentado por Ferraresi (1977), para a usinagem de aços comuns com ferramenta de metal duro, a proporção média entre as potências é:

$$F_c: F_f = 4,5 : 1;$$

Portanto, conhecer a força de corte é suficiente para determinar a potência e a escolha da máquina e ferramenta para a usinagem.

A potência instantânea é dada pela seguinte Equação (3):

$$P_i = V(t) \cdot I(t) \quad (3)$$

Onde:

P_i = potência instantânea

$V(t)$ = tensão medida no tempo

$I(t)$ = corrente elétrica medida no tempo

Segundo NISHIER (1996), para circuitos de corrente alternada, o cálculo da potência segue essa mesma multiplicação, porém, os valores de tensão e de corrente são chamados “valores eficazes”, ou seja, valores que produzem os mesmos efeitos térmicos que os equivalentes contínuos.

O valor da corrente eficaz é dada pela Equação (4):

$$I_{ef} = I_{max}/\sqrt{2} \quad (4)$$

Onde:

I_{ef} = corrente elétrica eficaz

I_{max} = corrente elétrica senoidal máxima

Segundo Machado et al. (2009), o índice “max” indica o valor máximo da grandeza na forma de onda senoidal. Em motores elétricos ou bobinas, a tensão e a corrente ficam defasadas no tempo. O ângulo de defasagem é representado por φ . Por causa desta defasagem surgem os conceitos de potência aparente (potência total) P_{ap} , potência ativa P_{at} e potencia reativa P_{rt} .

Ainda segundo Machado et al (2009), para motores trifásicos, os componentes de potência devem ser multiplicados por $\sqrt{3}$, pois a corrente, na ligação em triângulo das bobinas, e a tensão, na ligação em estrela, são multiplicadas por esse valor. Assim para a potência aparente em Watts, tem-se a equação:

$$P_{ap3F} = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\phi \quad (5)$$

2.4 RUGOSIDADE

A rugosidade pode ser caracterizada como as irregularidades em uma superfície usinada. Essas irregularidades podem ser determinadas pela medição da altura, largura e forma dos picos e vales produzidos pelas operações. A qualidade da superfície usinada, portanto, depende de muitos fatores que podem estar associados às propriedades do material como as condições de usinagem. Dentre os parâmetros de rugosidade mais comuns tem-se o Ra, Rz e Rmax (MAGOSS, 2008).

Segundo Amorin (2002), o acabamento superficial, dado principalmente pela rugosidade, consiste em um conjunto de irregularidades, com espaçamento regular ou irregular, que tendem a formar um padrão característico em uma superfície. As irregularidades estão presentes em todas as superfícies, por mais perfeitas que estejam, e podem advir do processo empregado em sua obtenção, como torneamento, fresamento, furação.

As características do processamento que afetam a superfície são: a imprecisão da máquina-ferramenta, condições da ferramenta, a vibração da ferramenta ou da peça e a geometria de corte (LEMASTER E BEALL, 1996).

Na Figura 8 é apresentado um exemplo de superfície real:

Figura 8. Superfície real de um corpo (Medidas e Medições, Curso de Metrologia. Prof. Ms. Emilio Dionísio Porto Diniz, 2009)



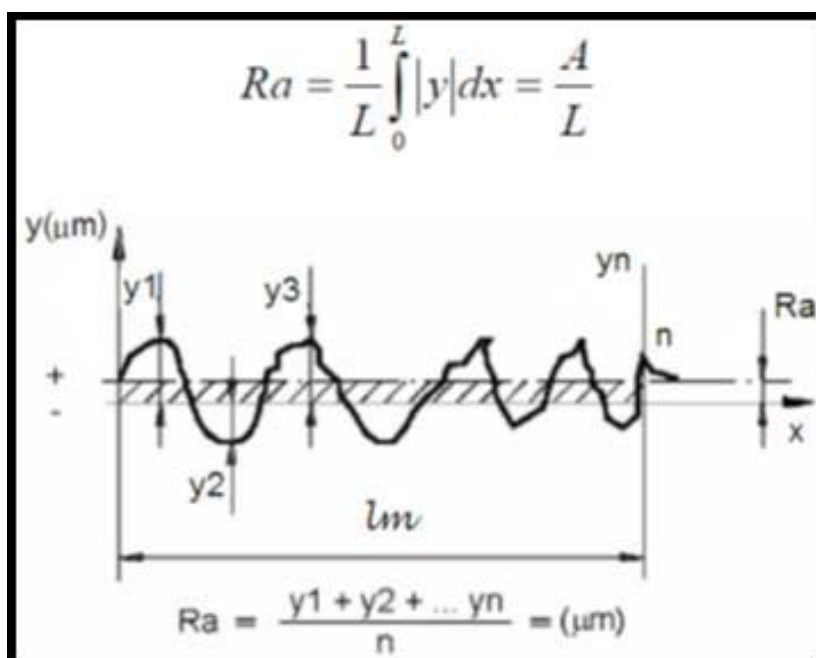
2.4.1 Rugosidade Ra

Dentre os parâmetros que medem as características da superfície, os mais utilizados na indústria são os que medem a amplitude da rugosidade (Batista, 2006).

Segundo Carpinetti et. al. (1996), o parâmetro Ra, que representa a rugosidade média, e é definida como a amplitude média do perfil em relação à linha de referência sobre determinado comprimento do perfil correspondente à cada comprimento amostral considerado.

A norma ABNT ISO 4287 (2002), descreve os parâmetros de amplitude para a medição de rugosidade. Neste trabalho deu-se ênfase no parâmetro de Rugosidade Média (Ra) do rugosímetro. A rugosidade aritmética ou média (Ra), também representado por CLA ou AA, é dada em unidades de micrometro (μm) ou micropolegada. Ele é determinado em função da linha média do perfil de rugosidade, como na Figura 9.

Figura 9. Rugosidade média e perfil de rugosidade (ISO 4287, 2002).



2.5 PAINEL DE MDF

Existem diversos tipos de painéis de madeira, que são definidos como produtos compostos de elementos da madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligações adesivas (IWAKIRI, 2005).

Pode-se caracterizar os painéis de fibras de madeira como um produto de estrutura altamente homogênea e isotrópica. A utilização individualizada das fibras de madeira e sua disposição de forma aleatória ao plano da chapa tornam o painel um produto com grandes vantagens em termos de homogeneidade das propriedades. Os painéis são produzidos a partir das fibras individualizadas, que se aderem através do entrelaçamento destas fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira como a lignina (IWAKIRI, 2005).

Segundo a ABIPA (2010), os Painéis de Fibras de Média Densidade, *Medium Density Fiberboard* ou MDF como é conhecido, é um painel industrial homogêneo, com boa estabilidade dimensional, de superfície uniforme lisa e de alta densidade.

Os painéis de fibras de madeira podem ser classificados conforme seu tipo e apresentam diferentes densidades. Na Tabela (1) é apresentada uma classificação destes painéis:

Tabela 1. Principais tipos de painéis de fibras de madeira. (IWAKIRI, 2005)

TIPO	DENSIDADE (g/cm ³)
Não prensados	
1. Painéis isolantes (semi-rígido)	0,02 a 0,15
2. Painéis isolantes (rígido)	0,15 a 0,40
Prensados	
1. Painéis de média densidade (MDF)	0,50 a 0,80
2. Painéis de fibras duras	0,80 a 1,20
3. Painéis de alta densificação	1,20 a 1,45

O MDF, portanto é um painel de média densidade: faixa de 0,50 a 0,85 g/cm³, segundo a literatura.

Segundo Iwakiri (2005), devido à homogeneidade e isotropia os painéis de MDF apresentam vantagens quanto à usinabilidade, nas faces e nas bordas, e

devido à sua superfície lisa, consegue melhores condições no acabamento superficial.

O MDF se comparado a outros painéis como aglomerados, chapas duras e compensados, apresenta desempenho inferior nas operações de curvagem e pintura somente em relação à chapa dura. Em relação aos outros painéis, é superior para as operações de corte, usinabilidade da borda, torneamento, furação, pintabilidade, revestimento plano e revestimento de trabalho. (ELEOTÉRIO, 2004).

Quanto à sua utilização, o painel de MDF, destina-se principalmente à indústria moveleira, na fabricação de componentes de móveis, como tampos e pés de mesa, partes de armários e molduras em geral. Pode ser usado ainda na construção civil como pisos, rodapés, portas, batentes de portas, etc. (IWAKIRI, 2005).

2.5.1 Produção de painéis MDF

As toras verdes do pátio de madeira são processadas na forma de cavacos que são aquecidos sob pressão de vapor de água a temperaturas que variam entre 120 e 180°C, amolecendo a camada ligante entre as fibras facilitando assim o desfibramento dos cavacos. As fibras individualizadas resultantes desse processo apresentam alto teor de umidade devendo atingir um teor de umidade próximo a 3% para possibilitar a adição de resina (ASPLUND, 1973 apud SILVA, 2003).

Na etapa de colagem, resina uréia-formaldeído é utilizada na proporção de 8 a 10% de sólido resinoso, base peso seco das fibras. Cerca de 5 a 10% de resina melamina-formaldeído, em relação ao peso da uréia-formaldeído, pode ser adicionada com o objetivo de aumentar a resistência à umidade (IWAKIRI, 2005). Após a aplicação da resina é feita a secagem das fibras e encaminhadas para a formadora do colchão.

O colchão de fibras já encolado e na gramatura adequada é introduzido na prensa. A prensagem dos painéis pode ser realizada em prensa estática de múltiplos pratos ou em prensa contínua plana (IWAKIRI, 2005). Durante a prensagem dos painéis, sob condições de temperatura e pressão, a resina que

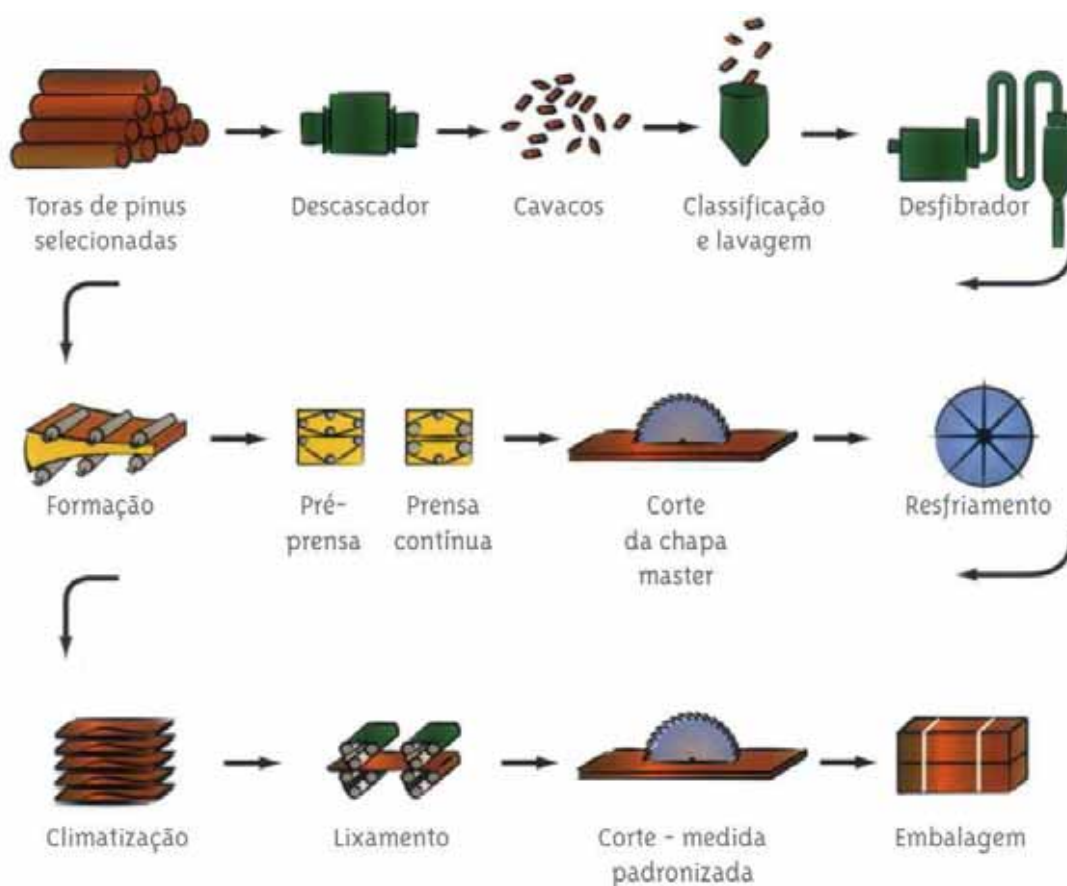
envolve as fibras sofre o processo de polimerização, consolidando os painéis MDF (BELINI, 2007).

A seguir é realizada a etapa de acabamento em que os painéis são seccionados, resfriados, empilhados para estabilização da temperatura e umidade, lixados nas duas faces e esquadrejados em comprimentos comerciais (IWAKIRI, 2005).

Os painéis MDF podem ser comercializados com acabamento In Natura, Pintado ou Revestido com Laminado Baixa Pressão ou *Finish Foil*. Os painéis crus podem receber acabamentos posteriores com tintas, vernizes, laminado de alta pressão ou laminas de madeira (IWAKIRI, 2005; ABIPA, 2010).

A Figura 10 a seguir ilustra o esquema do processo produtivo:

Figura 10. Esquema do processo produtos de fabricação de MDF (DURATEX, 2010, in BARBOSA, 2010).



2.6 MÁQUINAS CNC

As máquinas com comando numérico computadorizado (CNC) são máquinas-ferramentas controlada numericamente capazes de fabricar peças em diversos tipos de materiais através do uso de ferramentas de corte. Elas surgiram para aprimorar, otimizar e garantir a qualidade no processo (SANTOS, DIAS, 2010).

O desenvolvimento de uma fresadora com comando numérico se deu devido à necessidade de uma máquina-ferramenta com maior velocidade e confiabilidade na indústria de construção de aviões nos EUA durante a década de 50 (ESPANHOL, 1989. p.13).

Segundo Slack *et al.* (1996) a máquina CNC é composta basicamente da unidade de comando, onde é armazenado o software e onde são processados todos os cálculos do sistema, da máquina ferramenta e dos acionamento para os movimentos dos eixos. Para o funcionamento da máquina é necessário um comunicação com o equipamento feita por uma linguagem de programação, através de códigos ou símbolos padrão.

O Comando Numérico Computadorizado é portanto, um computador ou interface eletrônica alfanumérica, que através dos códigos e de sua memória, permite o armazenamento e utilização de dados no comando de uma máquina operatriz (ESPANHOL, 1989).

2.6.1 Fresadora CNC

A Fresadora (Figura 11) é formada por um motor de alta velocidade, um mandril e uma ferramenta de corte encaixada no mandril. A rotação do motor gera um movimento rotacional na ferramenta de corte, fresa que retira material de um tarugo. O material bruto é deslocado linearmente quando fixado a uma mesa base. A combinação da rotação da fresa e o movimento linear da mesa resulta na subtração de material do tarugo. (LYRA, 2010).

Lyra (2010) ainda complementa dizendo que uma fresadora com seu controle por meio do Comando Numérico Computadorizado, tem o nome de Fresadora CNC.

Figura 11. Modelo de fresadora CNC (Wess Máquinas, acessado em Nov. 2013).



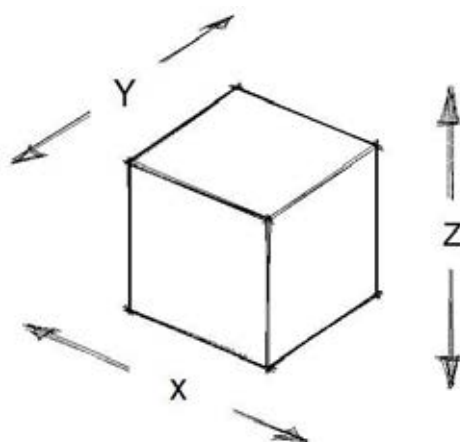
A máquina utilizada neste trabalho foi a Furadeira - Fresadora - CNC Tech Z1 da empresa SCM GROUP S.P.A (2011) (Figura 12). Segundo a empresa esta máquina trabalha com madeira e materiais de mesmo atributo, trabalham ao longo dos eixos X, Y e Z como é mostrado na Figura 13.

Os movimentos na fresadora ocorrem através do deslizamento de patins de recirculação de esferas sobre guias prismáticas. Os dispositivos para o posicionamento das peças, de referência por batente e o plano de trabalho são instalados sobre uma base. (SCM GROUP S. P. A, 2011).

Figura 12. A máquina Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1 (Catálogo TECH Z1 2011, in ALMEIDA 2013).



Figura 13. Plano de eixos utilizado pelo equipamento (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado, in ALMEIDA 20013).



3 MATERIAIS E MÉTODOS

Toda a preparação dos materiais e todos os procedimentos para obtenção dos dados deste trabalho foram realizados no Laboratório de Usinagem e Automação – LUA, e no Laboratório de Propriedades Mecânicas, no Campus da UNESP de Itapeva.

3.1 PEÇAS DE MDF

Para esse trabalho foram utilizados painéis de MDF - medium density fiberboard, com densidade média de $0,675 \text{ g/cm}^3$ e umidade média de 8,33%. Os painéis foram cortados em forma retangular com as dimensões de 500 x 220 x 15 mm (Figura 14), e serviram de base para a usinagem dos corpos de prova.

Figura 14. Painel de MDF seccionado.



Na mesma peça, os painéis foram usinados perifericamente, nos sentidos concordante e discordante, e ainda foi realizada a usinagem de topo, gerando assim seis trechos iguais de cada lado do painel e seis trechos usinados em sua face (Figura 15), totalizando 10 chapas usinadas.

Figura 15. Painel com seis trechos usinados de cada corte.



Para os cortes concordante e discordante a profundidade de corte (a_e) foi de 1 mm, e a largura de corte (a_p) foi de 16 mm. Para o corte de topo a profundidade de corte (a_e) foi de 16 mm e a largura de corte (a_p) foi de 5 mm.

Por fim, de todas as dez chapas com os trechos usinados, extraiu-se seis corpos de prova com dimensões de 50 x 15 x 15 mm (Figura 16) e ainda a extremidade da chapa onde se encontra os seis fresamentos de topo (Figura 17). Obtendo assim todos os corpos de prova para as análises.

Figura 16. Corpo de Prova.



Figura 17. Corpo de Prova



Usinagem de topo: rasgos com largura de corte (a_p) de 5 mm e profundidade de corte (a_e) de 16 mm

3.2 VELOCIDADES

Para os ensaios foram variadas as velocidades de corte e de avanço.

3.2.1 Velocidade de Corte (V_c).

Conhecendo as rotações de corte da ferramenta, foi possível calcular as velocidades de corte (V_c), através da Equação (7):

$$V_c = \pi \cdot D_f \cdot n \quad (7)$$

Onde:

V_c – Velocidade de corte (m/min);

D_f = Diâmetro da ferramenta (mm);

n = Número de rotações (RPM).

As rotações utilizadas nos ensaios foram de 6000, 8000, 10000, 12000 e 14000 rpm, utilizando uma fresa de acabamento, de topo de dentes helicoidais, de 16 mm de diâmetro. Assim, a velocidade de corte (V_c) para essas rotações e diâmetro, foram, respectivamente: 301; 402; 502; 603 e 703 m/min respectivamente.

Para os ensaios variando a velocidade de corte, a velocidade de avanço (V_f) foi fixada em 8 m/min.

3.2.2 Velocidade de Avanço (V_f).

As velocidades de avanço (V_f) nos ensaios foram variadas sendo utilizadas as velocidades de 4; 6; 8; 10 e 12 m/min.

Para os ensaios variando a velocidade de avanço, a rotação foi fixada em 5000 RPM, que pela Equação (7) obteve-se a velocidade de corte (V_c) de 0,251 m/min.

3.3 MÁQUINAS UTILIZADAS

3.3.1 Serra Seccionadora

Para a preparação dos painéis pré-corpos de prova foi utilizada uma serra seccionadora TECMATIC, modelo FIT 2.9 (Figura 18), que cortou uma placa de MDF nas chapas retangulares utilizadas.

Figura 18. Serra seccionadora TECMATIC – marca e modelo (ALMEIDA, 2013).



3.3.2 Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1.

Para a obtenção das superfícies analisadas neste trabalho foi utilizada a máquina Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (Figura 19), que realizou o processo de usinagem de fresamento periférico e de topo dos painéis de MDF.

Figura 19. Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011, in ALMEIDA, 2013).



Os dados técnicos da máquina são apresentados na Figura (20) a seguir:

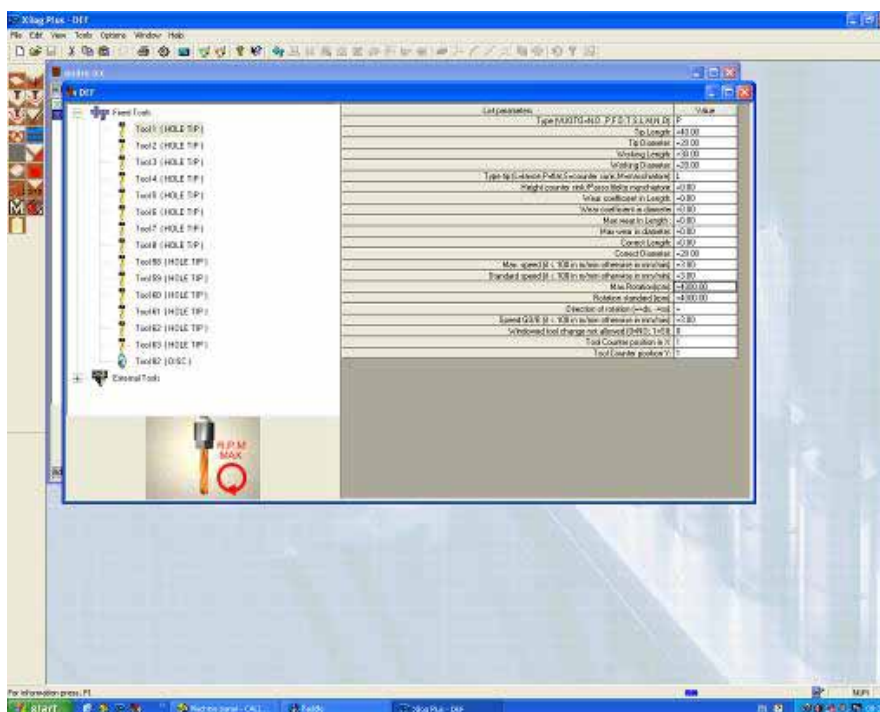
Figura 20. Dados Técnicos Gerais (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011, in ALMEIDA, 2013).

DADOS TÉCNICOS GERAIS		
Plano de trabalho útil com 1 painel (Tech Z1 - 26)	mm	2550x1050
Plano de trabalho útil com 1 painel (Tech Z1 - 30)	mm	3050x1050
Curso eixo "X" - "Y"	mm	ver o cap. 3.4
Curso eixo Z	mm	150
Velocidade programável no eixo "X"	m/min	25
Velocidade programável no eixo "Y"	m/min	45
Velocidade programável no eixo "Z"	m/min	15
Velocidade vetorial	m/min	54
Passagem painel	mm	ver o cap. 3.5
Peso compreendido aparelhagem elétrica (Tech Z1 - 26/30)	kg	1900/2200
Potência acústica segundo normas ISO / EN	DB	ver o cap. 3.2
⁽¹⁾ Opcional		
DADOS TÉCNICOS ELÉCTRICOS		
Potência motor pontas a perfurar a 12 / 18 mandrils verticais	kW (Hp)	2,2 (3)
Potência Eletromandril y/o grupos operadores opcionais	kW (Hp)	ver o cap. específico
Alimentação elétrica standard	V / Hz	400 / 50-60
Corrente nominal em Ampere	A	27 ⁽²⁾ + 44 ⁽³⁾
DADOS TÉCNICOS alimentação ar comprimido e aspiração aparas		
Alimentação ar comprimido	Bar	6,5
Consumo médio de ar comprimido	NI/min	400
Consumo maximo istântaneo ar comprimido	NI/min	700
Diâmetro condutor centralizado de aspiração aparas	mm	200
Consumo ar de aspiração	m ³ /h	3400
Velocidade ar de aspiração	m/sec	30
Depressão	Pascal	3000

3.3.2.1 Programas utilizados (CNC)

O software utilizado pela máquina CNC do Laboratório de Usinagem e Automação foi o Xilog Plus (Figura 21). Segundo a empresa GROUP S.P.A – Manual de Instruções (2011) a aplicação dele caracteriza-se pela configuração da máquina com as ferramentas através do painel de controle, importação dos arquivos dxf e xtl, programação paramétrica e a interpolação linear e circular dos planos x, y e z.

Figura 21. Software Xilog Plus (in ALMEIDA, 2013).



Para a medição e obtenção dos dados de potência foi utilizado um programa e aquisição desenvolvido com o software NI LabView 7.1 que segundo a National Instruments (2012) é um software de análise em tempo real, que monitora e controla medições de dados que acrescentam na interface homem máquina.

3.3.2.2 Configuração dos Comandos Numéricos

A configuração dos Comandos Numéricos utilizados no processo é gerada a partir do próprio software Xilog Plus da máquina. Esse programa gerado envia os parâmetros para que a máquina entenda a linguagem CNC e proceda a usinagem escolhida. Na figura 22 é mostrado o programa base para todos os ensaios desse trabalho.

Figura 22. Programa de Comando Numérico de base para os ensaios.

```

vinicius acabamento ap1mm
H DX=500 DY=220 DZ=16 -A *MM /DEF #
000001 H DX=500 DY=220 DZ=16 -A C=0 T=0 R=1 *MM /"DEF"
000002 G0 X=520 Y=-6 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000003 G1 X=-20 V=8
000004 G0 X=520 Y=-4 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000005 G1 X=-20 V=8
000006 G0 X=520 Y=-2 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000007 G1 X=83 V=8
000008 G0 X=520 Y=0 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000009 G1 X=167 V=8
000010 G0 X=520 Y=2 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000011 G1 X=250 V=8
000012 G0 X=520 Y=4 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000013 G1 X=334 V=8
000014 G0 X=520 Y=6 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000015 G1 X=417 V=8
000016 G0 X=520 Y=226 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000017 G1 X=-20 V=8
000018 G0 X=520 Y=224 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000019 G1 X=-20 V=8
000020 G0 X=520 Y=222 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000021 G1 X=83 V=8
000022 G0 X=520 Y=220 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000023 G1 X=167 V=8
000024 G0 X=520 Y=218 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000025 G1 X=250 V=8
000026 G0 X=520 Y=216 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000027 G1 X=334 V=8
000028 G0 X=520 Y=214 Z=20 E=1 V=8 S=14000# T=103
000029 G1 X=417 V=8
000030 G0 X=520 Y=55 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000031 G1 X=400 V=8
000032 G0 X=520 Y=77 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000033 G1 X=400 V=8
000034 G0 X=520 Y=99 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000035 G1 X=400 V=8
000036 G0 X=520 Y=121 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000037 G1 X=400 V=8
000038 G0 X=520 Y=143 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000039 G1 X=400 V=8
000040 G0 X=520 Y=165 Z=5 E=1 V=8 S=14000# T=103
000041 G1 X=400 V=8
000042 N X=2000
000043

```

Onde:

Os números em verde indicam a sequência dos comandos a serem executados;

H – Dimensões da peça base;

G0 – Avanço rápido;

G1 – Ciclo retilíneo de usinagem;

X é a posição do cabeçote móvel no eixo X;

Y é a posição do cabeçote móvel no eixo Y;

Z é a posição do cabeçote móvel no eixo Z;

3.3.3 Serra esquadrejadeira.

Após a usinagem dos painéis foram retirados blocos retangulares com a superfície usinada e a extremidade do painel com o topo usinado com a esquadrejadeira da empresa VERRY, modelo LIFE (Figura 23), obtendo então os corpos de prova para medição da rugosidade.

Figura 23. Serra Esquadrejadeira - marca e modelo (in ALMEIDA, 2013).



3.4 FERRAMENTA UTILIZADA

A fresa utilizada foi a Fresa de acabamento HWM – Premium - Upcut Spiral Bit, de diâmetro de 16 mm, do fabricante CMT – código nº 193.161.11 (Figura 24).

Figura 24. Fresa de acabamento (Fabricante: CMT, in ALMEIDA 2013).



3.5 MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE

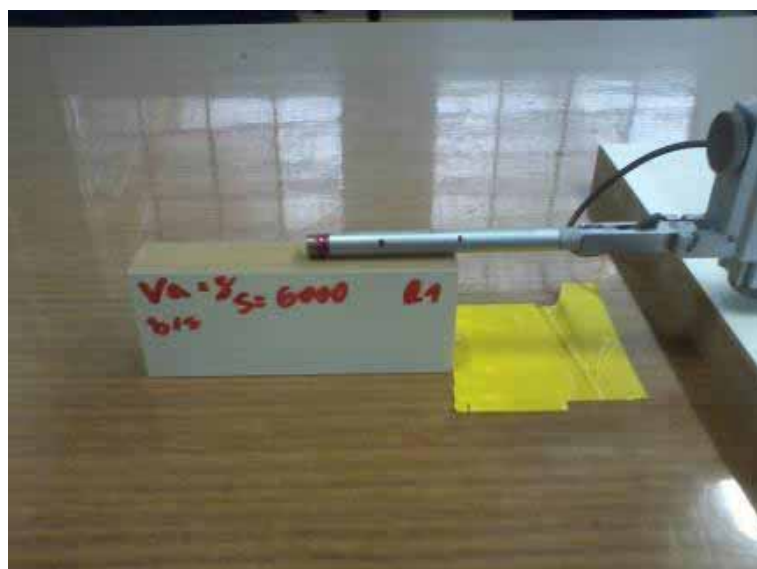
Para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo SURTRONIC 25+ com haste de medição com ponta de diamante (Figuras 25 e 26).

O parâmetro para a avaliação do acabamento superficial das peças usinadas foi o de rugosidade Ra (média) utilizando Cut-off de 2,5mm, comprimento de medição de 12,5mm, filtro gaussiano e uma altura máxima de leitura (range) de 300 μm .

Figura 25. Rugosímetro Modelo SURTRONIC 25+; marca TAYLOR HOBSON.



Figura 26. Haste de medição.



3.6 MEDIÇÃO DA POTÊNCIA

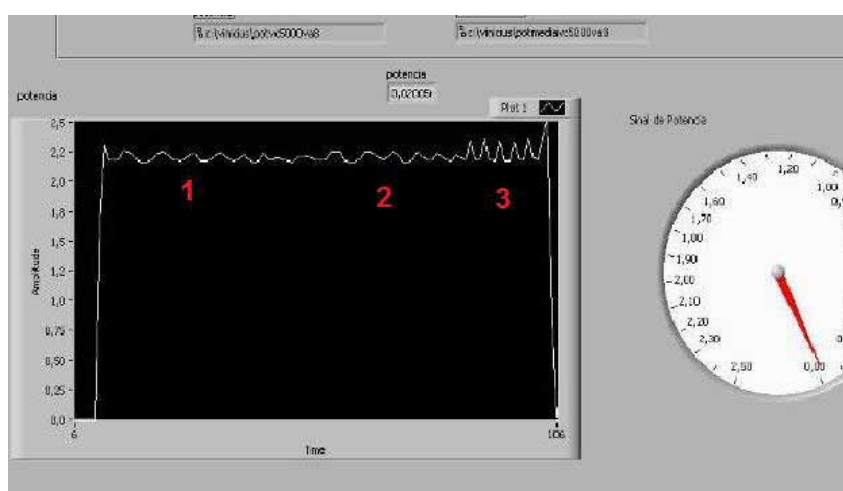
Durante todos os cortes realizados pela CNC nas chapas de MDF a potência foi medida em tempo real através de um computador acoplado (Figura 27), com o software Labview obtendo os valores dos picos de potência em cada usinagem.

Figura 27. Computador para medição da potência.



Durante os ensaios foi plotado um gráfico com os dados de potência em cada usiagem (Figura 28), onde o primeiro grupo são do corte concordante, o segundo do corte discordante e o terceiro grupo de picos do corte de topo. Estes dados em armazenados para posterior análise.

Figura 28. Picos de potência durante os ensaios.



- 1- Picos de potência do corte concordante**
- 2- Picos de potência do corte discordante**
- 3- Picos de potência do corte de topo**

O motor da CNC utiliza corrente elétrica alternada, um transdutor então recebe o sinal e libera um sinal de saída proporcional contínua de 0 a 10 Volts (VCC), armazenado pelo sistema, este sinal captado a uma taxa de 400 pontos por segundo foi transformado em Watts através da Equação 8:

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (8)$$

P_c = potência consumida, em Watts;

I = corrente alternada, em Ampéres;

U_f = Tensão de uma das fases, em Volts;

F_p = Fator de potência.

O sinal adquirido pelo sistema tem uma saída proporcional em Volts, portanto é necessário converter o sinal em Ampéres. O fabricante do transdutor de corrente alternada fornece uma equação para a transformação do dado adquirido em Volts para Ampéres de acordo com a Equação 9.

$$I = \frac{U_{cc}}{2} \quad (9)$$

I = corrente de uma das fases, em Ampéres;

U_{cc} = Tensão de corrente contínua, em Volts.

Substituindo o valor da corrente, o valor da tensão de fase do motor da fresadora (3800 V) e o fator de potência (0,92) do motor, têm-se a Equação 4, que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_C = \frac{U_{cc} \times 0,92 \times 220 \times \sqrt{3}}{2} \quad (10)$$

3.7 DENSIDADE E UMIDADE

Os valores da densidade e umidade dos corpos de prova foram obtidos segundo a norma própria para painéis de MDF a Norma ABNT NBR 15316-3 Métodos de Ensaio.

3.7.1 Densidade.

Para a obtenção da densidade dos corpos de prova foi utilizado uma balança eletrônica para a pesagem dos corpos de prova (Figura 29) e calculado segundo a Equação (11) a seguir, segundo a Norma ABNT NBR 15316-3 Métodos de Ensaio.

$$D = M / V \cdot 1000000 \quad (11)$$

Sendo:

$$V = L \cdot C \cdot E \quad (12)$$

Onde:

D = densidade do corpo-de-prova, em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

M = massa do corpo-de-prova, em gramas (g);

V = volume do corpo-de-prova, em milímetros cúbicos (mm³);

L = largura do corpo-de-prova, em milímetros (mm);

C = comprimento do corpo-de-prova, em milímetros (mm);

E = espessura do corpo-de-prova, em milímetros (mm);

Os dados de largura, comprimento e espessura foram obtidos anteriormente com um paquímetro.

Figura 29. Corpo de prova pesado em balança.



3.7.2 Umidade.

Para obtenção do teor de umidade os corpos-de-prova foram pesados individualmente obtendo assim a massa úmida. A seguir foram colocados em uma estufa a 103 °C (Figura 30) até a massa ficar constante, cerca de doze horas. Após retirada e resfriamento os corpos-de-prova foram pesados novamente obtendo assim a massa seca, segundo a Norma ABNT NBR 15316-3 Métodos de Ensaio.

O teor de umidade então foi calculado segundo a Equação (13):

$$U = (MU - MS / MS) \cdot 100 \quad (13)$$

Onde:

U = umidade residual do corpo-de-prova, em porcentagem (%);

MU = massa úmida do corpo-de-prova, em gramas (g);

MS = massa seca do corpo-de-prova, em gramas (g);

Figura 30. Corpos de prova em estufa.



As tabelas com os valores obtidos de densidade e umidade são apresentados em RESULTADOS.

3.8 PROCEDIMENTO DE DADOS

Os dados (R_a) foram obtidos no rugosímetro e os dados de potência de sensor de efeito hall. As medições geraram uma matriz de dados para cada variável analisada, sendo elas: velocidade de corte, velocidade de avanço e potências em cada corte. Foi realizada então uma análise estatística dentro dos dados a fim de responder as questões mais conclusivas deste trabalho.

Os dados foram divididos em grupos onde são demonstrados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2. Grupos e seus conjuntos.

Grupo	A					Grupo	B				
Análise:	Rugosidade (R_a)					Análise:	Potência (W)				
Corte	Concordante	Discordante	Topo			Corte	Concordante	Discordante	Topo		
Vel. de Avanço	Fixado em 8 m/min					Vel. de Avanço	Fixado em 8 m/min				
Vel. de Corte: (rotação S)	6000	8000	10000	12000	14000	Vel. de Corte (rotação S)	6000	8000	10000	12000	14000
Grupo	C					Grupo	D				
Análise:	Rugosidade (R_a)					Análise:	Potência (W)				
Corte	Concordante	Discordante	Topo			Corte	Concordante	Discordante	Topo		
Vel. de Corte (rotação S)	Fixado em 5000 RPM					Vel. de Corte (rotação S)	Fixado em 5000 RPM				
Vel. de Avanço (m/min)	4	6	8	10	12	Vel. de Avanço (m/min)	4	6	8	10	12

Foi feita um pré-análise dos dados dos grupo no software Microsoft Excel. Análises estatísticas finais e Teste Tukey, foram realizados no software **R** (*The R Foundation for Statistical Computing*) versão 3.0.0 (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As matrizes de dados e das médias estão dispostas no **ANEXO A**. Segue abaixo as descrições dos dados utilizados e seus respectivos resultados.

4.1 RESULTADOS DE DENSIDADE E UMIDADE

Os dados obtidos para densidade e umidade segundo procedimentos da Norma ABNT NBR 15316-13 Métodos de Ensaio, estão dispostos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Médias e desvio das densidades das amostras de MDF.

Densidade (kg/m ³)					
Média	26,52	50,47	50,14	15,51	675,71
Desvio	0,18	0,55	0,08	0,04	5,95

A densidade média das amostras foi de aproximadamente 675,71 kg/m³, ou 0,675 g/cm³ fazendo a conversão, estão, portanto na faixa dos painéis de média densidade.

Tabela 4. Médias e desvios das umidades percentual das amostras.

Umidade			
	massa úmida (g)	massa seca (g)	Umidade (%)
Média	26,52	24,48	8,33
Desvio	0,19	0,14	0,40

As amostras analisadas estavam com umidade média de 8,33%.

4.2 DADOS DOS GRUPOS

Os dados de velocidades e rotações referentes ao grupo A e B estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Velocidades e Rotações dos grupos A e B.

Grupo A e B					
Velocidade de Avanço Vf - fixado em 8 m/min					
Rotações (RPM):	6000	8000	10000	12000	14000
Vel. Corte (m/min)	301	402	502	603	703

Os dados de velocidades referentes aos grupos C e D estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Velocidades dos grupos C e D.

Grupos C e D					
Rotação S fixada em 5000 RPM – 0,251 m/min					
Vel. Avanço (m/min)	4	6	8	10	12

4.3 RESULTADOS DAS MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO.

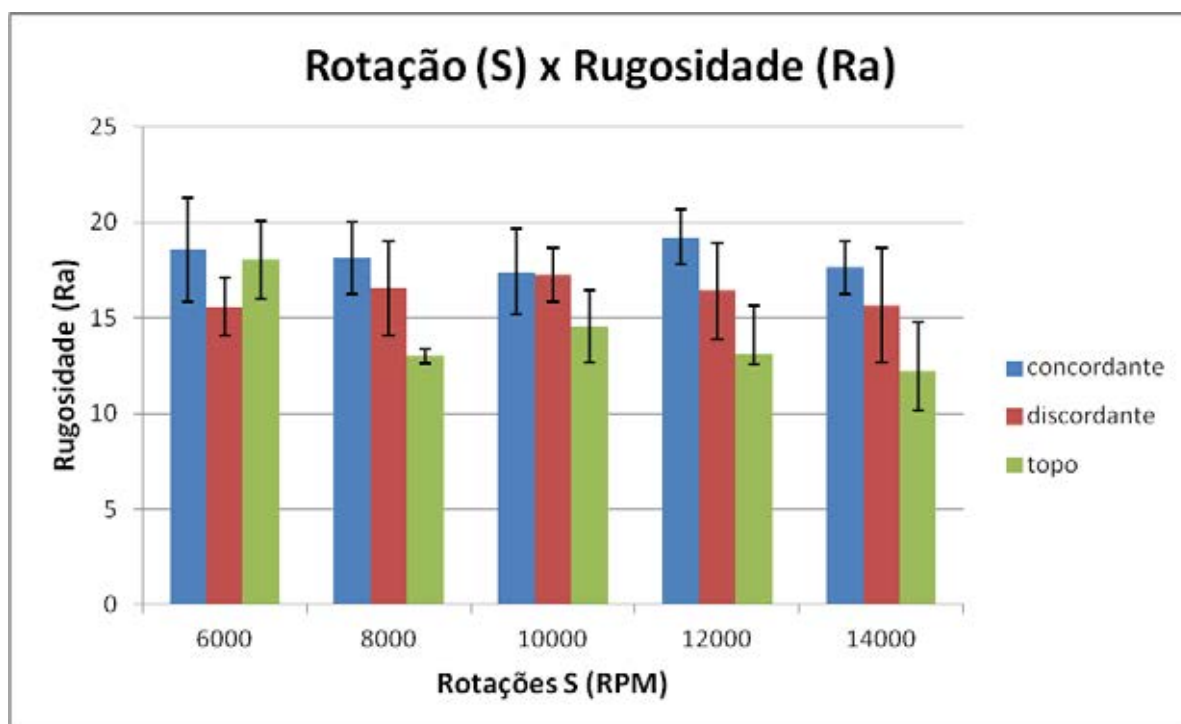
4.3.1 Grupo A

Os valores médios de rugosidade adquiridos após o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para as velocidades de corte nos três tipos de corte e com velocidade de avanço fixada estão inseridos na Tabela 7, e deram origem ao gráfico a seguir (Figura 31).

Tabela 7. Valores médios de rugosidade para cada rotação nos três tipos de cortes.

Grupo A			
Rugosidade (Ra)			
Médias			
RPM/Corte	Concordante	Discordante	Topo
6000	18,57	15,60	18,03
8000	18,13	16,57	13,00
10000	17,40	17,27	14,57
12000	19,23	16,43	13,10
14000	17,63	15,67	12,23

Figura 31. Gráfico de Médias e desvio padrão.



4.3.2 Grupo B

Os valores médios de Potência coletados durante o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para as velocidades de cortes nos três tipos de corte e com velocidade de avanço fixada estão inseridos na Tabela 8, e deram origem aos gráficos a seguir (Figura 32 e 33).

Tabela 8. Valores médios de potência para cada rotação nos três tipos de corte.

Grupo B			
Potência (W)			
Médias			
RPM/Corte	Concordante	Discordante	Topo
6000	436,02	434,78	446,79
8000	416,44	416,32	420,19
10000	401,33	400,93	406,27
12000	385,62	386,18	393,83
14000	377,09	374,69	378,80

Figura 32. Gráfico de Médias e desvio padrão.

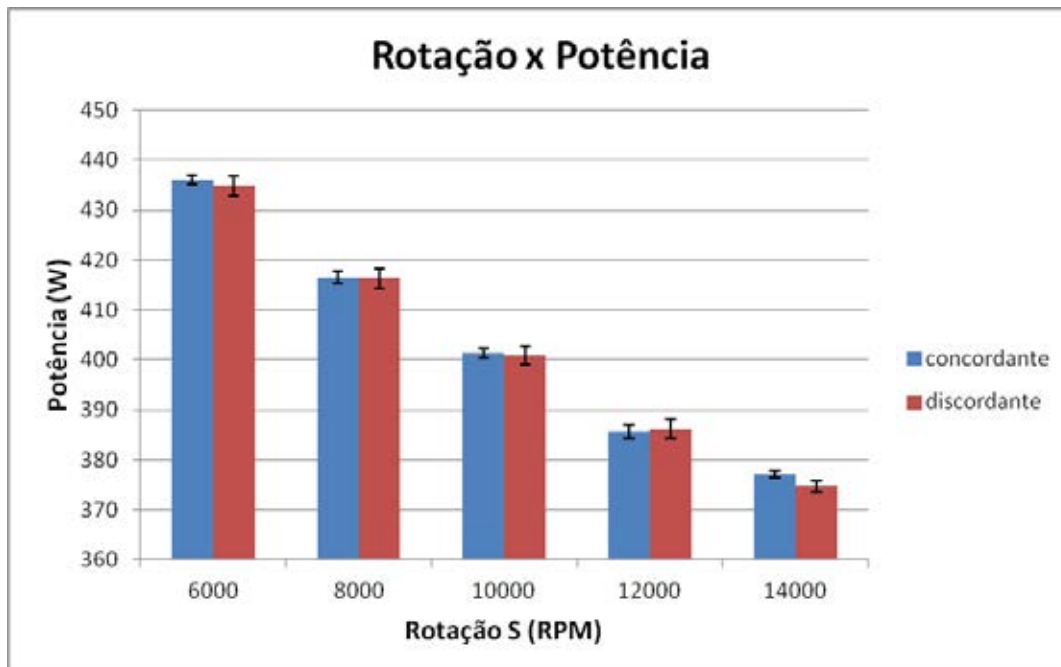
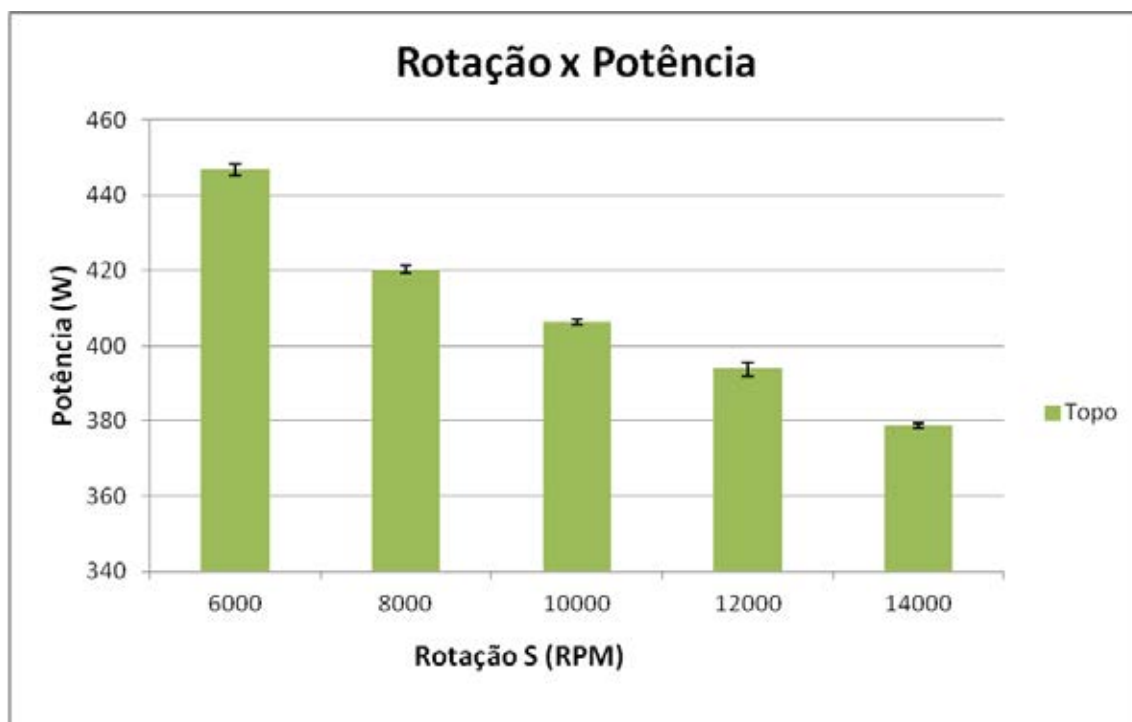


Figura 33. Gráfico de Médias e desvio padrão.



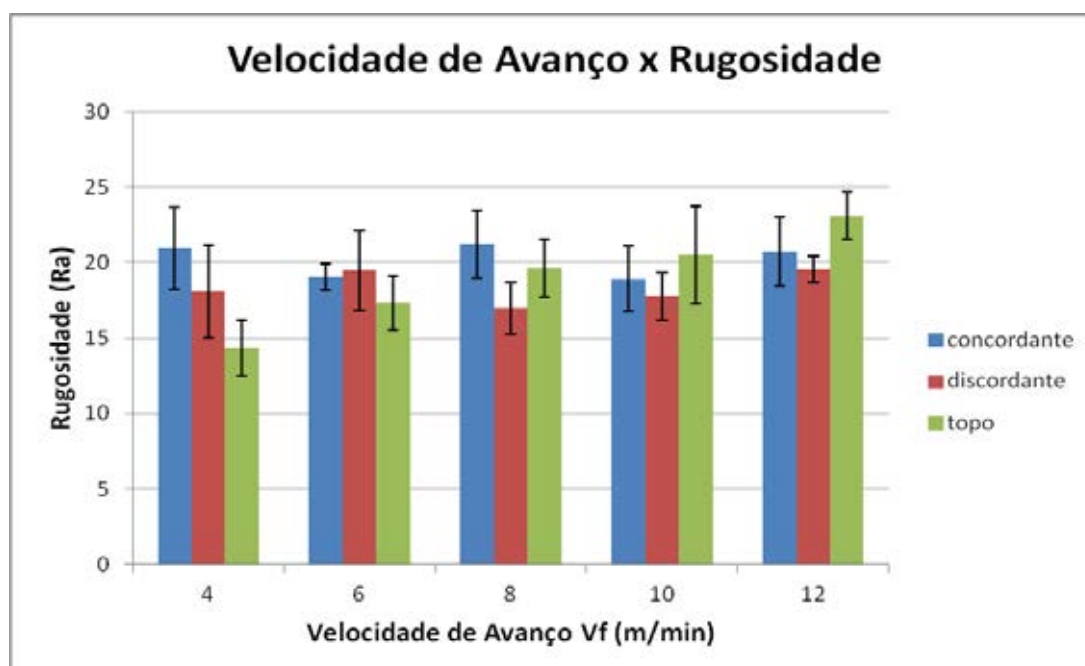
4.3.3 Grupo C

Os valores médios de rugosidade obtidos após o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para as velocidades de avanço (m/min) em cada um dos três tipos de corte com velocidade de corte fixada estão inseridos na Tabela 9, e deram origem ao gráfico a seguir (Figura 34).

Tabela 9. Valores médios de rugosidade para cada velocidade de avanço nos três tipos de corte.

Grupo C			
Rugosidade (Ra)			
Médias			
Vf/Corte	Concordante	Discordante	Topo
4 m/min	20,93	18,10	14,37
6 m/min	19,07	19,50	17,33
8 m/min	21,23	16,97	19,63
10 m/min	18,93	17,77	20,50
12 m/min	20,73	19,57	23,10

Figura 34. Gráfico de Médias e desvio padrão.



4.3.4 Grupo D

Os valores médios de potência obtidos durante o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para as velocidades de avanço (m/min) em cada um dos três tipos de corte com velocidade de corte fixada estão inseridos na Tabela 10, e deram origem aos gráficos a seguir (Figuras 35 e 36).

Tabela 10. Valores médios de potência para cada velocidade de avanço nos três tipos de corte.

Grupo D			
Potência (W)			
Médias			
Vf /Corte	Concordante	Discordante	Topo
4 m/min	443,12	442,08	454,28
6 m/min	443,00	443,40	457,55
8 m/min	448,34	447,19	468,20
10 m/min	447,07	447,11	460,34
12 m/min	451,97	450,93	464,25

Figura 35. Gráfico de Médias e desvio padrão

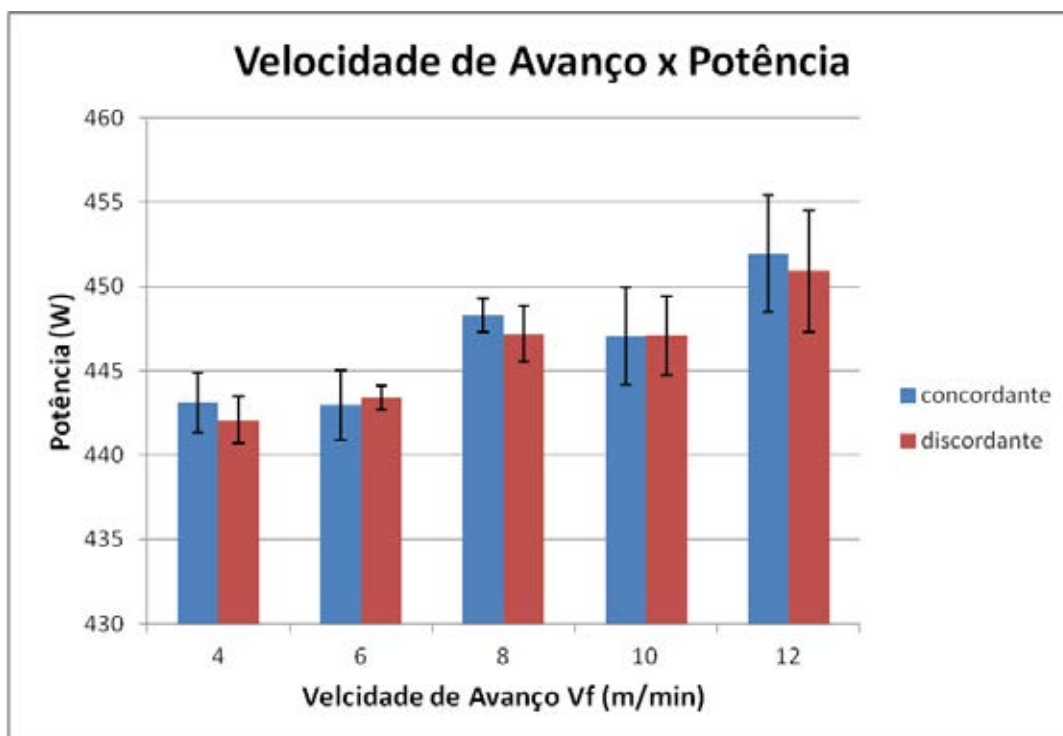
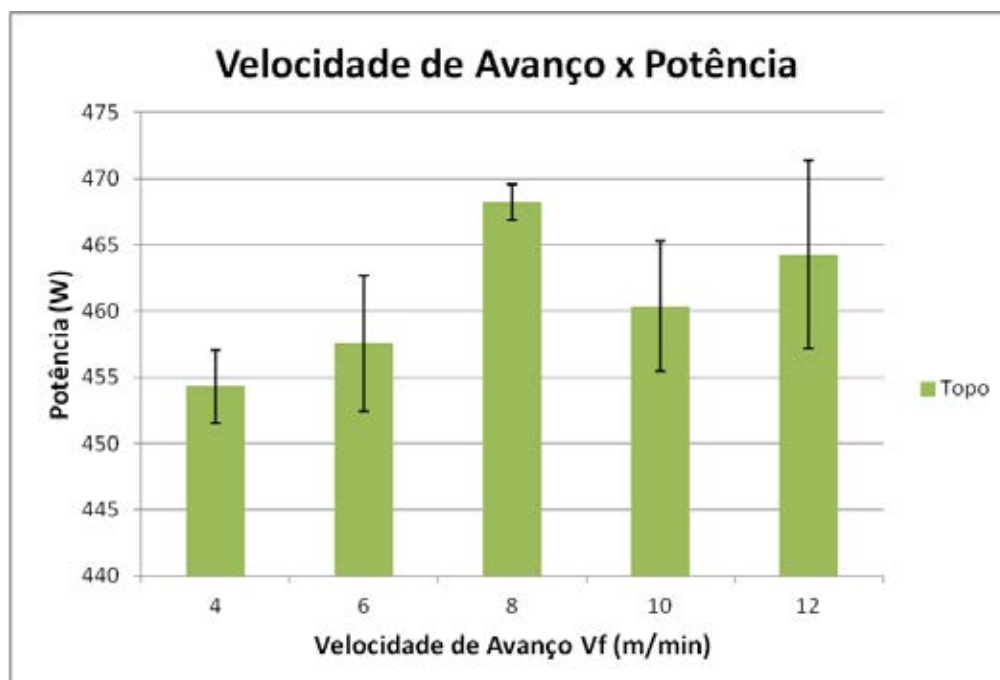
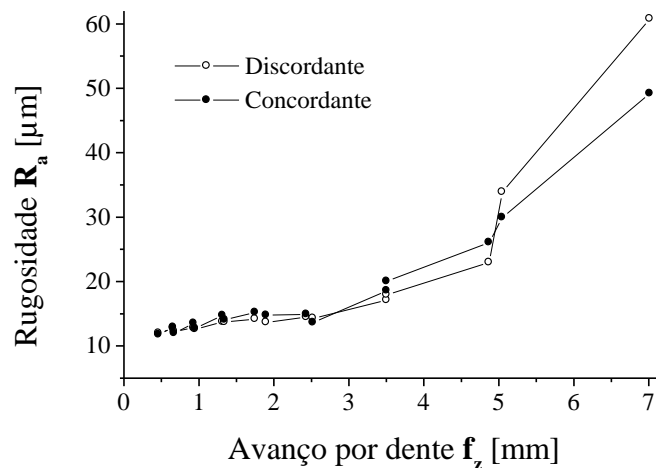


Figura 36. Gráfico de Médias e desvio padrão



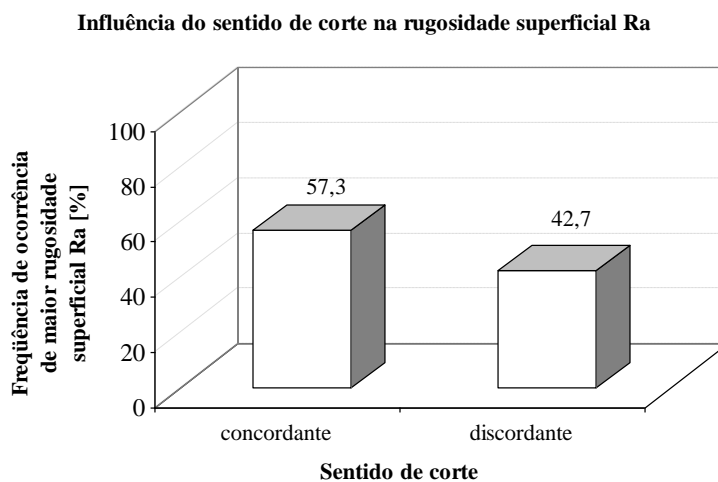
Observando os gráficos das figuras 31 e 34, percebe-se uma pequena variação da rugosidade. CASTRO (2000) em seu estudo apresentou um gráfico (Figura 37) que mostra que a rugosidade superficial (parâmetro R_a) entre os sentidos concordante e discordante é muito próxima.

Figura 37. Gráfico comparativo da rugosidade superficial obtida nos cortes discordante e concordante, para o parâmetro R_a (CASTRO, 2000 adaptado).



Analisando a qualidade superficial Castro (2000) ainda apresentou o gráfico (figura 38) mostrando que a frequência de maiores valores de rugosidade (parâmetro R_a) se dá no sentido concordante, efeito contrario ao ocorrido na madeira maciça. O corte discordante, proporcionando melhor acabamento no MDF, sugere ser a condição mais favorável de usinagem.

Figura 38. Gráfico da influência do sentido de corte na rugosidade superficial R_a (CASTRO, 2000).



4.4 RESULTADO DA ANÁLISE DOS GRUPOS

Os dados de cada grupo foram arranjados conforme anexo A para realizar os testes de variância anova utilizando o Excel. Foram analisados nos grupos A e C os três cortes entre si. Nos grupos C e D foram analisados os cortes concordante e discordante juntos e o corte de topo somente entre ele, por se tratar de outros parâmetros de corte.

4.4.1 Grupo A – Rugosidade com Velocidade de Corte variando

Com os do grupo A foi possível realizar as análises, com a ANOVA feita no Excel obteve-se a Tabela 11 a seguir.

Tabela 11. Grupos e seus conjuntos.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Rotação S (RPM)	47,13	4	11,78	3,06	0,02	2,49
Corte (Conc, Disc e Topo)	241,10	2	120,53	31,28	1,32E-10	3,12

Ambos os fatores (Rotação e tipo de corte) exercem influencia significativa ($\alpha = 5\%$) na variável de saída (Rugosidade Ra).

Um teste de Tukey foi realizado devido o resultado da análise de variância a fim de identificar quais conjuntos de dados diferirem entre si. Os testes demonstraram que o corte de topo aparentemente interagiu mais com a velocidade de corte, pois, grande parte dos conjuntos que diferiram foram quando variava-se a velocidade entre o corte de topo e entre o corte de topo com o corte concordante.

As rotações (RPM) que apresentaram diferença na rugosidade foram:

- entre os cortes Topo e Concordante:
 - Topo 8000 – Conc. 8000;
 - Topo 12000 – Conc. 12000;
 - Topo 14000 – Conc. 14000.

- entre o corte de Topo:
 - Topo 6000 – Topo 8000;
 - Topo 6000 – Topo 12000;
 - Topo 6000 – Topo 14000.

4.4.2 Grupo B – Potência com Velocidade de Corte variando

A análise ANOVA para o grupo B gerou a seguinte tabela (12):

Tabela 12. Grupos e seus conjuntos.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Rotação S (RPM)	35951,31	4	8987,83	4878,88	1,21E-74	2,52
Corte (Conc, Disc e Topo)	654,6229	2	327,31	177,67	6,2E-26	3,15

A análise de variância realizada mostrou haver diferença significativa entre os fatores Rotação e tipo de corte na variável Potência ($\alpha = 5\%$).

O teste de Tukey demonstrou que ambos os fatores apresentaram diferenças significativas, exceto para velocidades iguais, principalmente nos cortes Concordante e Discordante, o que pode revelar um maior grau de importância do fator velocidade.

No corte de topo em todas as velocidades houve diferença significativa.

As rotações (RPM) que não apresentaram diferença na potência foram:

- entre os cortes Concordante e Discordante:

- Conc. 6000 – Disc. 6000; Conc. 8000 – Disc. 8000;
- Conc. 10000 – Disc. 10000; Conc. 12000 – Disc. 12000;
- Conc. 14000 – Disc. 14000.

4.4.3 Grupo C – Rugosidade com Velocidade de Avanço variando

A análise ANOVA para o grupo C gerou a Tabela 13:

Tabela 13. Grupos e seus conjuntos.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Vel. Avanço	108,73	4	27,18	5,95	0,000325	2,49
Corte (Conc, Disc e Topo)	50,31	2	25,16	5,51	0,005859	3,11

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre os fatores Velocidade de avanço e tipo do corte na Rugosidade ($\alpha = 5\%$).

O teste de Tukey demonstrou que grande parte dos conjuntos diferiram quando a velocidade de avanço era variada no corte de topo.

As velocidades (V_f em m/min) que apresentaram diferença na rugosidade foram:

- entre os cortes Concordante e de Topo: Conc. 4 – Topo 4;

- entre o corte de Topo:

- Topo 4 – Topo 8;
- Topo 4 – Topo 10;
- Topo 4 – Topo 12;
- Topo 6 – Topo 12;

4.4.4 Grupo D – Potência com Velocidade de Avanço variando

A análise ANOVA para o grupo D gerou a seguinte tabela (14):

Tabela 14. Grupos e seus conjuntos.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Vel. Avanço	965,71	4	241,43	22,22	2,73E-11	2,53
Corte (Conc, Disc e Topo)	3511,01	2	1755,51	161,58	6,97E-25	3,15

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre os fatores velocidade de avanço e tipo de corte na potência ($\alpha = 5\%$).

O teste de Tukey demonstrou que houve diferença entre os conjuntos em algumas das velocidades.

As velocidades (V_f em m/min) que apresentaram diferença significativa na potência foram:

- entre o corte Concordante: Conc. 4 – Conc. 12; Conc. 6 – Conc. 12;
- entre o corte Discordante: Disc. 4 – Disc. 12; Disc. 6 – Disc. 12;
- entre o corte de Topo: Topo 4 – Topo 8; Topo 4 – Topo 12;
Topo 6 – Topo 8; Topo 8 – Topo 10.

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.5.1 Rugosidade

Como se observou, na medição da rugosidade média nos sentidos de cortes concordante, discordante e de topo, tanto para velocidade de corte (rotação) e para velocidade de avanço variando, a rugosidade apresentou uma tendência de pouca variação, com exceção no corte de topo, onde se apresentou uma variação significativa da qualidade superficial conforme aumento de velocidade de avanço e rotação.

Como a usinagem foi feita em MDF, onde as fibras são compactadas, a usinagem nos dois sentidos pode ter se diferenciado pouco, com exceção do corte de topo onde os parâmetros se diferenciavam. A melhor qualidade do corte discordante pode ser dada devido ao ângulo de corte e a melhor fluidez da retirada de cavaco.

Para o corte periférico do MDF, entre os sentidos concordante e discordante, o sentido discordante apresentou se mais apropriado para se obter uma qualidade superficial melhor.

4.5.2 Potência

Os gráficos das Figuras 32, 33, 35 e 36 comprovam que a potência consumida varia conforme a velocidade de avanço e a rotação aplicada houve diferença significativa para cada velocidade nos três cortes. Observou-se ainda que com aumento da rotação diminui-se o consumo de potência e aumentando-se a velocidade de avanço também se aumenta o consumo de potência.

Com o aumento da velocidade de corte, o material é retirado por dente em um tempo menor, podendo contribuir para a diminuição da potência. Já ao aumentar a velocidade de avanço, a ferramenta é forçada a retirar mais material o que pode contribuir para o aumento da potência.

5 CONCLUSÃO

- A metodologia utilizada mostrou-se eficiente, a utilização do centro de usinagem CNC garantiu uma rápida e precisa preparação dos corpos de prova utilizados para a análise da qualidade superficial;
- As velocidades de corte e de avanço apresentaram pouca diferença (ao variarem entre si) na rugosidade;
- A potência varia conforme velocidade de corte ou avanço empregada. Aumentando com maiores velocidades de avanço e diminuindo ao se aumentar as rotações;
- O corte discordante, em geral, apresentou melhor acabamento e menor consumo de potência;
- A velocidade de corte 703 m/min (14000 RPM) proporcionou melhor acabamento superficial, mais notado nos cortes discordante e de topo e menor consumo de potência;
- A velocidade de avanço de 4 m/min proporcionou melhor acabamento superficial nas peças usinadas no corte de topo, nos outros cortes houve pouca variação da qualidade superficial para cada velocidade empregada, e apresentou menor consumo de potência;

Finalizando, a usinagem de painéis como o MDF com uso do CNC é uma boa alternativa de pesquisa dentro da na área industrial do setor de painéis, o emprego deste equipamento dá maior velocidade e precisão na usinagem dos painéis, que já conta com uma norma ABNT exclusiva para o material. Mais estudos sobre o tema são necessários para melhor compreensão dos dados e das inúmeras variáveis que podem compor o fresamento de painéis.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

ALMEIDA, André Luiz de Macedo. **ESTUDO DO FRESAMENTO DE MADEIRAS EM CENTRO DE USINAGEM CNC**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, Itapeva, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **MDF - Medium Density FiberBoard - Painéis de Fibra de Média Densidade**. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 15 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR – ISO 4287/2002 - Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade**. ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– ABNT. **NBR 15316 – 3 – Chapas de fibras de média densidade – Parte 3 – Métodos de ensaio**. 2009.

BARBOSA, Ananda Moraes. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PAINÉIS MDF COMERCIALIZADOS NA REGIÃO DE PELOTAS**. 2010. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

BELINI, U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, Sao Paulo.

BESKOW, A. B., **Processos de Usinagem I – aula 4.** 45 p.

CARPINETTI, L. C. R. et al. **Rugosidade Superficial. Conceitos e princípios de medição.** São Carlos: Serviço Gráfico USP – EESC. 2000. 51 p.

CASTRO, Eduardo Martins de. **Estudo do acabamento superficial em chapas mdf usinadas em processo de fresamento.** 2000.

COSTA, E. S. “**Disciplina: Processo de Usinagem**”.Divinópolis, MG. 2006. 6 p.

DINIZ, E. D. P. **Medidas e Medições – Curso de Metrologia.** 2009. 106 p.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** 5. Ed., São Paulo: Artliber Editora, 2001.

DOYLE, Lawrence E.. **Processos de Fabricação:** e materiais para engenheiros. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1978. 640 p.

ELEOTÉRIO, R. J. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF. Revista da Madeira, edição nº 84, 2004, Acesso em set. 2013.

ESPAÑHOL, Victor. **Manual Didático CNC.** Porto Alegre: Sagra, 1989.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

FERRARESI, D. Fundamentos de usinagem dos metais. Sao Paulo: Ed. Edgar

GONCALVES, M. T. T. **Processamento da madeira.** 1.ed. Bauru: Document Center.

GONÇALVES, Marcos Tadeu Tibúrcio. **Processamento da Madeira.** Bauru, SP: Document Center Xerox - USC - Bauru/SP, 2000. 242 p.

HIOKI, D. **Influência dos Parâmetros de Corte do Fresamento HSM sobre o Desempenho Tribológico do Aço AISI H13 Endurecido**. 2006. 233p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – USP, São Paulo.

INSTRUMENTS, National. **LabView**. Disponível em: <<http://brasil.ni.com/produtos/labview>>. Acesso em: 18 set. 2013.

IWAKIRI, SETSUO. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. The use of an optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Forest Product Journal**, v. 46, n.11/12, p.73-80, 1996.

LYRA, PABLO V. A., (2010). **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação**, Publicação FT.TG-nº. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

MACHADO, Alisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

MAGOSS, Endre. **General Regularities of Wood Surface Roughness**. 2008. v.4. Artigo (Artigo) - Departamento de Department Of Wood Engineering, University Of West Hungary, Sopron, Hungary, 2008. p.81-86.

SANTOS, L. K. e DIAS, S. L. **Estudo da viabilidade de modernização de um setor de usinagem de uma metalúrgica**. Novo Hamburgo, 2010.

SCM GROUP S.P.A (Italy). **Catálogo TECH Z1**, ITA – SPA, 2011. 24 p.

SCM GROUP S.P.A (Italy). **Manual de Instruções: Furadeira - Fresadora CNC**. Rel. 4.1 / 01 - 2011 Rimini (rn): Scm Group S.p.a, 2011. 340 p. (TECH Z1).

SILVA, S. A. M. **Chapa de média densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona– caracterização por método destrutivo e por ultra-som.** 2003. 259f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SLACK, N. et. al. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1996.

SOUZA, A. J. D. **Proposição de um novo método de medição do desgaste em ferramentas de corte empregadas em operações de fresamento da madeira.** 2009. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos.** – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992.

7 ANEXO A

7.1 MATRIZ DE DADOS

7.1.1 Dados de Rugosidade e Potência

Grupo A				Grupo B			
Rugosidade (Ra)				Potência (W)			
RPM\Corte	Concordante	Discordante	Topo	RPM\Corte	Concordante	Discordante	Topo
6000	23	13,8	16,2	6000	435,4222135	435,4222135	448,1818388
	18,6	17,6	16,2		437,2165359	436,2196901	446,5868857
	18,6	16,2	20,2		433,2291529	436,2196901	446,985624
	17	14,4	18		435,4222135	437,415905	447,7831006
	19,4	14,8	16,8		432,6310455	434,8241061	444,3938251
	14,8	16,8	20,8				
8000	16,8	12,6	13,6	8000	416,880883	416,0834064	419,6720511
	20,6	18	12,8		418,276467	418,0770979	421,4663734
	18,2	18,6	12,8		415,2859299	415,8840373	421,0676351
	18,2	19	12,6		417,6783596	417,2796213	419,4726819
	19,6	15,4	13		413,4916076	414,8871916	419,2733128
	15,4	15,8	13,2				
10000	18,8	17,6	12,6	10000	402,9250428	399,9345057	407,1117949
	19,6	17,4	14		401,9281971	401,1307205	406,7130566
	19,8	15	14,4		401,3300897	402,3269354	405,91558
	14,8	18,4	13,8		400,1338748	401,9281971	405,91558
	15,4	16,4	18,2		398,3395525	401,3300897	405,7162109
	16	18,8	14,4				
12000	20,6	12,8	12	12000	389,367941	384,1843432	395,5483845
	17,2	14,6	13		384,9818198	386,7761421	394,1528004
	20,2	16,2	13,6		385,380558	387,3742495	391,7603707
	20	20	13,2		386,5767729	384,7824506	392,3584781
	19,8	18	13,4		384,5830815	384,9818198	395,3490153
	17,6	17	13,4				
14000	16,2	15	11,4	14000	376,0102082	377,2064231	378,402638
	19,4	21	11,2		375,0133625	378,0038997	378,402638
	17,8	12	11,2		375,0133625	377,2064231	379,3994837
	17,4	14,4	10,4		373,6177785	376,8076848	378,2032688
	16	15,8	13,2		373,8171476	376,2095774	379,5988528
	19	15,8	16				

Grupo C				Grupo D			
Rugosidade (Ra)				Potência (W)			
Va\Corte	Concordante	Discordante	Topo	Va\Corte	Concordante	Discordante	Topo
4 m/min	23,4	19,2	11,4	4 m/min	442,4001336	443,7957177	451,9698526
	21	18	13,4		441,4032879	442,4001336	453,1660675
	24,8	14,8	14,8		442,4001336	444,9919325	458,7484036
	18,6	16,4	14,2		443,9950868	443,9950868	455,1597589
	18	16,6	16,2		440,207073	440,4064422	452,3685909
6 m/min	19,8	23,6	16,2	6 m/min	442,9982411	442,9982411	452,7673292
	19	22,4	15,4		444,1944559	445,7894091	459,7452493
	19,4	22,2	15,2		443,7957177	442,9982411	464,9288471
	18,6	17,2	19,4		442,4001336	443,1976102	457,5521887
	20,4	16	17		443,5963485	440,0077039	452,7673292
8 m/min	17,8	20,4	18	8 m/min	449,1786846	448,9793154	467,9193842
	19,2	18,8	19		445,7894091	448,7799463	468,7168608
	21	18,8	19,6		448,7799463	448,5805771	467,3212768
	22	16,6	17		445,7894091	448,7799463	466,7231694
	20	16,8	18		446,3875165	446,5868857	470,311814
10 m/min	17,6	14	20,8	10 m/min	448,1818388	442,7988719	462,5364173
	23,6	18,4	20		448,7799463	449,3780537	453,5648058
	23,2	17,2	22,4		446,7862548	448,1818388	456,7547121
	20,8	19,4	16,8		448,5805771	449,5774229	464,1313705
	16	15,2	18,8		443,1976102	445,3906708	464,7294779
12 m/min	18	19,2	24,4	12000 m/min	453,3654366	454,1629132	472,5048746
	19,6	18,2	17,6		453,9635441	453,3654366	468,91623
	17,4	17,6	21,8		450,3748994	453,1660675	461,9383099
	21,8	17	23,61		451,9698526	453,3654366	453,9635441
	22,8	20,2	21,4		444,9919325	445,7894091	463,9320013
12 m/min	20,4	20,6	24,6				
	24,2	18,6	21,2				
	18,8	19	23,4				
	18,6	18,8	25				
	19,6	20,2	23				

7.1.2 Médias e Desvio Padrão dos dados

Grupo A				Grupo B			
Rugosidade (Ra)				Potência (W)			
	Médias				Médias		
RPM/Corte	Concordante	Discordante	Topo	RPM/Corte	Concordante	Discordante	Topo
6000	18,56667	15,6	18,03333	6000	436,020321	434,7842323	446,7862548
8000	18,13333	16,56667	13	8000	416,4422709	416,3226494	420,1904108
10000	17,4	17,26667	14,56667	10000	401,3300897	400,9313514	406,274445
12000	19,23333	16,43333	13,1	12000	385,619801	386,1780346	393,8338098
14000	17,63333	15,6667	12,23333	14000	377,0868016	374,6943719	378,8013763
Desvio	0,736130974	0,691770707	2,310074008	Desvio	23,70095169	23,8501768	25,99167218
Grupo C				Grupo D			
Rugosidade (Ra)				Potência (W)			
	Médias				Médias		
Va/Corte	Concordante	Discordante	Topo	Va /Corte	Concordante	Discordante	Topo
4 m/min	20,93333	18,1	14,36667	4 m/min	443,1178626	442,081143	454,2825347
6 m/min	19,06667	19,5	17,33333	6 m/min	442,9982411	443,3969794	457,5521887
8 m/min	21,23333	16,96667	19,63333	8 m/min	448,3413342	447,1849931	468,198501
10 m/min	18,93333	17,76667	20,50167	10 m/min	447,0653716	447,1052455	460,3433567
12 m/min	20,73333	19,56667	23,1	12 m/min	451,9698526	450,9331331	464,250992
Desvio	1,092803052	1,130780822	3,305707581	Desvio	3,779336494	3,499868429	5,472717527

7.2 MATRIZ PARA ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS GRUPOS

7.2.1 Grupo A e C

RPM	Grupo A			Vf	Grupo C		
	Rugosidade				Rugosidade		
	Concordante	Discordante	Topo		Concordante	Discordante	Topo
6000	23	13,8	16,2	V4	23,4	19,2	11,4
	18,6	17,6	16,2		21	18	13,4
	18,6	16,2	20,2		24,8	14,8	14,8
	17	14,4	18		18,6	16,4	14,2
	19,4	14,8	16,8		18	16,6	16,2
	14,8	16,8	20,8		19,8	23,6	16,2
8000	16,8	12,6	13,6	V6	19	22,4	15,4
	20,6	18	12,8		19,4	22,2	15,2
	18,2	18,6	12,8		18,6	17,2	19,4
	18,2	19	12,6		20,4	16	17
	19,6	15,4	13		17,8	20,4	18
	15,4	15,8	13,2		19,2	18,8	19
10000	18,8	17,6	12,6	V8	21	18,8	19,6
	19,6	17,4	14		22	16,6	17
	19,8	15	14,4		20	16,8	18
	14,8	18,4	13,8		17,6	14	20,8
	15,4	16,4	18,2		23,6	18,4	20
	16	18,8	14,4		23,2	17,2	22,4
12000	20,6	12,8	12	V10	20,8	19,4	16,8
	17,2	14,6	13		16	15,2	18,8
	20,2	16,2	13,6		18	19,2	24,4
	20	20	13,2		19,6	18,2	17,6
	19,8	18	13,4		17,4	17,6	21,8
	17,6	17	13,4		21,8	17	23,61
14000	16,2	15	11,4	V12	22,8	20,2	21,4
	19,4	21	11,2		20,4	20,6	24,6
	17,8	12	11,2		24,2	18,6	21,2
	17,4	14,4	10,4		18,8	19	23,4
	16	15,8	13,2		18,6	18,8	25
	19	15,8	16		19,6	20,2	23

7.2.2 Grupo B e D

RPM	Grupo B			Vf	Grupo D		
	Potência				Potência		
	Discordante	Concordante	Topo		Discordante	Concordante	Topo
6000	435,4222135	435,4222135	448,1818388	V4	442,4001336	443,7957177	451,9698526
	437,2165359	436,2196901	446,5868857		441,4032879	442,4001336	453,1660675
	433,2291529	436,2196901	446,985624		442,4001336	444,9919325	458,7484036
	435,4222135	437,415905	447,7831006		443,9950868	443,9950868	455,1597589
	432,6310455	434,8241061	444,3938251		440,207073	440,4064422	452,3685909
8000	416,880883	416,0834064	419,6720511	V6	442,9982411	442,9982411	452,7673292
	418,276467	418,0770979	421,4663734		444,1944559	445,7894091	459,7452493
	415,2859299	415,8840373	421,0676351		443,7957177	442,9982411	464,9288471
	417,6783596	417,2796213	419,4726819		442,4001336	443,1976102	457,5521887
	413,4916076	414,8871916	419,2733128		443,5963485	440,0077039	452,7673292
10000	402,9250428	399,9345057	407,1117949	V8	449,1786846	448,9793154	467,9193842
	401,9281971	401,1307205	406,7130566		445,7894091	448,7799463	468,7168608
	401,3300897	402,3269354	405,91558		448,7799463	448,5805771	467,3212768
	400,1338748	401,9281971	405,91558		445,7894091	448,7799463	466,7231694
	398,3395525	401,3300897	405,7162109		446,3875165	446,5868857	470,311814
12000	389,367941	384,1843432	395,5483845	V10	448,1818388	442,7988719	462,5364173
	384,9818198	386,7761421	394,1528004		448,7799463	449,3780537	453,5648058
	385,380558	387,3742495	391,7603707		446,7862548	448,1818388	456,7547121
	386,5767729	384,7824506	392,3584781		448,5805771	449,5774229	464,1313705
	384,5830815	384,9818198	395,3490153		443,1976102	445,3906708	464,7294779
14000	376,0102082	377,2064231	378,402638	V12	453,3654366	454,1629132	472,5048746
	375,0133625	378,0038997	378,402638		453,9635441	453,3654366	468,91623
	375,0133625	377,2064231	379,3994837		450,3748994	453,1660675	461,9383099
	373,6177785	376,8076848	378,2032688		451,9698526	453,3654366	453,9635441
	373,8171476	376,2095774	379,5988528		444,9919325	445,7894091	463,9320013

7.3 VALORES DE DENSIDADE E UMIDADE DE CADA AMOSTRA

Densidade					
amostras	peso (g)	L (mm)	C (mm)	E (mm)	D (kg/m³)
1	26,55	50,4	50,2	15,5	677,02
2	26,27	50,2	50,25	15,45	674,05
3	26,66	51,85	50,1	15,55	659,99
4	26,9	50,9	50,15	15,55	677,69
5	26,37	50	50,25	15,5	677,13
6	26,57	50,3	50,1	15,5	680,23
7	26,36	50,3	50,05	15,5	675,53
8	26,42	50,5	50	15,45	677,24
9	26,45	50,2	50,1	15,55	676,32
10	26,64	50,05	50,2	15,55	681,86
Média	26,52	50,47	50,14	15,51	675,71
Desvio	0,18	0,55	0,08	0,04	5,95

Umidade			
amostras	massa úmida (g)	massa seca (g)	Umidade (%)
1	26,55	24,55	8,15
2	26,27	24,25	8,33
3	26,66	24,38	9,35
4	26,9	24,77	8,60
5	26,37	24,39	8,12
6	26,57	24,56	8,20
7	26,36	24,4	8,03
8	26,42	24,47	7,97
9	26,45	24,45	8,18
10	26,64	24,58	8,38
Média	26,52	24,48	8,33
Desvio	0,19	0,14	0,40