

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA
ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

SUELI SOUZA LEITE

**LIXAMENTO DO *Pinus elliotti* COM CARBETO DE SILÍCIO
E ÓXIDO DE ALUMÍNIO**

Itapeva - SP
2013

SUELI SOUZA LEITE

**LIXAMENTO DO *Pinus elliotti* COM CARBETO DE SILÍCIO E
ÓXIDO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Graduação apresentado à UNESP-Itapeva, como parte dos requisitos para graduação no curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves.

Itapeva - SP

2013

Leite, Sueli Souza

L533l Lixamento do Pinus elliotti com lixas de carbeto de silício e óxido de alumínio / Sueli Souza Leite. -- Itapeva, SP, 2013
91 f. : il.

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

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Banca examinadora: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza,
Prof. Msc. Francisco Mateus Faria de Almeida Varasquim
Bibliografia

1. Madeira. 2. Usinagem. 3. Pinus elliottii. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 621.923

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

AGRADECIMENTOS

Você pode fazer mil planos, criar metas, persistir em seus sonhos. Mas a verdade, é que você nunca saberá aonde os seus pés podem ir, os caminhos que podem percorrer e o que nele vai encontrar. Com o tempo, a vida ensina que independentemente do percurso, o que realmente importa é a caminhada. E de todo o meu coração eu agradeço a Deus, por me fazer percorrer a estrada que me trouxe até aqui, porque assim, pude encontrar pessoas especiais e me tornar quem sou.

Não agradecerei pessoas, e sim sorrisos. A todos que retiraram de mim, doces sorrisos e largas risadas, o meu muito: OBRIGADA!

“Pouca coisa é necessária para transformar inteiramente uma vida: amor no coração e sorriso nos lábios” (Martin Luther King).

Dona Jacira Souza da Silva Leite, nordestina arretada cujo sangue corre força, persistência e fé! Quem dera eu ser um dia, um pouco do que és...

Mãe, eu lhe dedico todos os meus anos de estudo. Desde quando me levava à escolinha do bairro e dizia-me: - Vai estudar Sueli, pra ser alguém na vida! Até as ultimas palavras deste trabalho. Eu sei mais do que ninguém do esforço que fez para eu chegar nesta etapa da minha vida. Espero somente, que tenha válido a pena e que eu tenha realizado o seu sonho, pois tudo o que eu fiz para chegar até aqui, foi pensando em você.

Quero ser muito mais do que você almeja pra mim e tento isto constantemente, a cada dia, só para lhe ver feliz.

Mãe, eu lhe dedico tudo o que eu sou e quem eu ainda serei, tudo o que conquistei e o que vou conquistar...

RESUMO

O lixamento é um processo complexo que envolve inúmeras variáveis que afetam a qualidade da peça produzida, atuando principalmente nas indústrias madeireiras na produção de painéis (MDF, MDP, HDF, etc.) e móveis. No entanto, tais indústrias utilizam o processo de lixamento de forma empírica, não otimizando-o. O objetivo deste trabalho foi comparar o comportamento das lixas de óxido de alumínio branco (OA- branco) e carbeto de silício preto (SiC- preto), analisando variáveis presentes no processo como: força, potência, emissão, vibração, desgaste, granulometria da lixa; e suas consequências no acabamento superficial da peça. Efetuou o processo de lixamento plano das amostras de *Pinus elliotti*, processadas paralelamente às fibras, as quais foram lixadas com lixas com grãos de OA- branco e SiC- preto em 3 condições de lixa (nova, mediamente desgastada e severamente desgastada) em 3 granulometrias (80, 100 e 120 mesh). Realizou-se 6 repetições para cada condição testada. A cada ensaio foi captada as variáveis de saída do processo de lixamento: força, potência, emissão e vibração. Totalizando com as duas etapas 108 ensaios. Após as amostras lixadas, verificou-se a qualidade superficial das mesmas através do levantamento da rugosidade, R_a . Por meio do experimento, pode-se concluir que lixas de OA-branco tendeu a apresentar maior força, potência, emissão e menor vibração no processo de lixamento, em relação ao SiC-preto. Porém, apresentaram acabamento superficial semelhante, para as granulometrias de 80 e 100 mesh, nas condições de lixa desgastadas. No entanto, na granulometria de 120 mesh, a rugosidade obtida através de lixa de OA-branco foi maior em relação ao SiC-preto para todas as condições da lixa devido a sua tenacidade.

Palavras-chave: Lixamento. Óxido de alumínio branco (OA-branco). Carbeto de silício preto (SiC-preto). Rugosidade. Desgaste.

ABSTRACT

The Sanding is a complex process involving many variables that affect the quality of the part produced, working mainly in the timber industry in the production of panels (MDF, MDP, HDF, etc...) and furniture. However, these industries use the sanding process empirically, not optimizing it. The aim of this study was to compare the behavior of sandpaper white aluminum oxide (OA-white) and Black silicon carbide (SiC-black), analyzing variables in the process as: strength, power, emission, vibration, wear particle size of sanding, and its consequences on the surface finish of the workpiece. Made the process of plane grinding samples of *Pinus elliottii*, processed in parallel to the fibers, which were sanded with sandpaper grain OA white and black 3-SiC abrasive conditions (new, moderately eroded and severely eroded) grain sizes in 3 (80, 100, and 120 mesh). 6 replicates was performed for each condition tested. Each trial was captured output variables of the sanding process: strength, power, emission and vibration. With two stages totaling 108 trials. After the sanded samples, it has the same surface quality by raising the surface roughness Ra. Through experiment, it can be concluded that abrasives OA-white tended to have higher strength, power, emissions and less vibration in the sanding process, compared to the SiC-black. However, surface finish exhibited similar to the particle size of 80 to 100 mesh, worn abrasive conditions. However, the particle size of 120 mesh, obtained by the roughness of sandpaper OA-bank was higher compared to SiC-black to all conditions of sandpaper due to its toughness.

Keywords: Sanding. White aluminum oxide. Black silicon Carbide. Roughness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Constituição da lixa (CEPRA, 2005).....	20
Figura 2- Processo abrasivo. (GONÇALVES, 2007).....	21
Figura 3- Comparação entre os grãos em relação à dureza de Mohs (CEPRA, 2005)	23
Figura 4- Esquema da classificação mesh para os grãos abrasivos.....	24
Figura 5- Formato geométrico dos grãos abrasivos	28
Figura 6- Comprimento da medição. CARPINETTI et al. (1996).....	34
Figura 7- Rugosidade média- Ra CARPINETTI <i>et al.</i> (1996).....	35
Figura 8- Esquema da sequencia dos ensaios.....	37
Figura 9- Processo de preparação dos corpos de prova.....	38
Figura 10- Dimensões das amostras	39
Figura 11- Lixadeira plana com suporte adaptado	42
Figura 12- Célula de carga modelo TBSPL	43
Figura 13- Transdutor de corrente modelo TRX-I/U	44
Figura 14- Amplificador da célula de carga TCA500	44
Figura 15- Detalhes do painel elétrico de acionamento da lixadeira.....	45
Figura 16- Banco de ensaio com todos os componentes citados.....	46
Figura 17- Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+	48
Figura 18- Módulo de emissão acústica, sensor (1) (2) e amplificador (3).....	49
Figura 19- Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1).....	53
Figura 20- Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição desgastada por 4min com barra de metal (C2).....	53
Figura 21- Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 8min com barra de metal (C3).....	54
Figura 22- Gráfico comparando o comportamento dos grãos em relação à potência	54
Figura 23- Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 80 mesh.....	55
Figura 24- Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 100 mesh.	56
Figura 25- Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 120 mesh	56

Figura 26- Comportamento da potência do SiC-preto em relação à lixa nova (C1) e as desgastadas (C2 e C3)	57
Figura 27- Comportamento da potência do OA-branco em relação à lixa nova (C1) e as desgastadas (C2 e C3)	57
Figura 28- Gráfico demonstrando o comportamento da potência em relação às condições da lixa para o OA-branco.	58
Figura 29- Gráfico demonstrando o comportamento da potência em relação às condições da lixa para o SiC-preto.....	58
Figura 30- Ilustração do material empastado (NORTON, 2012).	59
Figura 31- Comportamento da potência em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.....	60
Figura 32- Comportamento da potência em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.	60
Figura 33- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa nova.....	61
Figura 34- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa na condição C3.....	62
Figura 35- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa na condição C2.....	62
Figura 36- Gráfico demonstrando o comportamento da emissão em relação à granulometria da lixa para o OA- branco	63
Figura 37- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.....	64
Figura 38- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.....	65
Figura 39- Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.	65
Figura 40- Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1).....	67
Figura 41- Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 4min. com barra de metal (C2).....	67
Figura 42- Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 4min (C2).....	68

Figura 43- Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 80 mesh.....	68
Figura 44- Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 100 mesh	69
Figura 45- Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 80 mesh.....	69
Figura 46- Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 120 mesh	70
Figura 47- Gráfico comparando o comportamento da vibração em relação às condições de desgaste para a lixa de OA- branco	71
Figura 48- Gráfico comparando o comportamento da vibração em relação às condições de desgaste para a lixa de SiC- preto.....	71
Figura 49- omportamento da vibração em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.....	72
Figura 50- Comportamento da vibração em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto	72
Figura 51- Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1).....	74
Figura 52 - Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição (C2)	74
Figura 53- Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 8min com barra de metal (C3).....	75
Figura 54- Comparativo da rugosidade entre os grãos abrasivos.....	75
Figura 55- Comportamento da rugosidade em relação às condições de desgaste para o grão de OA-branco.	76
Figura 56- Comportamento da rugosidade em relação às condições de desgaste para o grão de SiC-preto.....	76
Figura 57- Perda de corte dos grãos (NORTON, 2012).....	77
Figura 58- Perda de corte dos grãos (NORTON, 2012).....	77
Figura 59- Comportamento da rugosidade em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.....	78
Figura 60- Comportamento da rugosidade em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.	78

Figura 61 -Comportamento da rugosidade dos abrasivos do carbeto de silício e óxido de alumínio na direção perpendicular e paralela as fibras. MOURA (2006).....	79
Figura 62 -Visão transversal da madeira maple lixada na granulometria de 100 mesh na velocidade de 8m/min (a) óxido de alumínio (b) carbeto de silício. (MOURA, 2006).....	80

LISTA DE TABELA

Tabela 1 -Os tipos de grãos abrasivos	22
Tabela 2 -Comparação da dureza dos abrasivos.....	23
Tabela 3 -Aplicações dos abrasivos em função da granulometria (mesh) (HAWKS, 1995)..	25
Tabela 4 - Proporção química.....	26
Tabela 5 - Características físicas	26
Tabela 6 -Composição química	27
Tabela 7 -Características físicas	27
Tabela 8 -Proporção química do SiC-preto	28
Tabela 9 -Tabela orientativa de seleção dos grãos abrasivos	29
Tabela 10 -Características técnicas da lixadeira plana	42
Tabela 11 -Características técnica da célula de carga modelo TBSL.....	43
Tabela 12 -Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U.....	43
Tabela 13 -Características técnicas do amplificador TCA500	44
Tabela 14 -Características técnicas do módulo de emissão acústica.....	49
Tabela 15 -Conjuntos que não apresentaram distribuição normal.....	61
Tabela 16 -Conjuntos que não apresentaram distribuição normal.....	66
Tabela 17 -Conjuntos que não apresentaram distribuição normal.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo geral.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. <i>Pinus elliottii</i>	18
3.2. Usinagem da madeira.....	19
3.2.1. Processo de lixamento.....	19
3.3. A lixa e sua estrutura.....	20
3.4. Grãos abrasivos.....	21
3.5. Óxido de alumínio (OA).....	25
3.5.1. Óxido de alumínio branco (OA-branco).....	25
3.6. Carbetos de silício (SiC).....	26
3.6.1. Carbetos de silício preto (SiC- preto).....	27
3.7. Desgaste da lixa.....	29
3.8. Variáveis do processo de lixamento.....	30
3.8.1. Potência consumida no lixamento.....	30
3.8.2. Emissão acústica (EA).....	31
3.8.3. Análise de vibrações.....	32
3.8.4. Rugosidade das peças.....	32
3.8.4.1 Medição do estado de superfície.....	33
3.8.4.2 Quantificação da rugosidade superficial.....	34
3.8.4.3 Qualidade superficial da madeira.....	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1. Descrição do experimento.....	36
4.2. Preparação dos corpos de prova.....	38
4.3. Preparação do teor de umidade das amostras.....	39
4.4. Análise física da madeira.....	40
4.4.1. Determinação da densidade aparente.....	40
4.4.2. Determinação da densidade básica.....	40
4.5. Componentes do processo de lixamento.....	41
4.5.1. Banco de ensaio.....	41

4.5.2. Acondicionamento dos abrasivos	46
4.6. Variáveis mensuradas no experimento	47
4.6.1. Potência consumida no lixamento	47
4.6.2. Rugosidade superficial	48
4.6.3. Emissão acústica (EA).....	49
4.6.4. Vibração.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1. Densidade aparente e densidade básica	51
5.2. Variáveis de saída.....	51
5.3. Potência consumida	52
5.3.1. Análise da potência entre os grãos abrasivos	52
5.3.2. Comportamento da potência em relação ao desgaste da lixa	55
5.3.3. Comportamento da potência em relação à granulometria	59
5.4. EMISSÃO.....	61
5.4.1. Análise comparativa da emissão entre os grãos abrasivos	61
5.4.2. Comportamento da emissão em relação ao desgaste da lixa.....	63
5.4.3. Comportamento da emissão em relação à granulometria	64
5.5. Vibração.....	66
5.5.1. Análise da vibração entre os grãos abrasivos	66
5.5.2. Comportamento da vibração em relação ao desgaste da lixa	68
5.5.3. Comportamento da vibração em relação à granulometria	72
5.6. Rugosidade	73
5.6.1. Análise da rugosidade entre os grãos abrasivos	73
5.6.2. Comportamento da Rugosidade em relação às condições da lixa.....	76
5.6.3. Comportamento da rugosidade em relação à granulometria	77
5.6.4. Comportamento da rugosidade em relação às condições da lixa	Erro! Indicador não definido.
6. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO

Em meados da década de 70, o Brasil deparou-se com a diminuição das suas reservas naturais de essências florestais madeireiras, ocasionado por meio do corte de madeiras nobres sem planejamento. Porém, por meio da ação de incentivos fiscais promovidos pelo governo, nos anos de 70 a 80, houve o estímulo da plantação de reservas florestais principalmente do gênero de eucalipto e pinus, dentre os quais se destacaram *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Estima-se que aproximadamente 3,15 mil empresas do 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 % (Revista da Madeira, 2005).

Entretanto, diferentemente de outros materiais, as madeiras variam suas propriedades físicas, químicas e mecânicas entre suas espécies; em uma mesma espécie e em uma mesma tora. Tais propriedades são fortemente influenciadas por questões genéticas e ambientais. Por isso, torna-se vital o conhecimento de suas características e trabalhabilidade. Por isso, é necessário conhecer como o pinus se comportará durante a sua usinagem e acabamento, os quais estão presentes como etapas fundamentais dos processos industriais para a produção da madeira serrada, painéis e móveis.

As etapas de usinagem e acabamento, feitos corretamente, propicia um trabalho com qualidade. Entretanto, seguindo uma linha tênue entre esses processos, existe o lixamento. Por meio deste, ocorre à transformação da matéria em produtos de maior valor agregado.

Trata-se de um processo requerido em determinadas finalidades da madeira, quando se deseja uma melhor qualidade superficial, para que esta fique apta a receber subseqüentes aplicações de acabamento, como: revestimentos laminados de baixa pressão (BP) e alta pressão (AP); laminado plástico; finish foil (FF); hot stamping; pintura, seladores e envernizamento.

Portanto, tem-se a necessidade de conhecer, controlar e aperfeiçoar o processo de lixamento para obtenção da maior eficiência na qualidade final desejada para a madeira. Tal eficiência poderá ser quantificada através da análise das variáveis envolvidas no lixamento, como: força consumida, potência dissipada, emissão, vibração, rugosidade, tipo de grão abrasivo, granulometria e desgaste da lixa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Comparar o comportamento das lixas de óxido de alumínio branco e carbeto de silício preto, no processo de lixamento do *Pinus elliotti*.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar o comportamento das variáveis presentes: potência, emissão, vibração e rugosidade; geradas em diferentes condições de desgaste, granulometria e tipos das lixas, por meio de um ensaio experimental.
- Contribuir para o aprimoramento do processo de lixamento verificando a influência de cada variável no processo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão transcorridos os principais tópicos, que conceituaram o processo de lixamento experimental adotado.

3.1. *Pinus elliottii*.

É conhecido popularmente por: Pinus, Pinheiro ou Pinheiro-Americano. Porém, o seu nome científico é *Pinus elliottii*, o qual pertencente à família das pináceas, da classe das coníferas.

No Brasil, os primeiros plantios do gênero realizaram-se em 1959. A planta tem baixa exigência nutricional o que permite seu plantio em ambientes com condições adversas. Espécie de rápido crescimento que com oito anos já está em ponto de corte, possibilitando uma grande produção de madeira em curto espaço de tempo. A isto, se deve a sua grande expansão industrial.

No início da década de 80, a indústria de móveis lançou-o de forma inadequada no mercado, deixando sua imagem associada a uma madeira de baixa qualidade e durabilidade. Havia problemas em resolver adequadamente sua usinagem, as ferramentas existentes não eram totalmente adequadas, havia dificuldades em realizar corretamente a secagem em estufas, ajuste de equipamentos, etc. Os primeiros móveis produzidos foram feitos com madeira manejada para a indústria de celulose, portanto, colhida com pouca idade, cheia de nós, resultando em peças de pequenas dimensões e com muitos defeitos. Mas, desde então, o setor evoluiu consideravelmente, tendo ocorrido uma grande diversificação das espécies plantadas; aperfeiçoamento das técnicas de plantio e manejo; e grandes investimentos em equipamentos para o processamento da madeira.

As regiões sudeste e sul do Brasil acompanharam a política de reflorestamento, plantando principalmente o *Pinus taeda* e o *elliottii*. Atualmente o Pinus brasileiro é uma madeira maciça oriunda de áreas reflorestadas, caracterizando assim uma matéria prima ecologicamente correta e que desponta como uma das mais econômicas alternativas para o abastecimento do mercado nacional.

O País possui um dos maiores reflorestamentos do mundo em coníferas, que graças às variações climáticas, resulta em enorme vantagem sobre outras nações produtoras. Inclusive, considerável potencial para expansão, visto que, por questões ambientais, a utilização de madeiras nobres, encontra atualmente, e cada vez mais, em uso restrito.

No mercado contemporâneo são muitas as fábricas no sul do país que exportam móveis em Pinus e se destacam no mercado internacional como importantes fornecedores alternativos de madeiras e móveis. E devido a vertente de produtos ecologicamente correto, o esclarecimento político-social de consumidores europeus e norte-americanos provoca uma crescente demanda de móveis de Pinus.

3.2. Usinagem da madeira

O processo de usinagem trata-se, da remoção da massa de um material ao introduzir entre suas moléculas uma cunha de maior coesão molecular. Sendo este princípio aplicável a todo o tipo de ferramenta, inclusive as abrasivas. (NUSSBAUM, 1988)

Para Bianchi *et. al.* (1999), a usinagem por abrasão é o processo responsável por melhorar o acabamento das peças, fundamentado pela abrasão de grãos que são fixados por um ligante ou adesivo.

Segundo Maldonado (1998), a análise e o conhecimento da usinabilidade servem para descobrir as propriedades de mecanização de um determinado material, definindo-a ainda como a facilidade de se manipular um material em formas e dimensões definidas, com certa qualidade superficial, por operações de corte.

3.2.1. Processo de lixamento

O lixamento tem por objetivo amenizar os danos causados na madeira durante o seu processo de obtenção em diversos formatos, e com isto permiti nivelar e alisar a superfície, proporcionando uma condição ideal para o acabamento.

O processo pode ser dividido em duas classes de trabalho. Na primeira, estão os processos que são realizados para preparar a madeira reduzindo a aspereza superficial da peça. Enquanto, a segunda, apronta a madeira para subseqüente aplicação de materiais de acabamento (KOCH, 1964).

Entretanto, é difícil a análise e caracterização deste processo, devido à variedade do tipo de equipamentos e diversas granulometrias de lixas existentes. Sendo a qualidade do acabamento superficial, medido a partir dos picos e vales (rugosidade) da superfície, geralmente expresso em micrômetros (μm) um dos parâmetros de grande relevância na operação de lixamento (SALONI *et. al.*, 2005).

3.3. A lixa e sua estrutura

A lixa é um produto formado de grãos de mineral abrasivo, previamente classificado a um tamanho especificado, sobre um costado, unido por camadas de adesivos que são curados para ter a forma sólida. Portanto, são abrasivos revestidos ou flexíveis, que são altamente usadas nas indústrias. São formadas por três partes principais (Figura 1).

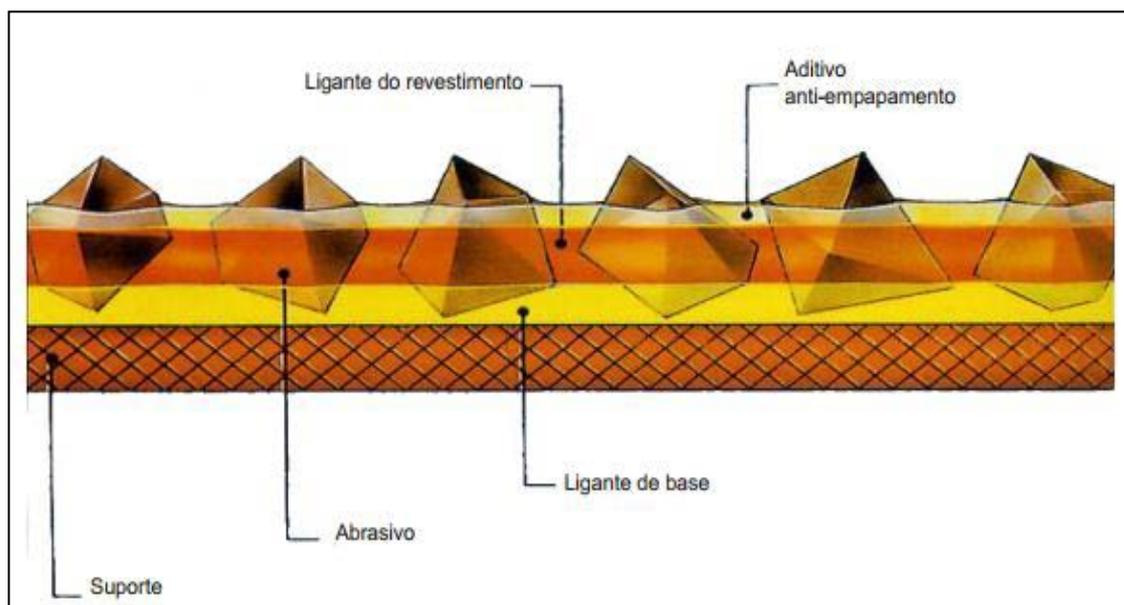


Figura 1- Constituição da lixa (CEPRA, 2005).

1ª parte (Suporte): trata-se de um costado flexível ou semi-flexível, para a aplicação dos adesivos e grãos abrasivos. Além de ser usado para impressão das especificações da lixa, como: sentido de rotação da cinta, série de produção e equipamentos de proteção individual, necessários para utilização da lixa com segurança.

2ª parte (Adesivos): são substâncias minerais ou orgânicas, sintéticas ou naturais, usadas para a fixação do grão abrasivo no costado. Há dois tipos de adesivos: (1) de resina, presente nas lixas utilizadas em máquinas lixadeiras, e (2) de cola, para lixas manuais.

3ª parte (Abrasivos) : é nesta parte da lixa que ocorre o mecanismo de lixamento, o qual ocorre em três etapas (Figura 2).

Primeiramente se inicia pelo atrito do grão abrasivo com o material lixado, gerando um processo de modificação superficial na peça que se caracteriza pela eminência do grão abrasivo em cortar o material. A segunda é a deformação, processo de deslocamento do material, onde acontece deformação elástica iniciando a formação do cavaco. A última os

grãos abrasivos produzem o desgaste do material por meio do atrito (cisalhamento), o qual atua como ferramenta de corte, removendo partículas da peça formando cavacos.

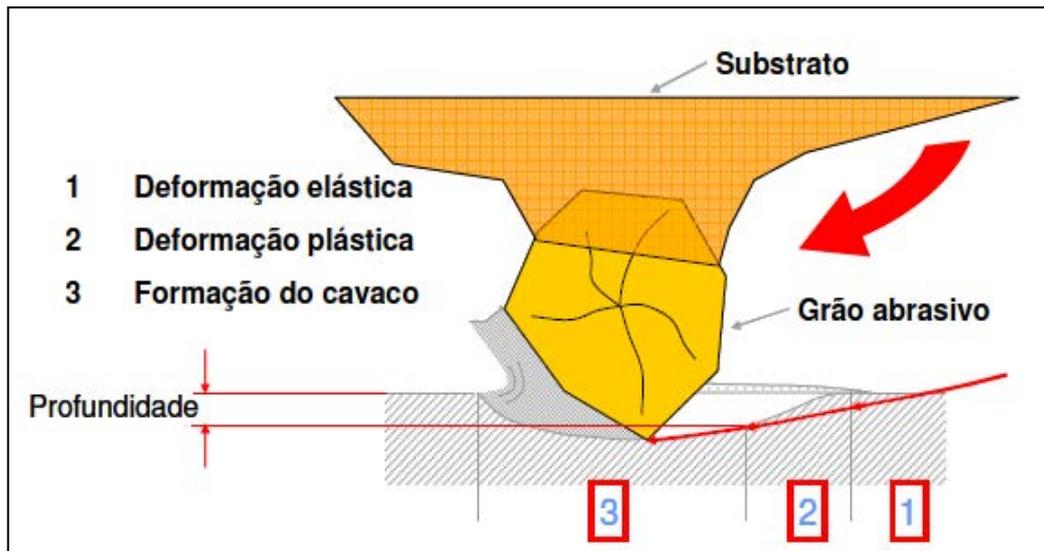


Figura 2- Processo abrasivo. (GONÇALVES, 2007)

3.4. Grãos abrasivos

Os abrasivos têm como função: desgastar, polir ou limpar superfícies. E isto ocorre, devido à abrasão, operação de remoção do material da peça; realizada pela ação dos grãos os quais atiram com a mesma.

Os grãos dividem-se em duas classes, naturais e sintéticos (Tabela 1). Sendo os sintéticos fabricados e desenvolvidos em laboratórios, diferentemente dos naturais, que são extraídos das minas. Porém, devido a menor variabilidade e qualidade na produção dos abrasivos, nos dias atuais, são usados em sua maioria para a composição das lixas os abrasivos sintéticos.

Tabela 1-Os tipos de grãos abrasivos

TIPOS	EXEMPLOS
NATURAIS (NÃO SILICIOSOS)	Diamante Corindon Esmeril Granada
NATURAIS (SILICIOSOS)	Quartzo Areia (Sílica) Pedra pomes Pó vulcânico Diatomita
MOLES	Feldspato Dolomita Óxido de cálcio Óxidos metálicos (Cromo, Zn, etc.).
SINTÉTICOS OU ARTIFICIAIS	Diamante CBN (Nitreto Cúbico de Boro) Carbureto de Boro Carbureto de Silício (verde e preto) Alumina sinterizada Carbureto de Tungstênio Óxido de Alumínio

(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

As características principais dos abrasivos são baseadas nos seguintes aspectos:

DUREZA: é definida como a resistência à ação do risco.

Segundo Stemmer (1992) uma das principais qualidades dos abrasivos visando o seu uso como ferramenta de corte é a sua dureza.

Por meio das escalas de Mohs e a Knoop, as quais revelam a dureza do material, é possível comparar tal característica com outros materiais.

A escala Knoop, expressa a dureza correspondente a uma carga de 100g sobre a ponta de um diamante que penetra a amostra. Quanto maior o número da escala, maior será a dureza do abrasivo. Sendo o diamante o possuidor de maior dureza. (Tabela 2)

Tabela 2- Comparação da dureza dos abrasivos

Dureza Knoop	Diamante	Óxido de alumínio	Carbeto de silício
	8000	2100	2500

(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

A escala de Mohs é obtida pela a capacidade que os minerais possuem de riscar e de serem riscados. Um mineral é mais duro que outro quando o primeiro é capaz de riscar o segundo e, por sua vez, não ser riscado (CEPRA, 2005).

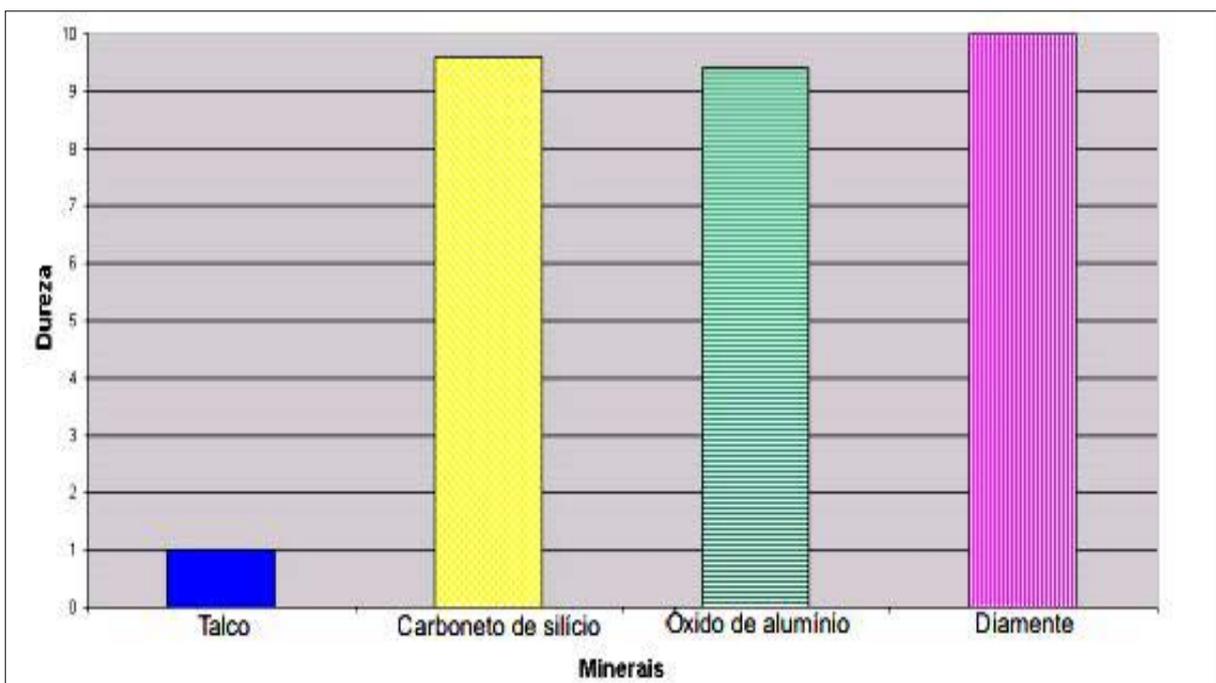


Figura 3- Comparação entre os grãos em relação à dureza de Mohs (CEPRA, 2005)

TENACIDADE: define-se como a capacidade para suportar as tensões provocadas pela ação dos esforços de choque.

Mecanicamente representa o quanto de esforço, ou seja, trabalho deve ser efetuado para quebrar um grão abrasivo. Sendo assim, quanto maior o esforço aplicado para que ocorra a ruptura, maior a tenacidade do material (NUSSBAUM, 1988).

FRIABILIDADE: é a capacidade do grão abrasivo de gerar novas arestas cortantes.

Essa característica propicia a definição do uso do abrasivo, os quais podem ser apropriados para trabalhos duros, pesados e trabalhos de retificação, que geralmente são os mais duros e friáveis (NUSSBAUM, 1988).

Além, dessas características o dimensionamento dos grãos interferem no acabamento do material. Segundo Stemmer (1992) as dimensões dos grãos e sua uniformidade são uma característica importante no processo de usinagem com os abrasivos.

A classificação mais usual que padroniza os tamanhos dos grãos é da norma ANSI Standard B 74.12, que especifica o tamanho dos grãos em mesh.

A medida mesh é representada por um número que corresponde à quantidade de fios por polegada linear da peneira na qual os grãos ficam retidos no processo de seleção. Quanto maior o número menor serão os grãos e quanto menor o número maior serão os grãos.

O esquema das peneiras para essa classificação em mesh pode ser observada na (Figura 4)

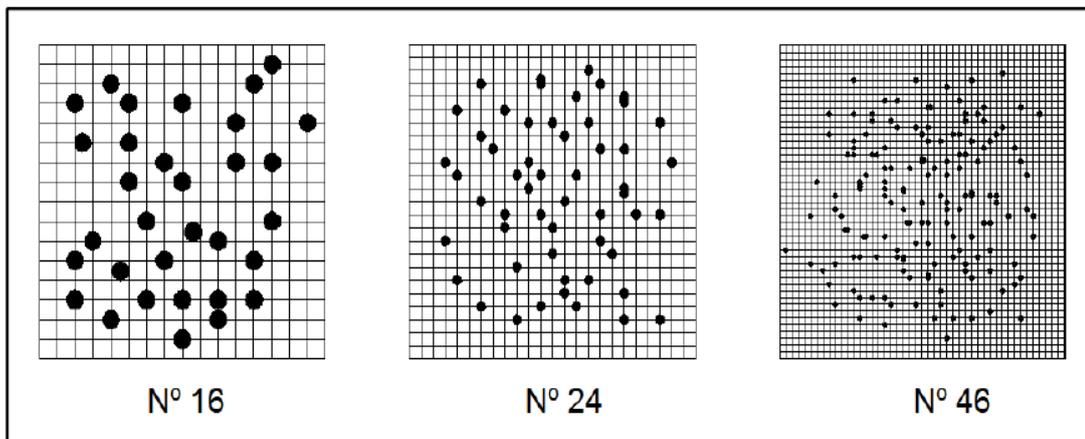


Figura 4-Esquema da classificação mesh para os grãos abrasivos

A tabela a seguir apresenta uma proposta de classificação para diferentes granulometrias e suas aplicações no lixamento da madeira.

Tabela 3-Aplicações dos abrasivos em função da granulometria (mesh) (HAWKS, 1995).

(Mesh)	CLASSIFICAÇÃO	APLICAÇÃO
600–500	Super- fina	Polimento
400–360–320	Extra- fina	Antecede a aplicação de revestimento
280–220	Muito fina	Lixamento entre os cantos e o último lixamento para madeiras duras
180–150	Fina	Último lixamento de madeira macia e o primeiro para madeira dura
120–100–80	Média	Lixamento preliminar
60–50–40	Grossa	Remoção de tinta ou falhas grosseiras

3.5. Óxido de alumínio (OA)

O abrasivo é formado pela fusão da bauxita e calcina misturados com pequena porcentagem de coque, ferro, além de titânio (Ti) e óxido de magnésio MgO₂. A fusão ocorre a uma temperatura de 1900°C a 2000°C em um forno elétrico a arco por um período de 36hs, enquanto que o resfriamento pode ser de até uma semana. O bloco formado é posteriormente fraturado e triturado.

Por meio deste grão pode-se obter: óxido de alumínio marrom, óxido de alumínio, óxido de alumínio 25DR, óxido de Alumínio 55A e óxido de alumínio branco.

3.5.1. Óxido de alumínio branco (OA-branco)

Trata-se de um composto abrasivo formado pela fusão de alumina calcinada do tipo Bayer com temperaturas superiores de 2800°C, produzidos em fornos elétricos a arco.

O grão é extremamente robusto e permite a penetração rápida em materiais duros sem fraturar-se ou desgastar-se excessivamente. É usado em materiais de alta resistência a tração, como aço e materiais não ferrosos.

As tabelas abaixo mostram a proporção química e a dureza do material

Tabela 4- Proporção química

Fe₂O₃	Óxido férrico	0,08%
Na₂O	Óxido de sódio	0,40%
Al₂O₃	Óxido de alumínio	99,52%

(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

Tabela 5- Características físicas

DUREZA	Knoop	1970 kg/mm ²
	Mohs	9

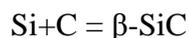
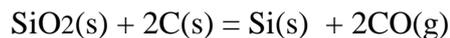
(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

3.6. Carbetto de silício (SiC)

É obtido por meio da redução carbotérmica de sílica ou quartzo. O método mais comum para a fabricação do pó do carbetto de silício é denominado processo de Acheson, o qual consiste na reação química do óxido de silício e posterior combinação com o carbono, proveniente do carvão ou coque de petróleo. A mistura é aquecida em forno elétrico, cuja temperatura varia na faixa de 2000 a 2300°C. O mecanismo de formação do material é formado por meio de duas etapas químicas. (SILVA, 2009).

Etapa 1

A partir do início da queima tem-se o desprendimento do CO, proveniente da redução do quartzo (SiO₂). A 1700°C é formado o β-SiC (com estrutura cristalina cúbica) e gerando monóxido de carbono (CO).



Etapa 2

A aproximadamente 2100°C o β-SiC é transformado em α-SiC (com predominância de estrutura cristalina hexagonal).



Após o processo o SiC encontra-se na forma de grandes blocos os quais necessitam ser reduzidos de acordo com a granulometria desejada. (NUSSBAUM, 1988, p.39)

O SiC é aplicado nas indústrias de refratário, fundição e abrasivos, isto por ter, propriedades mecânicas, elétricas e químicas exclusivas, como resistência à corrosão, dureza e resistência química.

As tabelas a seguir disponibilizaram informações químicas e físicas do material.

Tabela 6-Composição química

SiC	98,80%
Si + SiO ₂	0,40%
Fe ₂ O ₃	0,25%
Al ₂ O ₃	0,50%
C. Livre	0,05%

(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

Tabela 7-Características físicas

DUREZA	Knoop	2480 kg/mm ²
	Mohs	9,6

(Fonte: NUSSBAUM, 1988)

3.6.1. Carbetto de silício preto (SiC- preto)

É produzido em forno elétrico através da reação de sílica de alta pureza (quartzo) com o carbono à temperatura de 2450 °C. O seu uso destina-se na fabricação de abrasivos, rebolos magnesianos, para lapidação e polimento de peças com acabamento especial e rigoroso controle metrológico, por apresentar altíssima dureza.

A cor do SiC pode variar entre o verde claro ao preto com reflexos metálicos. Esta variação é intrínseca a adição da quantidade de sílica, carbono e principalmente de alumínio. A coloração preta dá-se por meio de condições no processo, tais como: teor mais elevado de carbono livre; baixo teor de alumínio ou silício absorvido.

A tabela a seguir quantifica a proporção química dos elementos presentes na substância (ABC-Associação Brasileira de Cerâmica).

Tabela 8-Proporção química do SiC-preto

Carbonos livres	0,60%
Si+ SiO₂	1,50%
Fe	0,50%
Al	0,40%
SiC	96,50%

(Fonte: Boletim Técnico)

3.6.2. Formato e aplicações dos grãos de SiC-preto e OA-branco

Os grãos de carbeta de silício são mais afiados e por isso efetuam o processo de abrasão mais rápido, produzem padrões de riscos mais finos na maioria das superfícies e acabamento semi-brilhante.

Os grãos de Óxido de Alumínio tendem a durar mais, porém produzem menor descoloração em peças de alumínio, são mais agressivos em certos tipos de aplicação, como em peças de aço endurecido e produzem acabamento fosco.

O formato geométrico de ambos os grão pode ser visto, por meio da figura, a seguir.

**Figura 5-**Formato geométrico dos grãos abrasivos

A Tabela 9 faz uma relação adequada, por tipo de material e operação, dos grãos abrasivos do óxido de alumínio (OA) e carbeta de silício (SiC).

3.8. Variáveis do processo de lixamento

O lixamento da madeira é um processo complexo no qual atuam diversas variáveis, sendo estas, controláveis e não controláveis.

As variáveis não controladas são as relacionadas ao material usinado e ao processo, onde devido suas características tornam-se difíceis de serem dimensionadas; e irão influenciar no resultado final, sendo necessário executar o experimento com máxima aleatoriedade para a distribuição destas influências. Exemplos dessas variáveis são: propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira, variação da densidade, espécie lixada, anatomia etc.

As controladas também irão influenciar no processo, sendo possível estipular seus valores e mantê-los fixos em determinadas faixas para verificar sua influência sobre o resultado final. Exemplos dessas variáveis são: umidade da madeira, pressão e força aplicada, velocidade de corte, emissão, vibração, potência consumida, velocidade de alimentação, tipo de abrasivo, granulometria do abrasivo etc (VARASQUIM et. al., 2013).

3.8.1. Potência consumida no lixamento

O sensor de potência mede a potência consumida ou a variação da frequência do motor. Sua medição consiste em mensurar a corrente e a tensão gerada pelo motor. Por sua fácil trabalhabilidade, são usados em grade escala para o monitoramento de equipamentos de usinagem (JEMIELNIAK, 1999).

Entretanto, o emprego da instrumentação no processo de usinagem da madeira é algo recente, diferentemente para a usinagem de metais.

Exemplo disto, é visto no trabalho de Gonçalves *et al.* (2006), o qual mensurou a potência de consumo, pois instrumentou o equipamento de usinagem com aparelho de controle eletrônico microprocessado, indicado para medição e registro de grandezas da rede elétrica que alimenta a máquina. O medidor de grandezas elétricas realizou a medição direta de corrente por plugs ou por alicate tipo TC (transformador de corrente), registrando valores de potência ativa e reativa, tensão, corrente e frequência, por fase e trifásica.

3.8.2. Emissão acústica (EA)

É definida como as ondas de tensões produzidas pelo movimento súbito dos materiais tensionados, sendo que as emissões clássicas provêm dos processos de deformação, como o aparecimento e o crescimento de trincas e deformações plásticas. Tais movimentos produzem tensões que se propagam pelo material que por meios físicos chegam ao sensor de EA. É um método de aquisição de valores muito sensível, no qual o sensor capta sinais elétricos de alta frequência e livre dos ruídos advindos de fontes que não interessam ao processo (SOARES & OLIVEIRA, 2002).

A emissão acústica esta sendo empregada em diversos segmentos, desde experimentais e de pesquisa até no âmbito industrial. Algumas das aplicações são as detecções de desgaste, queima, colisão do abrasivo, eliminação de espaços de retificação, verificação de vazamentos, entre outros (AGUIAR, 1997).

Segundo Silva (2000), o sinal de emissão acústica pode ser considerado um bom indicador do número de grãos ativos em contato com a peça usinada por unidade de tempo.

Segundo Kakino (1980), apud Souto (2004) a emissão acústica é uma espécie de vibração ultrassônica tipicamente gerada durante a deformação e fratura de materiais sólidos. Portanto, se um certo estímulo for feito (corte, atrito, trinca, fratura, deformação) ocorrerá um rearranjo de estrutura do material. Este rearranjo libera energia de deformação, que gera ondas de tensão elástica, provocando deslocamento na superfície do material.

O sinal de emissão acústica é classificado segundo Blum e Inasake (1990) apud Souto (2004) em dois tipos: o sinal contínuo (continuous type) e o sinal de pico (burst type). No caso de uma emissão contínua, esta pode ser produzida por deformações plásticas da peça ou cavaco, pelo atrito na interface cavaco-ferramenta ou até pelo atrito da peça com a ferramenta na superfície de folga. Como este sinal chega em grande número, não pode ser detectado isoladamente. Os picos de emissão podem ser produzidos por eventos localizados como uma trinca quebra ou lascamento na peça, quebra ou colisão do cavaco e quebra da ferramenta. O sinal de pico possui energia maior e pode ser facilmente percebido durante o processo.

Webster *et al.* (1996), citam que uma das melhores formas de se monitorar o sinal de emissão acústica é pelo seu valor RMS (Root Mean Square) ou valor quadrático médio, que é um valor retificado do sinal de emissão acústica em intervalos de tempo determinado, e vem sendo amplamente utilizado com sucesso para monitoramento de diversos processos.

O *valor RMS* é a mais importante medida da amplitude porque ele mostra a média da energia contida no movimento vibratório. Portanto, mostra o potencial destrutivo da vibração.

3.8.3. Análise de vibrações

Quando uma força atua sobre um conjunto, ocorre a vibração do sistema. A frequência desta vibração é chamada de frequência própria predominante do sistema. Isto significa que para tal frequência ocorrer, o sistema deve ser submetido à ação da mínima força capaz de provocar uma oscilação. (NUSSBAUM, 1986)

Portanto, a análise de vibração é o processo pelo qual as falhas de componentes móveis de um equipamento, são descobertas pela taxa de variação das forças dinâmicas geradas. Consequentemente, estas forças afetam o nível de vibração, que pode ser avaliado em pontos acessíveis das máquinas, sem interromper o funcionamento dos equipamentos (GONÇALVES, 2000).

Para Alves (2009), todos os componentes possuem diferentes frequências de vibração, que podem ser isoladas e identificadas. A amplitude de cada componente de vibração distinto deverá permanecer constante ao longo do tempo, caso não ocorram alterações na dinâmica operacional da máquina ou mudança na integridade dos componentes.

Segundo a Gatec (2009), a análise de vibração é um procedimento utilizado para auxiliar na manutenção, controle e otimização de máquinas e equipamentos de vários processos industriais, onde falhas em componentes das máquinas são detectadas pela taxa de variação das forças dinâmicas geradas.

Sensores de vibração são usualmente chamados de acelerômetros piezoelétricos. Baseiam-se no efeito piezoelétrico dos cristais de quartzo para gerarem um sinal elétrico proporcional à aceleração que lhe é aplicada. Em um acelerômetro, a tensão nos cristais ocorre como o resultado da imposição de uma força de uma massa sísmica sobre o cristal. Dentro da faixa de frequência especificada, essa estrutura obedece à segunda lei de Newton. Desta forma, a quantidade total de carga acumulada é proporcional à força aplicada, que por sua vez, é proporcional à aceleração (MOREIRA, 2007).

3.8.4. Rugosidade das peças

De acordo com Carpinetti (2000), rugosidades caracterizam-se pelo micro-irregularidades geométricas da superfície do material usinado. A rugosidade consiste basicamente de marcas regulares oriundas do perfil da ferramenta combinada a outras irregularidades, podendo ser variáveis, conforme o material e o tipo de ferramenta utilizada.

O processo de remoção do material interfere na rugosidade superficial da peça, que depende das condições de usinagem. Para usinagens grosseiras, as quais envolvem operações de desbaste e reduzido número de arestas da ferramenta atuante, formam-se sulcos mais profundos, resultando em valores elevados da rugosidade. Enquanto, a fina, operações de acabamento e maior número de arestas da ferramenta atuante, faz com que cada grão abrasivo penetre menos na peça, justamente pelo maior número de arestas, que distribuem melhor os esforços gerando menores valores de rugosidade (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

Todo material apresenta a superfície caracterizada por uma determinada textura que é dependente do seu processo de fabricação, da natureza do material, ou uma combinação dos dois. De acordo com a finalidade do produto final usinado, a qualidade superficial torna-se uma característica de controle de suma importância. Sendo esta, utilizada como uma ferramenta para o estudo da usinabilidade dos materiais. Nos ensaios, os parâmetros de usinagem podem ser variados, e as melhores qualidades superficiais obtidas determinam quais são as características ideais para esse processamento (LEMASTER e BEALL, 1996).

3.8.5. Medição do estado de superfície

Segundo Siqueira (2003), a rugosidade pode ser definida como os desvios apresentados em uma superfície, tendo frequências periódicas e aperiódicas, produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte ou abrasão sobre a superfície da peça, sofrendo uma influência sobre o tipo de formação do cavaco. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido à fixação fora de centro, batimento no processo de usinagem ou por vibrações nas máquinas, ferramentas ou peças.

Sua quantificação é feita pelos parâmetros de altura e largura das irregularidades. Sua magnitude está diretamente relacionada ao coeficiente de atrito, desgaste, lubrificação, transmissão de calor, resistência mecânica, rigidez do equipamento, a velocidade de remoção, entre outros fatores (WINTER, 2004).

3.8.6. Quantificação da rugosidade superficial

Para medir a rugosidade, através de rugosímetros, primeiramente é preciso determinar o comprimento de amostragem “ l_t ”, como mostrado na (Figura 4). Entretanto, a medição da rugosidade é feita sobre um trecho menor, “ l_m ”, depois de ter eliminado o segmento inicial e final, “ l_0 ”, que possuem um erro devido à aceleração e desaceleração da agulha. Finalmente o comprimento de amostragem corresponde a segmentos dentro do comprimento de medição, “ l ” (CARPINETTI *et al.*, 1996).

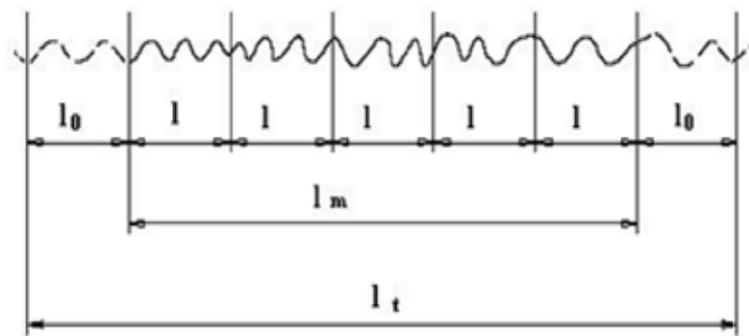


Figura 6-Comprimento da medição. CARPINETTI *et al.* (1996)

Carpinetti *et al.* (1996) afirmam, ainda, que a rugosidade média, expressa pelo parâmetro R_a , como mostrado na Figura 6, é definida como a amplitude média do perfil em relação à linha de referência sobre um comprimento do perfil correspondente à cada comprimento amostral considerado. Matematicamente, a rugosidade média (R_a) pode ser expressa pela Equação (1), que segue:

$$R_a = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

Onde,

Σy_i é a somatória de todos os pontos discretos (picos ou vales) ao longo do perfil;

n é o número de pontos ao longo do perfil.

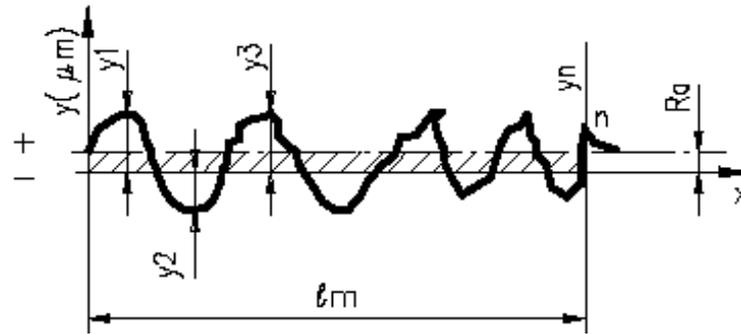


Figura 7-Rugosidade média- Ra CARPINETTI *et al.* (1996)

3.8.7. Qualidade superficial da madeira

De acordo com Magoss e Sitkei (2001) a qualidade superficial depende de vários fatores que podem ser encontrados nas propriedades da madeira e nas características do processamento. Dentro das propriedades da madeira pode-se destacar a espécie, densidade, teor de umidade e propriedades estruturais. As propriedades estruturais incluem o específico número e distribuição de fibras e vasos.

O processamento também tem grande influência na rugosidade. Na usinagem através de corte ortogonal, os fatores mais importantes são a velocidade de corte e a afiação das facas, mas o ângulo de corte da faca, o ângulo entre a aresta de corte com as fibras e a amplitude de vibração da máquina também influenciam a rugosidade superficial (MAGOSS; SITKEI, 2001).

Segundo Lemaster (1995), a presença de irregularidades na madeira não é tão crítico como em outros materiais além de muitos produtos a base de madeira não exigirem um excepcional acabamento superficial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Descrição do experimento

Para a realização do experimento, usou-se 108 amostras de *pinus elliotti*. Cujas dimensões foram de 30x54x23mm.

Após a fabricação dos corpos de prova, climatizou-os de acordo com a norma NBR 7190/1997 para “classe de umidade 1 - 12%UE”. Sendo em seguida acondicionados em sacos de polietileno e lacrados para não ocorrer à variação da umidade.

Enumerou cada peça e as dividiu em dois grupos de 54 corpos de provas, para realizar o processo de lixamento. Sendo o primeiro lixado com grãos de OA- branco, e o outro com SiC-preto.

Para cada grupo variou-se a granulometria da lixa com 80, 100 e 120 mesh e a condição das lixas: nova (C1), desgastada por 4 min (C2) e por 8 min (C3) com barra de metal, sendo realizadas seis repetições para cada condição.

As amostras passaram pelo processo de lixamento na direção paralela às fibras com os planos de corte (tangencial e radial) aleatoriamente distribuídos, velocidade de corte de 12 m/s. e pressão do sistema de 1 Kg/ cm². Captou-se por meio de um sistema de aquisição de dados, a potência, vibração e emissão de cada peça. Enquanto, que a rugosidade das amostras foi obtida por meio do aparelho rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+

Cada grupo seguiu o mesmo procedimento de ensaio, diferenciando somente, o tipo do grão.

O esquema da Figura 8 mostra a sequência e as variáveis do ensaio.

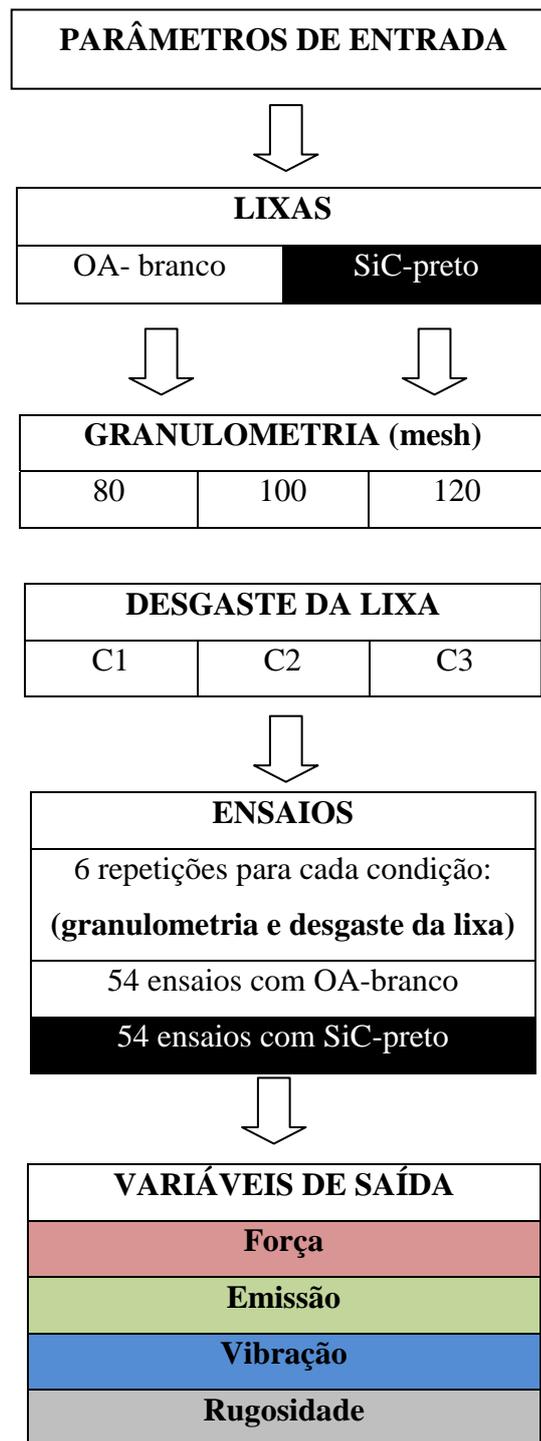


Figura 8-Esquema da sequencia dos ensaios

4.2. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados no Laboratório de Processamento da Madeira no Campus Experimental da UNESP de Itapeva. As condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas para não influenciar no processo de lixamento da madeira.

Após a preparação do desdobro inicial, as peças com dimensões de 1000 x 30 x 60 mm foram aplainadas em duas faces de referência em uma plaina da marca ROCCO modelo PMS 350 e reduzidas nas dimensões (largura e espessura) na desgrossadeira da marca BALDAN modelo DGR4. Por fim, foram cortadas em uma esquadrejadeira da marca VERRY modelo LIFE nas dimensões finais. A Figura 9 apresenta as etapas do processo de usinagem.

Os corpos de prova foram preparados para que o lixamento procedesse na direção paralela às fibras com os planos de corte (tangencial e radial) aleatoriamente distribuídos. Preparou-se um total de 108 corpos de prova, os quais foram enumerados e devidamente climatizados de acordo com a norma NBR 07190/1997 para “classe de umidade 1 - 12%UE” em uma câmara climática da marca TECNAL modelo TE 4001. As dimensões finais dos corpos de prova foram 30 x 54 x 23 mm (Figura 10).



Figura 9-Processo de preparação dos corpos de prova

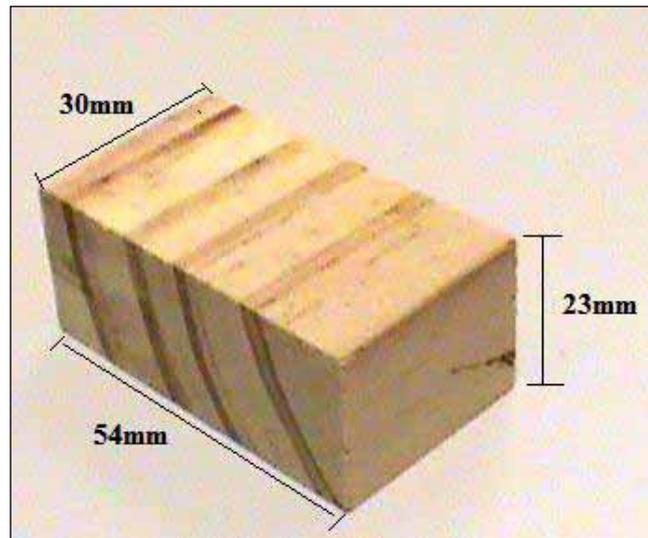


Figura 10-Dimensões das amostras

4.3. Preparação do teor de umidade das amostras

O teor de umidade foi realizado através do método gravimétrico da seguinte forma: determinou-se a massa inicial (m_i) do corpo de prova com precisão de 0,01 g. Após a determinação da massa inicial, colocou-se o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante a secagem a massa do corpo de prova foi medida a cada 6 h, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Esta massa foi considerada como a massa seca (m_s). Conhecida a massa seca (m_s) do corpo de prova, determinou-se a umidade à base seca de acordo com a Equação (2). Esta determinação foi realizada de acordo com a norma NBR 07190 para comprovação que a madeira entrou em equilíbrio com ambiente em aproximadamente 12% UE.

$$U_{(\%)} = \frac{(m_i - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$U_{(\%)}$ = porcentagem de umidade base seca;

m_i = massa de amostra úmida, em gramas;

m_s = massa de amostra seca, em gramas.

4.4. Análise física da madeira

4.4.1. Determinação da densidade aparente

A densidade aparente foi determinada segundo a norma NBR 07190. O procedimento consiste em pesar a massa do corpo de prova em uma balança com precisão de 0,01 g e medir o seu volume. Para medição do volume do corpo de prova utilizou-se um paquímetro mecânico da marca Mitutoyo com precisão de 0,05mm. A densidade aparente (D_{ap}) é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume do corpo de prova com teor de umidade de 12% (UE), sendo dada pela Equação (3).

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (3)$$

Onde:

$D_{ap(12\%)}$ = densidade da madeira a 12% de umidade, kg.m^{-3} ;

$M_{12\%}$ = massa de amostra a 12% de umidade, em kg;

$V_{12\%}$ = volume da amostra a 12% de umidade, em m^3 .

4.4.2. Determinação da densidade básica

A densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso de uma amostra seca em estufa e o seu volume verde ou saturado de água. Essa determinação seguiu o método da balança hidrostática, segundo norma NBR 7190. Os corpos de prova foram acondicionados em uma caixa com água até a sua saturação completa. Após a saturação, pesaram-se as amostras imersas (m_i) em uma balança hidrostática com precisão de 0,01g. Removeu-se a água superficial dos corpos de prova, e pesaram-se as amostras saturadas (m_v) na mesma balança. Em seguida, secaram-se os corpos de prova com temperatura máxima de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida, obtendo-se a massa seca (m_s). A densidade básica foi determinada através da Equação (4).

$$D_b = \frac{m_s}{m_v - m_i} \quad (4)$$

Onde:

D_b = densidade básica, kg.m^{-3} ;

m_s = massa de amostra seca, em kg;

m_v = massa de amostra saturada em água, em kg;

m_i = massa de amostra saturada imersa em água, em kg.

4.5. Componentes do processo de lixamento

4.5.1. Banco de ensaio

Composto por uma lixadeira plana com um suporte adaptado para fixação do corpo de prova e adição de massas para pressão, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados, constituído por: um painel de controle; sensores; transdutores; microcomputadores; placas; conectores; cabos e software para aquisição e manipulação dos dados.

A seguir será descrito sobre as características dos componentes pertencentes ao banco de ensaios.

Lixadeira com suporte adaptado

- Lixadeira plana da marca BALDAN[®], modelo LFH-2. A Tabela 10 descreve as características técnicas do equipamento.
- O suporte para fixação do corpo de prova e adição de massas para pressão foi fabricado em aço ABNT 1010. A Figura 11 mostra a lixadeira plana com o suporte adaptado para fixação do corpo de prova.

Tabela 10-Características técnicas da lixadeira plana

Dimensões da mesa	530 x 160 mm
Diâmetro do disco de lixa	250 mm
Rotação do disco de lixa	2580 rpm
Inclinação da mesa do disco	45°
Dimensão da fita de lixa	1480 x 150 mm
Posição de trabalho	0-90°
Potência do motor	1 CV
Peso líquido aproximado	78 kg

**Figura 11**-Lixadeira plana com suporte adaptado

Sistema de monitoramento e aquisição de dados

- Célula de carga para captação da força de lixamento da marca BERMAN load cells[®], modelo TBSPL com capacidade de 25 kg. A Tabela 11 apresenta algumas características técnicas da célula e a Figura 12 mostra o formato da célula.

Tabela 11-Características técnica da célula de carga modelo TBSL

Capacidade máxima	25 KG
Dimensão máxima da plataforma	350 x 350 mm
Torque de aperto	10 Nm
Sensitividade	$2,0 \pm 0,2$ mV/V
Grau de proteção	IP 65
Resistência elétrica de entrada	410 ± 2 Ω
Resistência elétrica de saída	350 ± 3 Ω
Faixa de temperatura nominal	-20 até +60°C
Limite de carga de segurança	Até 150% da capacidade nominal
Tensão recomendada de excitação	10 VCC
Tensão máxima de excitação	15 VCC
Material	Alumínio

**Figura 12**-Célula de carga modelo TBSPL

▪ Transdutor de corrente alternada monofásico para captação da potência consumida do motor durante o lixamento, marca WARD modelo TRX-I/U. A Tabela 12 apresenta algumas características técnicas do transdutor de corrente alternada. A Figura 13 mostra o transdutor de corrente.

Tabela 12-Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U

Dimensões	45 x 75 x 110 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Corrente de saída	0 – 20 mA
Tensão de saída	0 – 10VCC
Frequência nominal	50 – 60 Hz
Tempo de resposta	250 mS
Faixa de temperatura nominal	-5 até +55°C

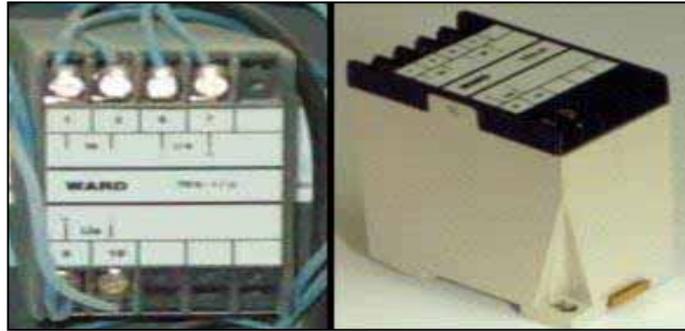


Figura 13-Transdutor de corrente modelo TRX-I/U

▪ Amplificador da célula de carga tem a função de receber o sinal elétrico da célula de carga e amplificá-lo para um valor em voltagem proporcional a deformação da célula, marca BITEC, modelo TCA500. A Tabela 13 apresenta algumas características técnicas do amplificador da célula e a Figura 14 mostra o amplificador da célula de carga.

Tabela 13-Características técnicas do amplificador TCA500

Dimensões	23 x 110 x75 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Tensão de entrada	0 – 100 mV
Tensão de saída	0 – 10 VCC



Figura 14-Amplificador da célula de carga TCA500

▪ Placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para serem interpretado pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos foi feito pelo programa LabView[®] 7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo em forma de matriz salvando em arquivo de texto.

Além dos componentes já citados, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possui: dois microcomputadores para o processamento e armazenamento dos dados; uma fonte variável 0 - 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303 para alimentação dos módulos de vibração e emissão acústica; e um painel elétrico para acionamento da lixadeira e controle do sistema de aquisição. Neste painel, há um inversor de frequência da marca WEG® modelo μ line com tensão de alimentação de 380 V e 3A, para o controle da velocidade da lixadeira; e uma fonte de alimentação da marca Siemens com entrada 110-220 VAC com saída de 24 VCC para alimentação do amplificador da célula de carga e do transdutor de corrente. As Figuras 15 e 16 mostram respectivamente, o painel elétrico e o banco de ensaio com todos os componentes mencionados.

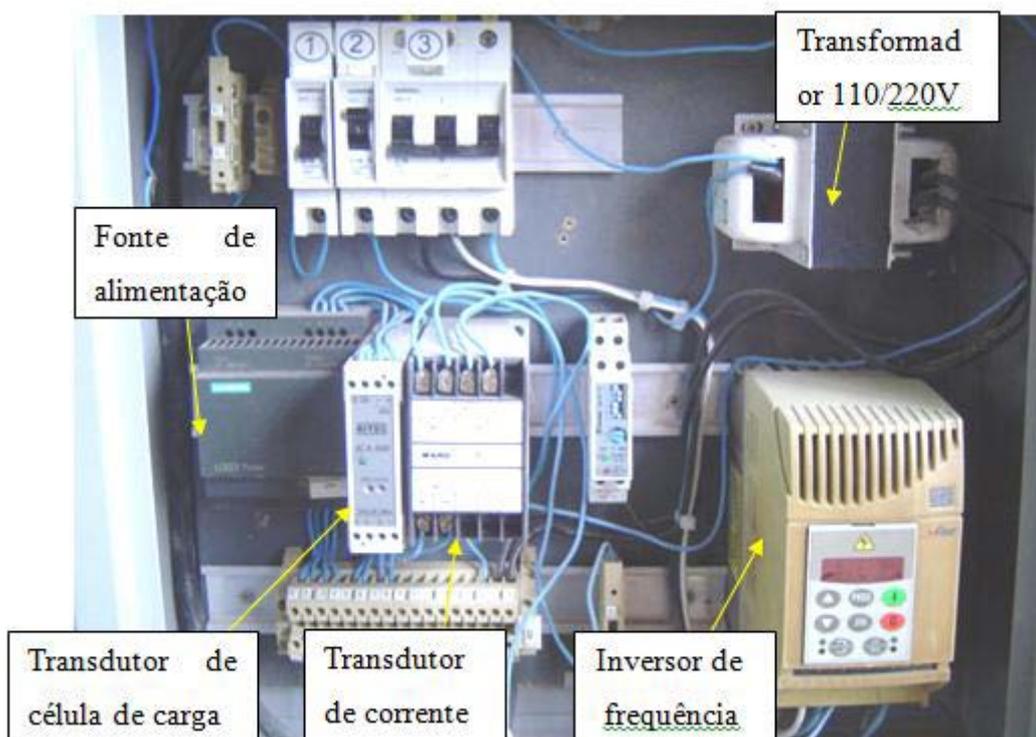


Figura 15-Detalhes do painel elétrico de acionamento da lixadeira



Figura 16-Banco de ensaio com todos os componentes citados

4.5.2. Acondicionamento dos abrasivos

As lixas utilizadas no experimento foram climatizadas e acondicionadas de acordo com a norma NBR 14960/2003.

Colocaram-se as lixas em um armário climatizado para que se pudessem atender as condições ideais correspondentes: 40 – 50% de umidade relativa com 15 – 29°C de temperatura ambiente.

As lixas utilizadas no experimento foram de óxido de alumínio branco (OA- branco) e carbeto de silício preto (SiC-preto) , nas granulometrias de 80, 100 e 120 mesh. O fabricante da lixa corresponde à empresa NORTON abrasivos.

4.6. Variáveis mensuradas no experimento

A seguir serão descritos os procedimentos utilizados nos cálculos e equipamentos empregados para essas variáveis.

4.6.1. Potência consumida no lixamento

Foi calculada por um transdutor de corrente alternada que em função da corrente elétrica de uma das fases do motor, gerou uma saída proporcional de 0 a 10 volts de corrente contínua (VCC), a qual foi armazenada pelo microcomputador, a uma taxa de 400 pontos por segundo.

Por meio da Equação (5) fornecida pelo fabricante foi possível converter o sinal adquirido (em VCC) na unidade de potência (Watts).

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (5)$$

Onde:

P_c = potência consumida, em Watts;

I = corrente alternada de uma das fases, em Ampéres;

U_f = Tensão de uma das fases, em Volts;

F_p = Fator de potência.

Devido o sinal adquirido pelo sistema ter uma saída proporcional em Volts, foi necessário converter o valor de Volts para Ampéres com o propósito de obter o I e aplica-lo na Equação (5). Sendo que, o fabricante do transdutor fornece a Equação (6), para a realização da transformação.

$$I = \frac{U_{cc}}{2} \quad (6)$$

Onde:

I = corrente de uma das fases, em Ampéres;

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

Substituindo o valor da corrente na Equação (5), o valor da tensão de fase do motor da lixadeira (220 V) e o fator de potência (0,92) do motor na Equação (6), têm-se a Equação (7), que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_c = (U_{cc}/2) * 220 * 0,92 * 3^{1/2} \quad (7)$$

4.6.2. Rugosidade superficial

A medição da rugosidade da superfície das amostras foram obtidas por meio do aparelho rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2 μm (Figura 17).

O parâmetro Ra foi o escolhido para avaliar o estado da superfície lixada, por tal parâmetro, não ser influenciado por picos e vales provindos da anatomia da madeira que podem distorcer os resultados.

Estabeleceram-se três pontos de medição de rugosidade ao longo da superfície lixada, de forma aleatória para cada amostra. Então, utilizou a média aritmética dos três pontos como valor representativo da rugosidade da superfície para cada amostra.



Figura 17-Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+

4.6.3. Emissão acústica (EA)

Para a medição do (EA), usou-se um sensor de emissão acústica (piezoelétrico) e um amplificador de sinal com saída retificada em RMS (Root Mean Square), marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, modelo do sensor R15A, modelo do amplificador de sinal 1272-1000.

As características técnicas do módulo de emissão acústica estão apresentadas na Tabela 14. O módulo de emissão acústica utilizado no experimento pode ser observado na (Figura 18).

Tabela 14-Características técnicas do módulo de emissão acústica

Dimensões do amplificador	190,5 x 63,5 x 35 mm
Tensão de alimentação	28 VCC
Corrente de saída	4 – 20 mA
Faixa de constante disponível RMS	50 – 500 mS
Faixa de constante selecionada RMS	50 mS
Faixa de ganho disponível	0 – 40 dB
Faixa de ganho selecionada	40 dB
Massa do amplificador	350 g
Material do invólucro do sensor	Aço inox
Grau de proteção	IP 54
Frequência do sensor R15A	150 kHz
Faixa de temperatura nominal	0 até +50 °C



Figura 18-Módulo de emissão acústica, sensor (1) (2) e amplificador (3)

O sinal disponibilizado pelo amplificador corresponde a um valor em RMS ou valor quadrático médio o qual é um valor retificado do sinal de emissão acústica em intervalos de tempo (WEBSTER et al., 1996). Esse sinal elétrico retificado corresponde à unidade VCC e é amplamente empregado nessa grandeza para expressar a emissão acústica, não havendo transformações para outras unidades como é o caso da força de lixamento e potência consumida.

4.6.4. Vibração

Usou-se um sensor de vibração da marca Vibro Control modelo TV-100, para a captação da vibração. O dispositivo foi conectado a placa de aquisição de dados de forma que todos os dados coletados durante o ensaio fossem armazenados para serem analisados.

Os valores obtidos em VCC foram convertidos depois para valores de velocidade em mm/s como mostra a Equação 9.

$$V = (U_{cc} \times 25) / 8 \quad (9)$$

Onde:

U_{cc} = sinal do sensor de vibração

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Densidade aparente e densidade básica

O valor médio da densidade aparente e o desvio padrão das amostras de *Pinus elliottii*, foram 355,91 kg/m³ e 64,97 kg/m³

Segundo dados do IPT, a densidade do *Pinus elliottii* deve ser próxima a 400 kg/m³, e segundo Ferreira (2003), 420 kg/m³.

Entretanto, o valor da densidade do pinus obtida foi um pouco abaixo do normal, isto pode ser influenciado pelas características anatômicas presentes no material, como o alto teor de madeira juvenil nos corpos de prova utilizados os quais proporcionam menor densidade.

O valor médio da densidade aparente e o desvio padrão foram respectivamente 463,83 kg/m³ e 59,30 kg/m³.

Com relação à densidade aparente, o esperado para o *Pinus elliottii* era de 480 kg/m³, porém este valor é considerado para os ensaios de lixamento.

5.2. Variáveis de saída

Os gráficos a seguir comparam o comportamento das variáveis de lixamento para as lixas de OA-branco e SiC-preto, nas granulometrias de 80, 100 e 120 mesh nas condições de lixa C1, C2 e C3.

Os resultados serão discutidos em meio a três vertentes:

(1^a) Análise do comportamento das lixas de OA-branco e SiC-preto nas variáveis de saídas captadas nos ensaios de : potência, emissão, vibração e rugosidade.

(2^a) Análise da influência das condições da lixa (C1, C2 e C3) de ambos os grãos abrasivos nas variáveis de saída.

(3^a) Análise da influência da granulometria (80, 100 e 120 mesh) de ambos os grãos nas variáveis de saída.

Para isto, foram realizados com os dados obtidos pelo experimento, testes estatísticos. Sendo estes, o teste da distribuição normal e o t de Student.

Primeiramente, fez-se o teste da normalidade para constatar se os conjuntos das variáveis de saída estavam distribuídos normalmente, ou seja, se os valores estavam

concentrados simetricamente em torno da média. Em seguida, realizou-se o test-t de Student com o intuito de testar a igualdade das médias entre os grãos.

Alguns conjuntos de dados não apresentaram distribuição normal, como informados nas Tabelas (15 a 19). Entretanto, as médias entre os grãos para a mesma condição de lixa e granulometria diferiram-se. Apenas para alguns conjuntos da rugosidade, não houve diferenciação entre as medias dos grãos, isto para a condição 80 e 100 mesh nas condições C2 e C3.

Contudo, deve se levar em consideração a heterogeneidade do material lixado, no caso a madeira. Pois, a estrutura anatômica da peça influência nas variáveis analisadas. Há uma diversidade estrutural em cada peça lixada. Logo, é possível, que células da madeira como lenho tardio, nós, cerne, presentes em maior quantidade na amostra provoquem o aumento dos valores das variáveis. Proporcionando então, o aumento das médias e do desvio padrão do conjunto analisado, podendo assim, não apresentar uma distribuição normal perante os outros dados.

5.3. Potência consumida

Após a realização das análises estatísticas verificou-se que os conjuntos presentes na tabela abaixo não apresentaram distribuição normal.

Tabela 15-Conjuntos que não apresentaram distribuição normal

Condições	Granulometria (mesh)	Tipo de grão
C1	100 e 120	OA- branco
C2	100	SiC- preto
	120	OA- branco
C3	100	OA-branco
	120	SiC- preto

5.3.1. Análise da potência entre os grãos abrasivos

Ao atentar-se para os gráficos (Figuras 19, 20 e 21), observa-se que a lixa nas condições de desgaste (C2 e C3) de OA- branco tendeu a consumir maior potência em relação à lixa de SiC- preto na mesma condição e granulometria. Sendo que para todas as

granulometria de 120 mesh, o OA- branco apresentou maior potência em relação ao SiC- preto.

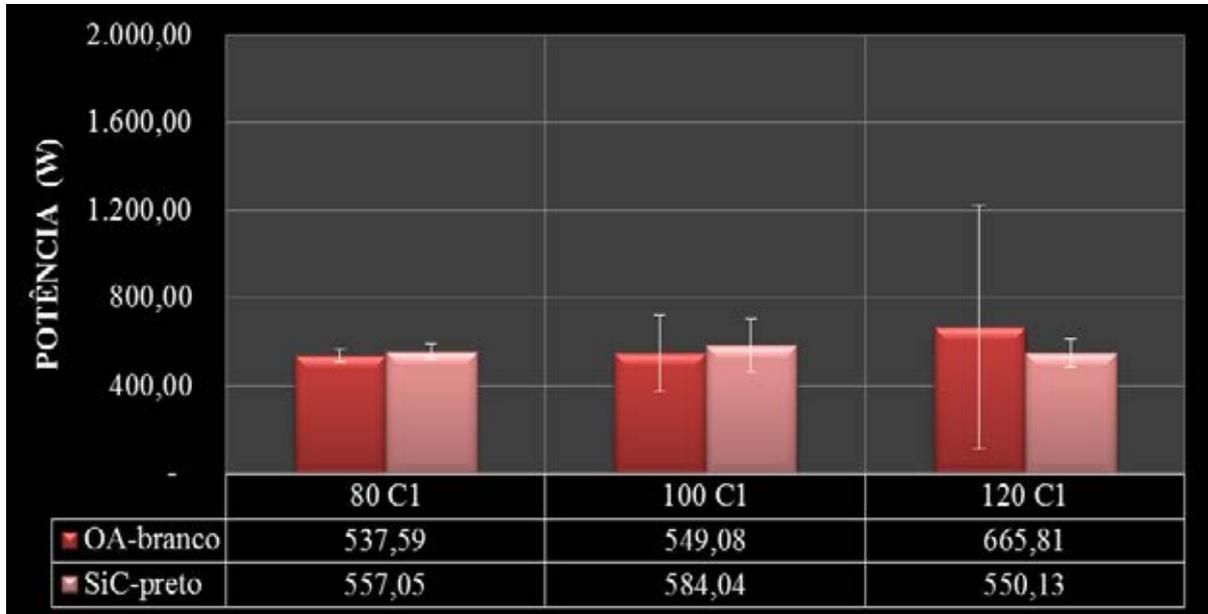


Figura 19- Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1)

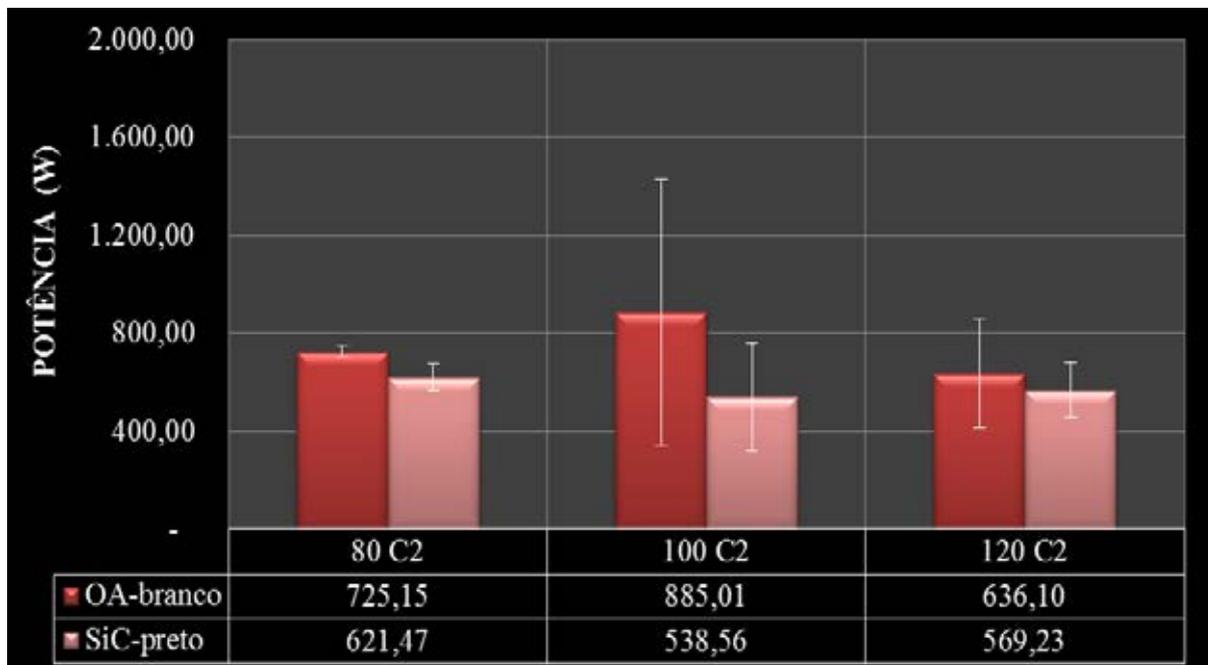


Figura 20-Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição desgastada por 4min com barra de metal (C2)

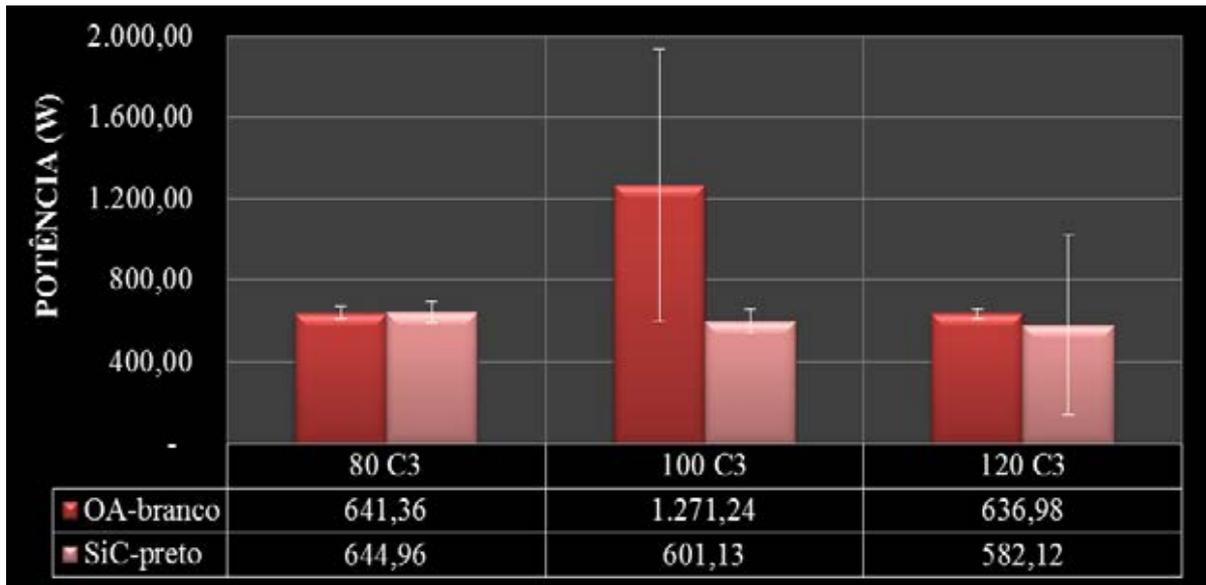


Figura 21- Gráfico comparando a potência média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 8min com barra de metal (C3)

O gráfico a seguir (Figura 22), demonstra com mais clareza tal tendência.

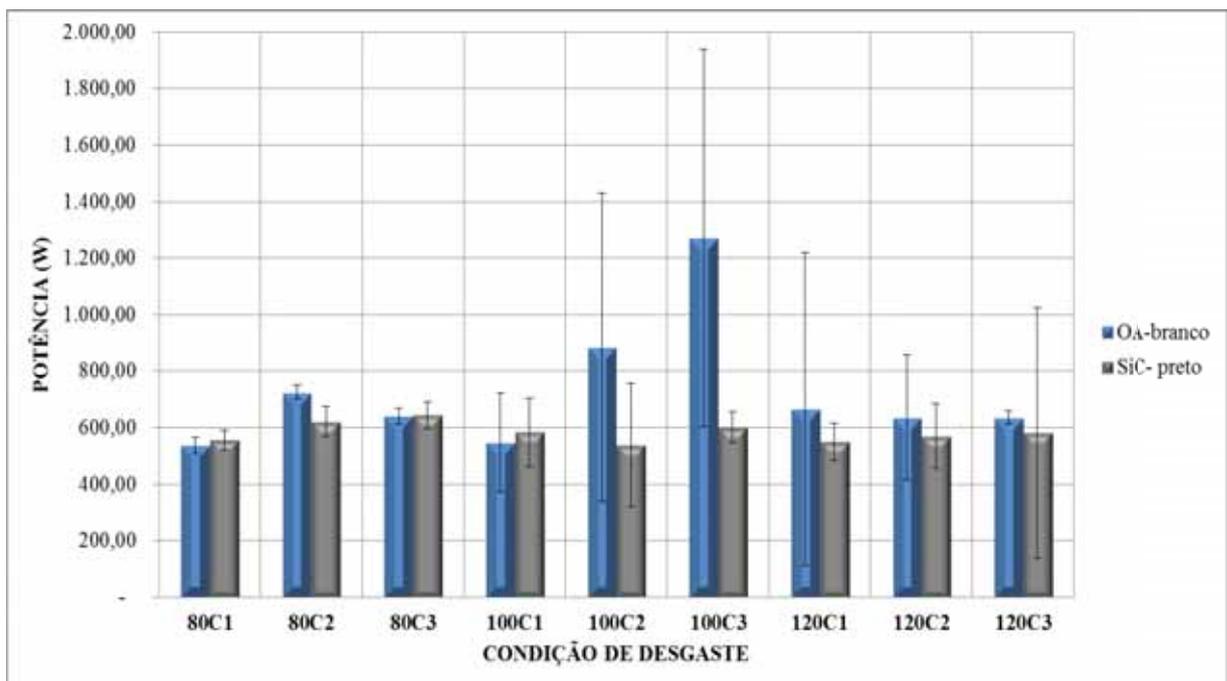


Figura 22-Gráfico comparando o comportamento dos grãos em relação à potência

A atuação maior da potência nas lixas desgastadas (C2 e C3) para os grãos de OA-branco em relação ao SiC- preto, deve-se a característica do material.

Pois, devido à tenacidade do OA- branco, houve maior resistência para fraturar os seus grãos, os quais se conservaram por mais tempo, mesmo em maiores condições de

desgaste da lixa. Enquanto, o SiC- preto por conta da sua friabilidade e consequente fragilidade desgastou-se mais facilmente conforme as condições de desgaste da lixa.

Isto explica também, o comportamento do SiC-preto em apresentar menor potência de lixamento para todas as condições de lixa na granulometria de 120 mesh. Porque, com a diminuição do grão abrasivo por conta da granulometria, aumenta-se a fragilidade do abrasivo tendendo a desgastar-se mais facilmente.

Segundo, a Norton- abrasivos (2012), os grãos de carbeto de silício são mais afiados. Por isso, efetuam o processo de abrasão mais rápido e produzem padrões de riscos mais finos na maioria das superfícies. Sendo que, os grãos de óxido de alumínio tendem a durar mais e são mais agressivos em certos tipos de aplicação, como em peças de aço endurecido.

5.3.2. Comportamento da potência em relação ao desgaste da lixa

Analisando os gráficos (Figuras 23, 24 e 25), nota-se que os valores da potência dissipada para ambos os grãos abrasivos com a lixa na condição nova (C1) tendeu a gastar menor potência de lixamento, em relação às lixas nas condições de desgaste (C2 e C3), para a mesma granulometria.



Figura 23-Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 80 mesh

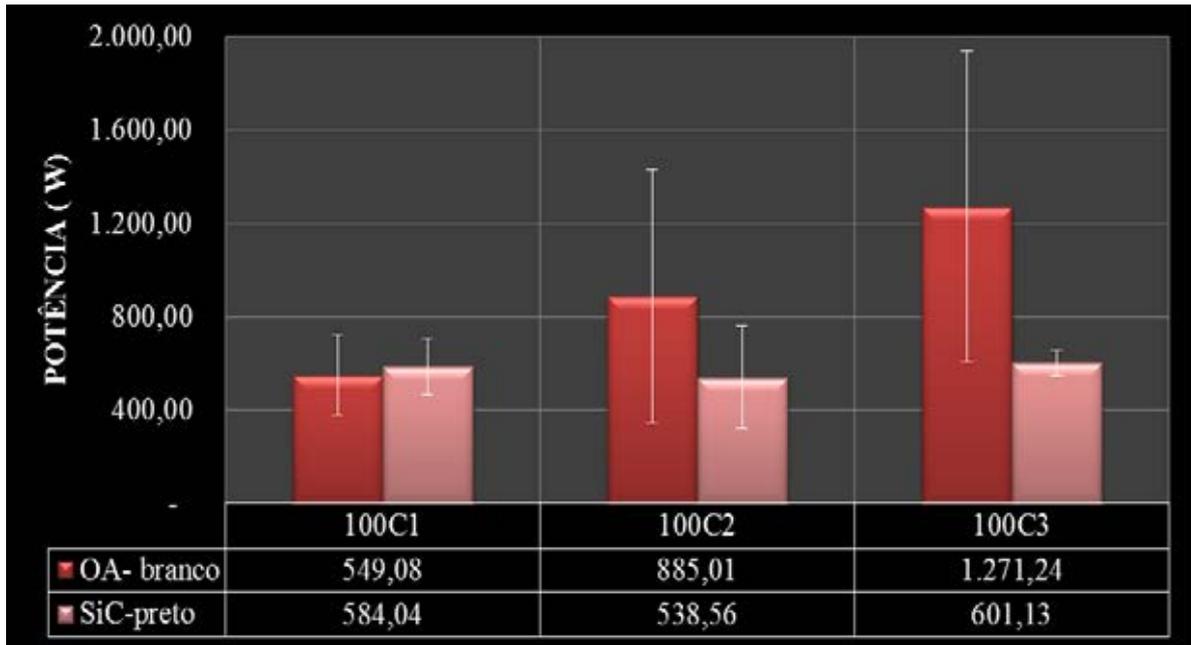


Figura 24-Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 100 mesh.

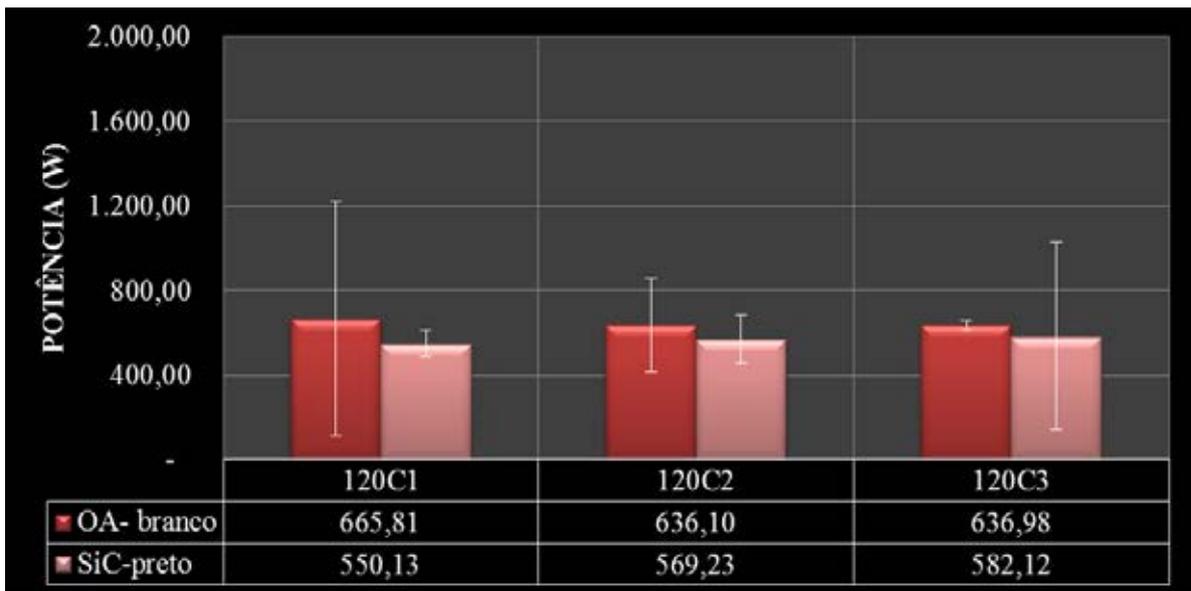


Figura 25-Gráfico relacionando a potência de lixamento com as condições da lixa granulometria de 120 mesh

Por meio dos gráficos a seguir, (Figuras 26 e 27) pode-se visualizar com mais nitidez tal tendência. Este comportamento é dito como tendência, pois os dados do OA- branco na granulometria de 120 mesh para as condições C1 e C2, não apresentaram distribuição normal, assim como a lixa de SiC- preto 100C2 e 120C3

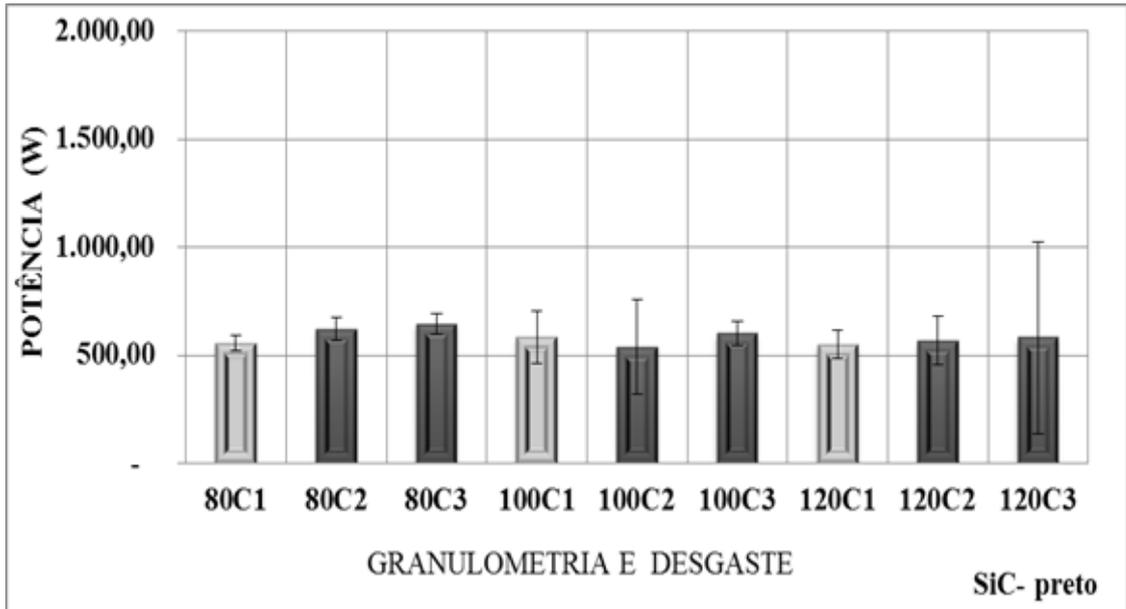


Figura 26-Comportamento da potência do SiC-preto em relação à lixa nova (C1) e as desgastadas (C2 e C3)

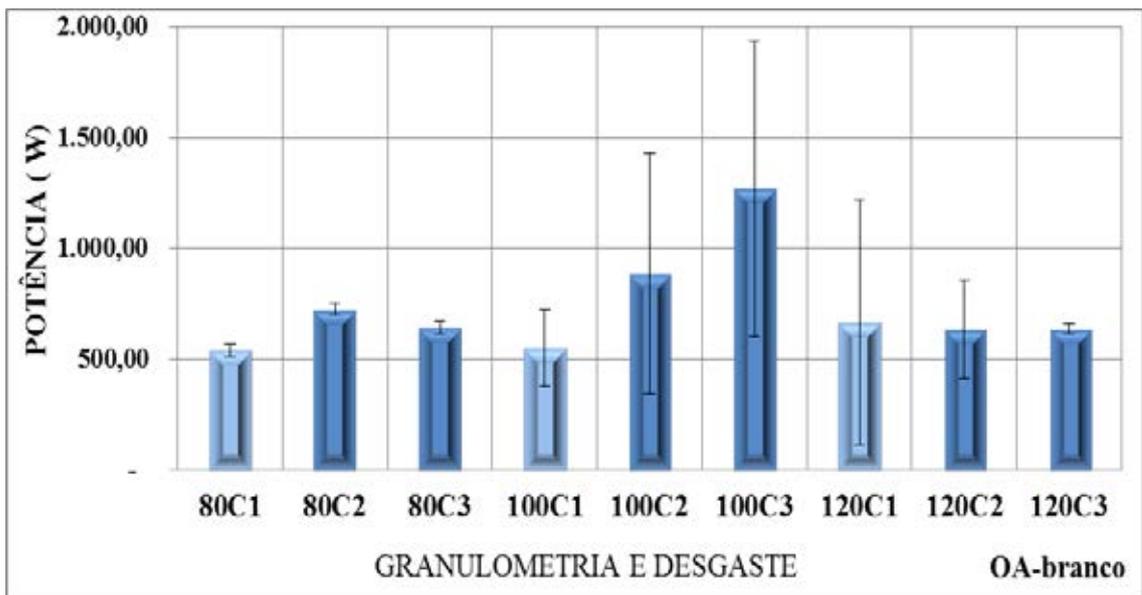


Figura 27-Comportamento da potência do OA-branco em relação à lixa nova (C1) e as desgastadas (C2 e C3)

O consumo de energia maior para as lixas desgastadas pode ser explicado, pelo fato, que durante o processo de lixamento os grãos abrasivos se desgastaram provocando à perda da afiação dos grãos. Com isto, ocorre um aumento nos esforços de remoção do material, originando deformações na sua superfície, ao invés de sua efetiva remoção. E por meio do aumento destes esforços e das deformações, ocorre consequentemente o aumento da força tangencial de corte, provida por maiores atritos do topo do grão abrasivo com a superfície do material, acarretando então, no maior consumo da potência (ALVES et. al., 2009).

Tal explicação pode ser visualizada graficamente por meio das Figuras 28 e 29 as quais mostram a relação entre a potência e o desgaste da lixa. Sendo possível observar o aumento da potência conforme o aumento do desgaste da lixa.

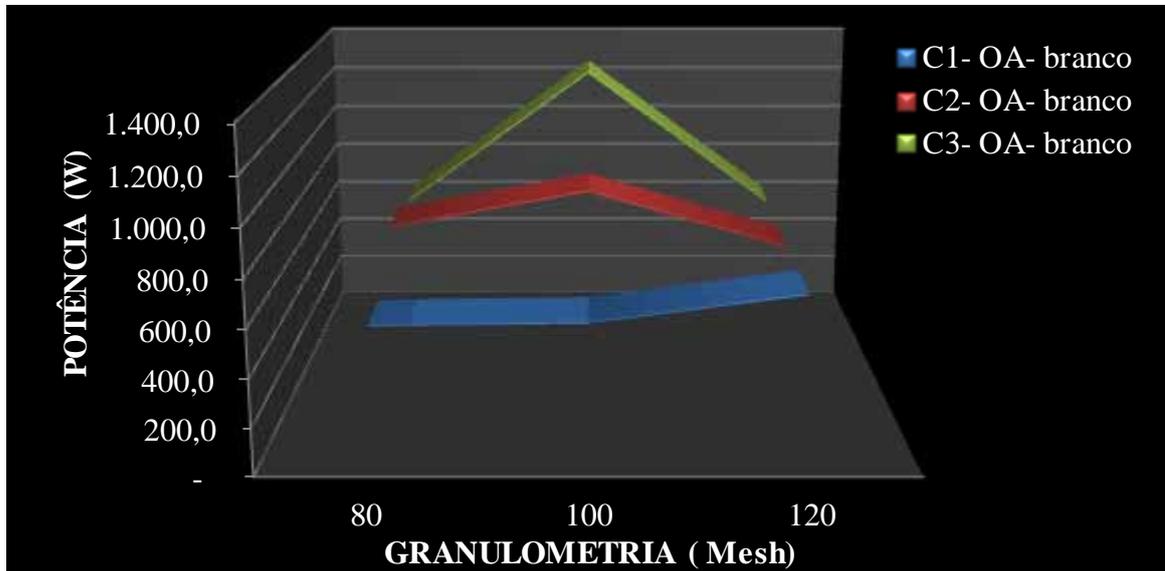


Figura 28-Gráfico demonstrando o comportamento da potência em relação às condições da lixa para o OA-branco.

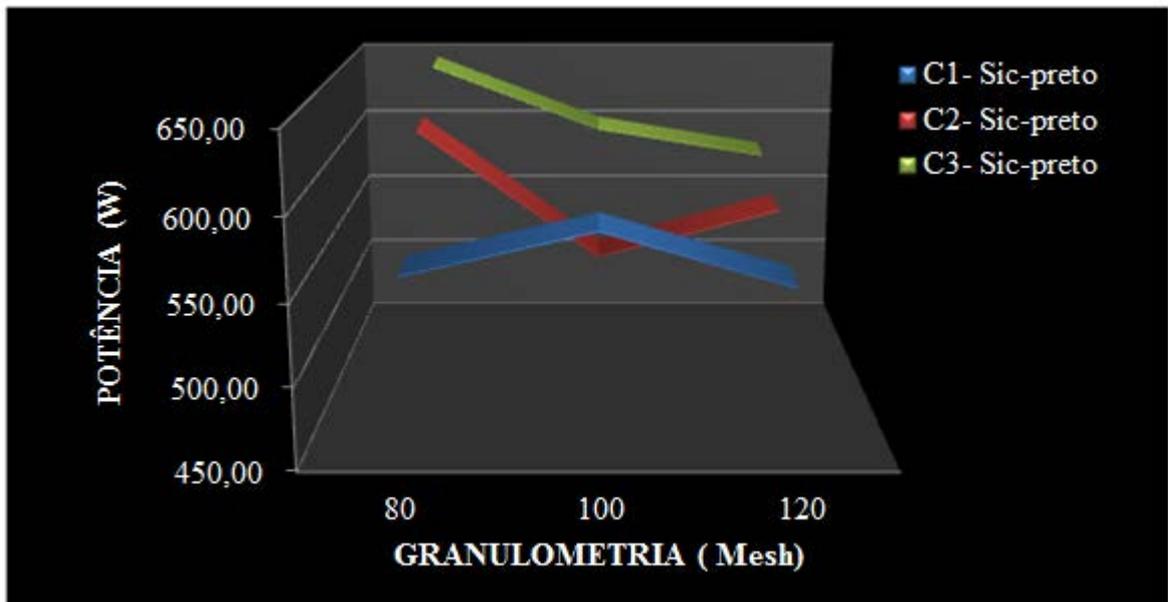


Figura 29-Gráfico demonstrando o comportamento da potência em relação às condições da lixa para o SiC-preto

É válido ressaltar que uma das consequências da perda de afiação do grão, é o empastamento da lixa, ou seja, o acúmulo do material lixado por entre os grãos abrasivos (Figura 30), exigindo maior energia do sistema para usinar a peça.

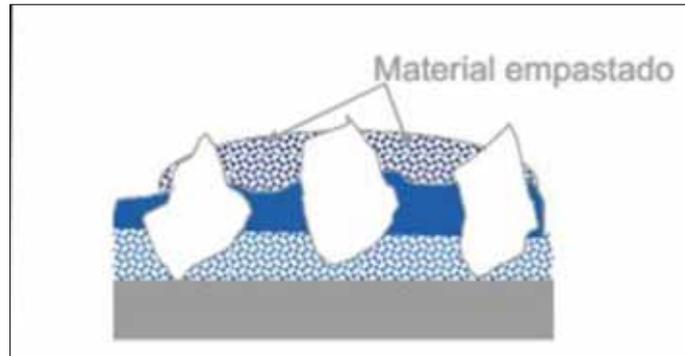


Figura 30-Ilustração do material empastado (NORTON, 2012).

5.3.3. Comportamento da potência em relação à granulometria

Ao comparar a potência em relação à granulometria para os grãos abrasivos, percebe-se um comportamento bem destoante entre eles. Enquanto, o grão de OA-branco tende a apresentar um aumento da potência com o aumento da granulometria, a lixa de SiC-preto tende a diminuir, principalmente na condição (C3).

Ressalta-se que o material lixado é a madeira, portanto leva-se em consideração a influência da estrutura anatômica na variável potência. Sendo assim, o aumento da potência na condição de desgaste (C3) na granulometria de 100 mesh para o OA- branco, pode ter ocorrido por haver na amostra maior quantidade de cerne, lenhos tardios ou principalmente algum nó, que pela sua estrutura celular exige maior energia para o processo de lixamento. Interferindo consequentemente, na tendência proposta. Assim, como a lixa de SiC- preto granulometria de 100 mesh condição C2-(100C2) , que destoou a tendência, possivelmente pela heterogeneidade do material lixado.

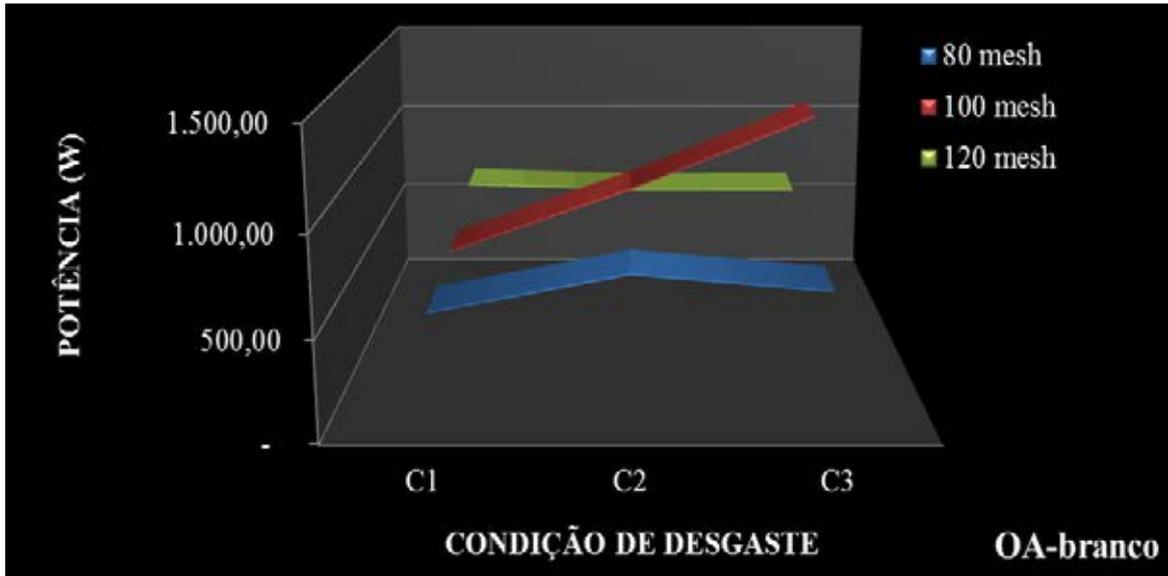


Figura 31-Comportamento da potência em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.

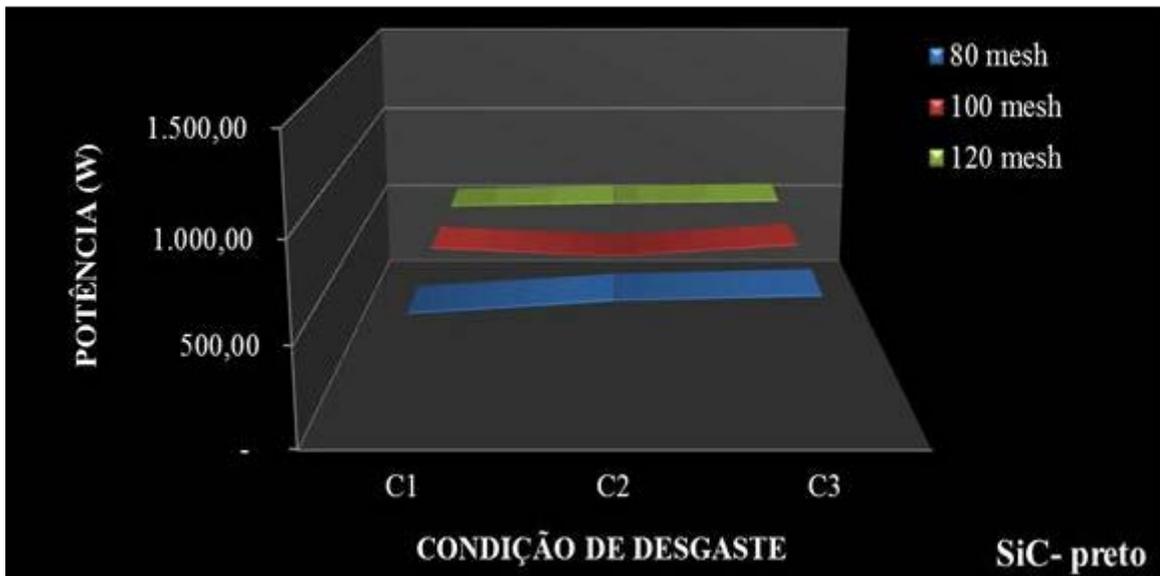


Figura 32-Comportamento da potência em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.

Nota-se que quanto menor o tamanho do grão, ou seja, maior granulometria, menor a potência consumida pelo sistema para o desgaste da lixa de SiC- preto. Isto ocorre, porque o grão torna-se mais frágil à quebra, devido a sua diminuição. Sendo assim, com o aumento da granulometria, a tendência é diminuir a potência para a ruptura dos grãos abrasivos.

Diferentemente do OA-branco, que por ser tenaz resiste à quebra do grão e conseqüentemente ao desgaste, portanto, com o aumento da granulometria ocorre maior distribuição do grão por polegadas da lixa, aumentando a área de atrito entre substrato e grão, provendo o maior consumo de energia.

5.4. Emissão

Após as análises estatísticas, verificou-se que os conjuntos na Tabela 17, não apresentaram distribuição normal, como apresentados a seguir.

Tabela 15-Conjuntos que não apresentaram distribuição normal

Condições	Granulometria (mesh)	Tipo de grão
C1	120	OA- branco
C2	100, 120	
C3	80, 100 e 120	

5.4.1. Análise comparativa da emissão entre os grãos abrasivos

Para a lixa de OA- branco, percebe-se uma tendência do grão em ter maior emissão em relação ao SiC- preto para a mesma granulometria e condição de lixa. (Figuras: 33, 34 e 35)

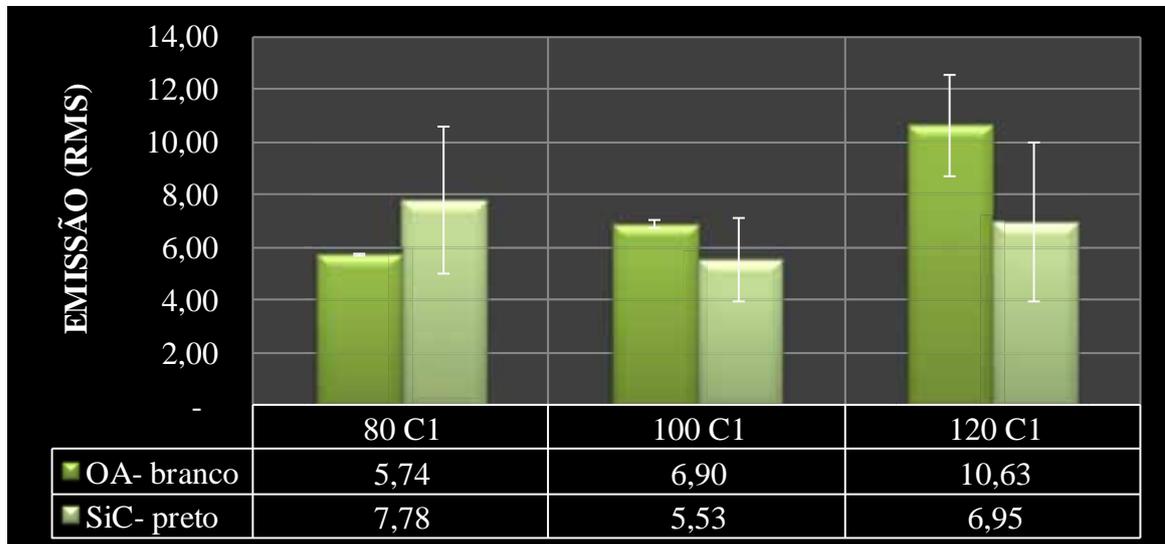


Figura 33-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa nova

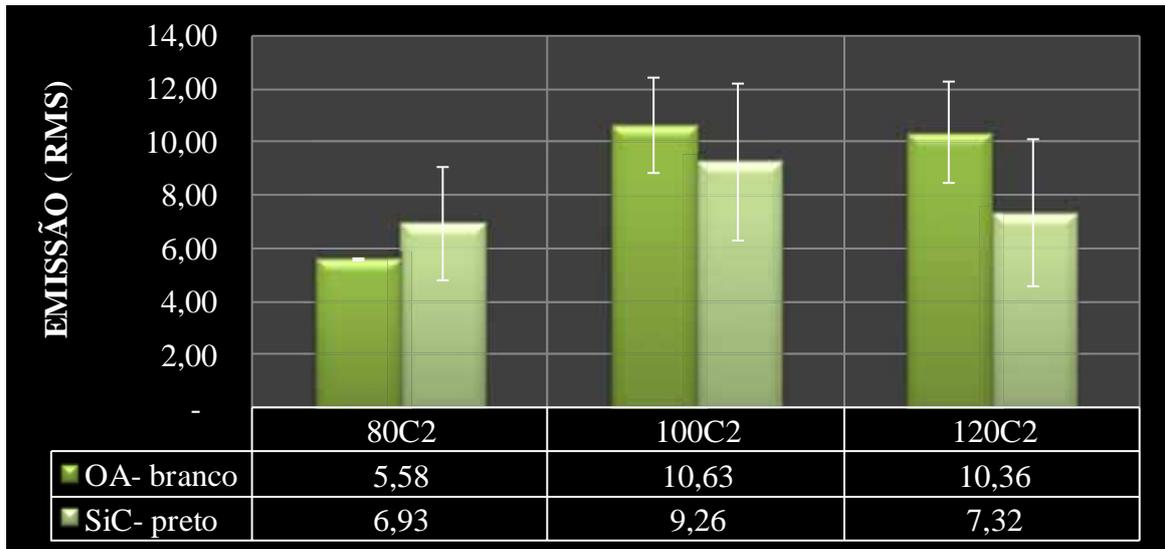


Figura 34-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa na condição C2

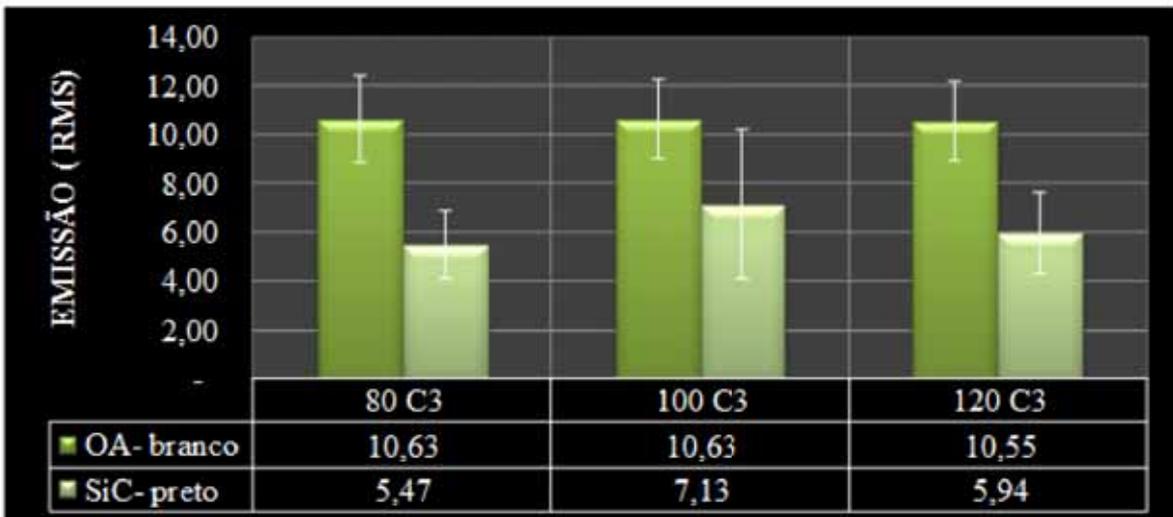


Figura 35-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa na condição C3.

Esta tendência pode ser explicada devido à geometria dos grãos, que influenciam no ângulo de ataque de corte a superfície do material atritado.

Segundo Naussbaum (1986), ferramentas abrasivas geralmente apresentam ângulo de ataque fortemente negativo, de tal forma que a maior parte da energia de corte é transferida para a peça em forma de deformação plástica e elástica. Os grãos abrasivos que apresentam configurações mais ou menos esféricas, apresentam ângulos de ataque negativos em todas as orientações possíveis. Já os grãos com formas muito angulosas podem apresentar alguns

pontos de corte com ângulos de ataque de valor zero ou até positivos, porém estes grãos são relativamente frágeis devido às seções transversais de pouca espessura.

Portanto, devido ao fato, do OA- branco apresentar geometria esférica como mostrado na Figura 5, ocorre na superfície da peça maior deformação dificultando até mesmo a remoção do material lixado. Com isto, deformações plásticas e elásticas ocorrem com mais assiduidade. Diferentemente, do grão de SiC- preto, o qual tem sua configuração mais angulosa (Figura 5)

5.4.2. Comportamento da emissão em relação ao desgaste da lixa

Observando os gráficos a seguir (Figuras 36 e 37), verifica-se que OA-branco aumentou o valor da emissão conforme o aumento do desgaste da lixa. Enquanto, o SiC-preto aumentou a emissão para as lixas desgastadas em relação a lixa nova (C1), porém o aumento não tendeu a crescer conforme o aumento do desgaste da lixa, pois dentre as lixas desgastadas a (C2) apresentou maior emissão para todas as granulometrias do que a condição (C3).

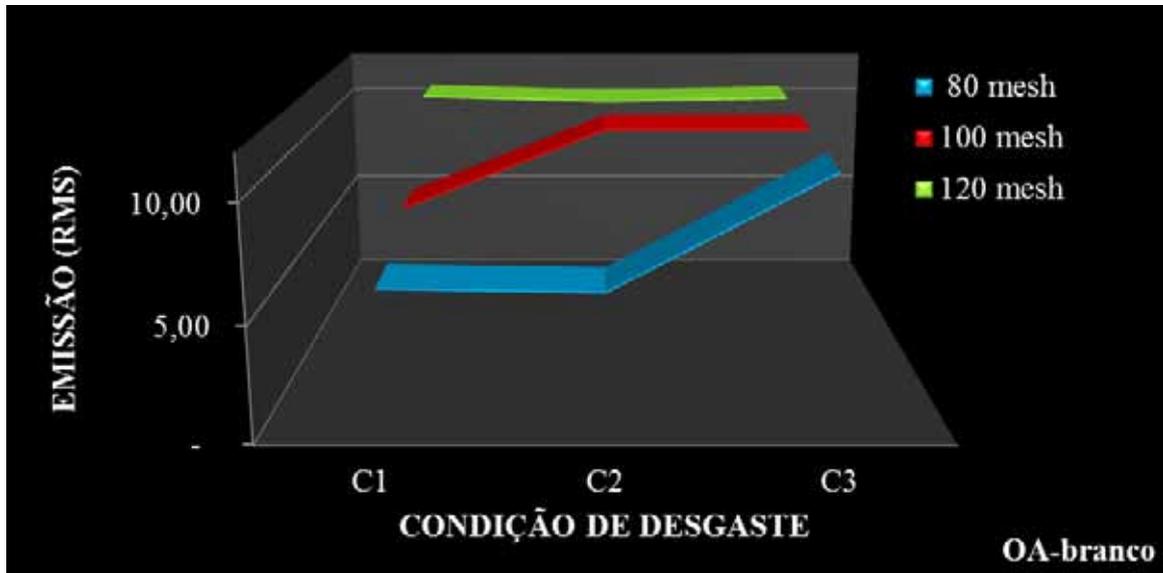


Figura 36-Gráfico demonstrando o comportamento da emissão em relação à granulometria da lixa para o OA- branco

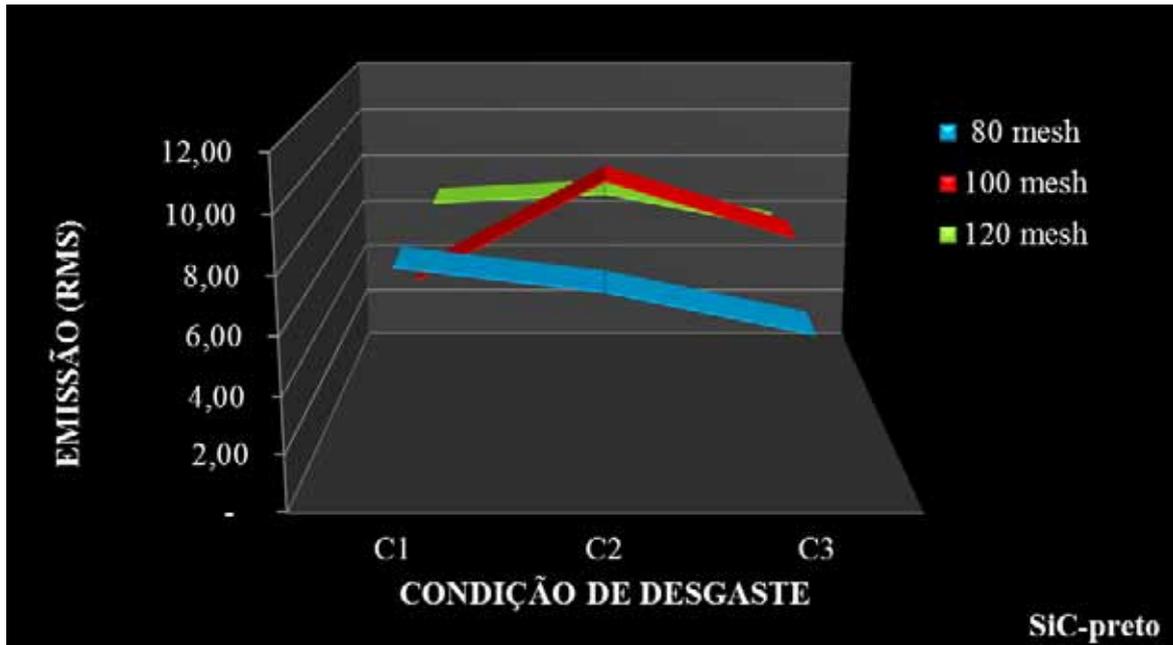


Figura 37-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.

O OA- branco é um material com maior tenacidade em relação ao SiC-preto, logo resiste a impactos o que lhe garante possuir maior capacidade em adquirir deformações, tornando-se um material com elasticidade. Enquanto, pela friabilidade e formato geométrico anguloso o SiC- preto, apresenta menor elasticidade, desgastando o grão mais facilmente e decaindo o valor da emissão nas condições C3 na qual ocorre o maior desgaste da lixa.

Segundo Nussbaum (1986), a tenacidade é a resistência ao impacto do material ou também a propriedade de possuir zona elástica e zona plástica. Um material frágil é aquele que não possui zona plástica, ou seja, submetido a esforço, romperá no limite elástico admitindo menores tensões.

Percebe-se, então, a maior conservação do grão de OA-branco em relação ao SiC-preto, que tendeu a aumentar a emissão conforme o desgaste da lixa, pois realizou maiores deformações plásticas e elásticas durante a formação do cavaco.

5.4.3. Comportamento da emissão em relação à granulometria

Ao comparar a emissão em relação à granulometria por meio dos gráficos (Figuras 38 e 39) percebe-se que ambos os grãos tendem a ter o mesmo comportamento: aumentarem a emissão conforme o aumento da granulometria.

Entretanto, a lixa de 100 mesh do SiC-preto destoou de tal tendência, podendo isto ser, ocasionado por questões anatômicas das peças lixadas.

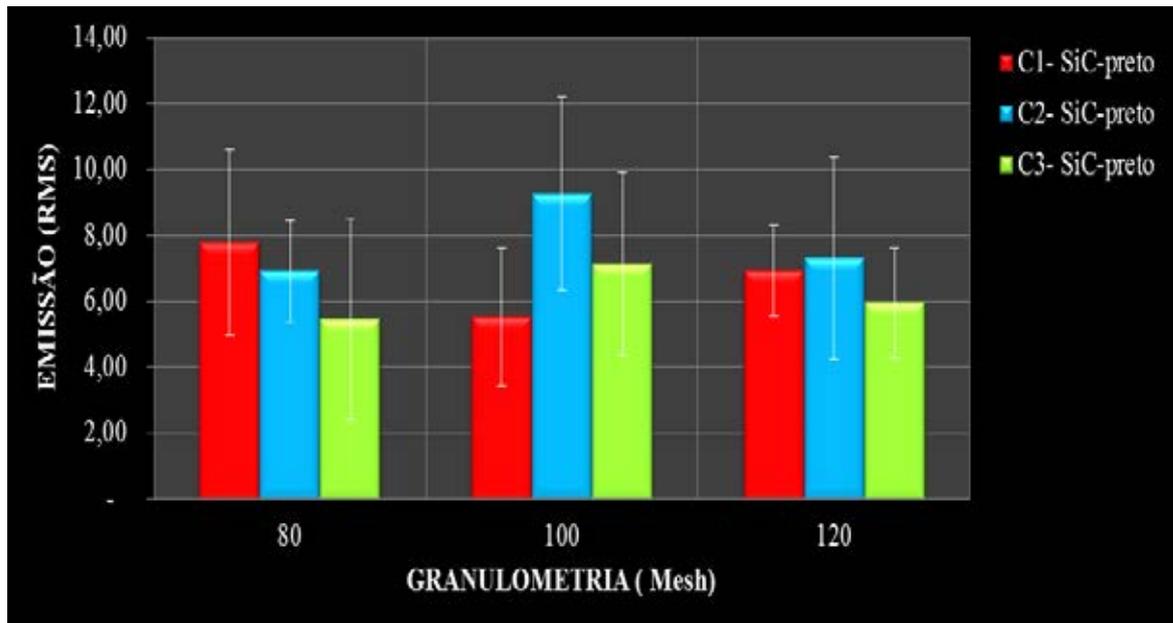


Figura 38-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.

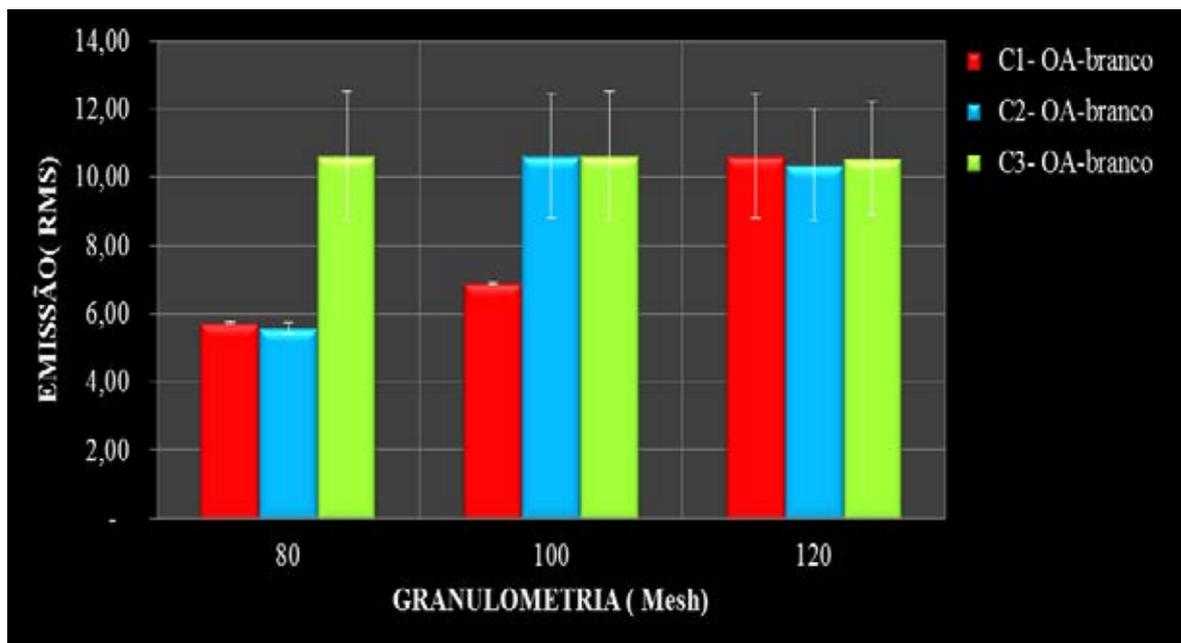


Figura 39-Comportamento da emissão em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.

Isto ocorreu, porque quanto maior a granulometria, maior a quantidade de grãos por polegada da lixa, ou seja, aumenta a superfície de contato entre grãos abrasivos e a peça, gerando maior força de atrito para promover o desgaste. E devido ao aumento da força aplicada, surgem maiores deformações tanto plásticas quanto elásticas captadas pelo sensor.

5.5. Vibração

A tabela abaixo mostra quais os dados não apresentaram distribuição normal, conforme análise estatística do teste da normalidade.

Tabela 16-Conjuntos que não apresentaram distribuição normal

Condições	Granulometria (mesh)	Tipo de grão
C1	80 e 120	OA- branco
C2	100	SiC- preto
	120	OA- branco
C3	100	OA-branco

5.5.1. Análise da vibração entre os grãos abrasivos

Analisando os gráficos (Figuras 40, 41 e 42) pode-se observar que a lixa de SiC- preto apresentou maior valor de vibração em relação ao OA- branco, para todas as condições e granulometrias.

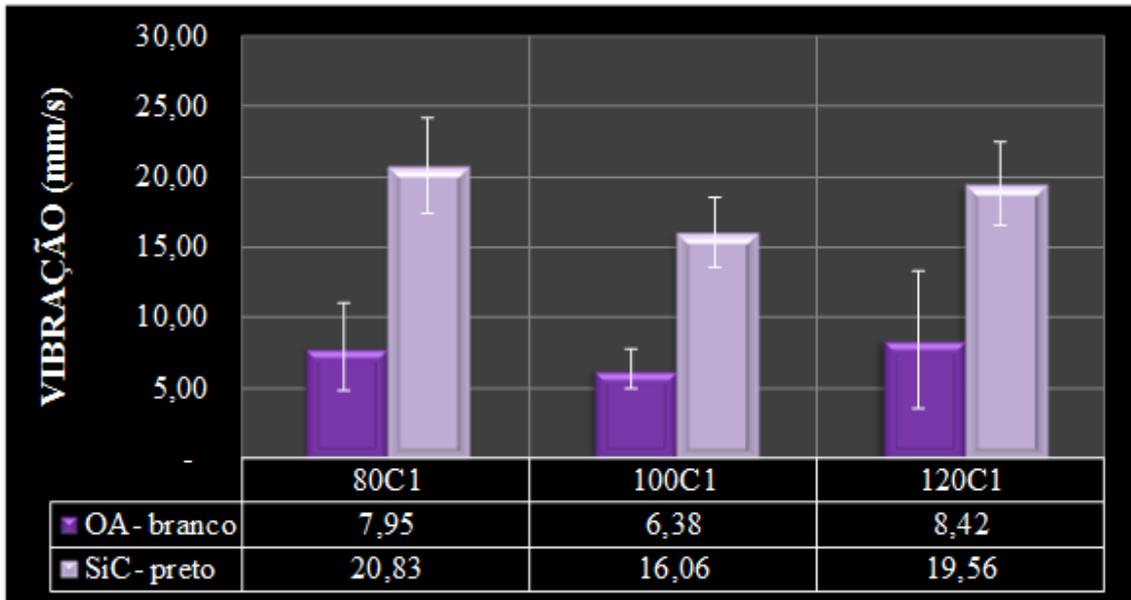


Figura 40-Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1)

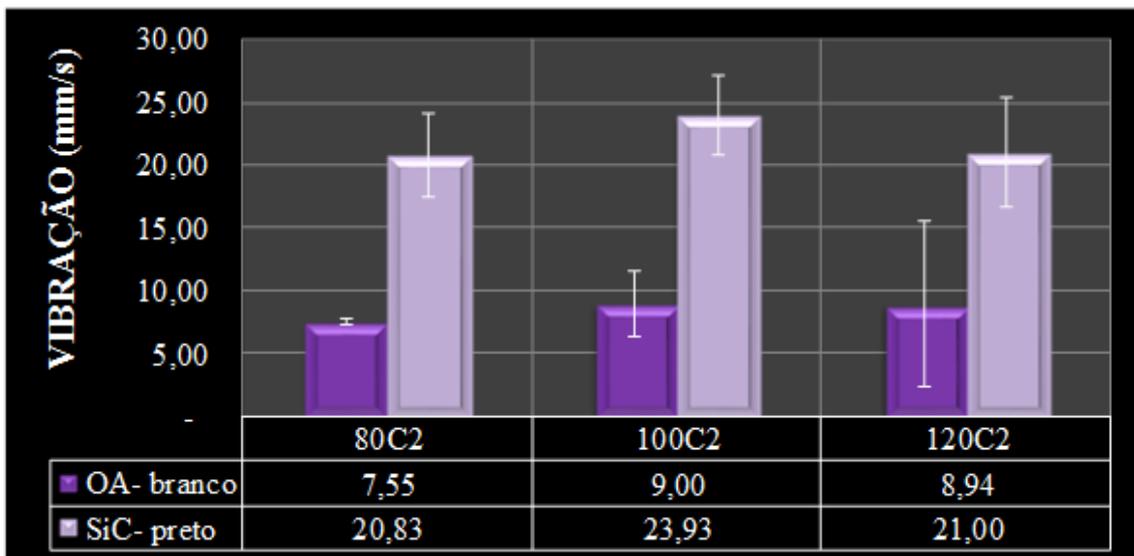


Figura 41-Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 4min. com barra de metal (C2)

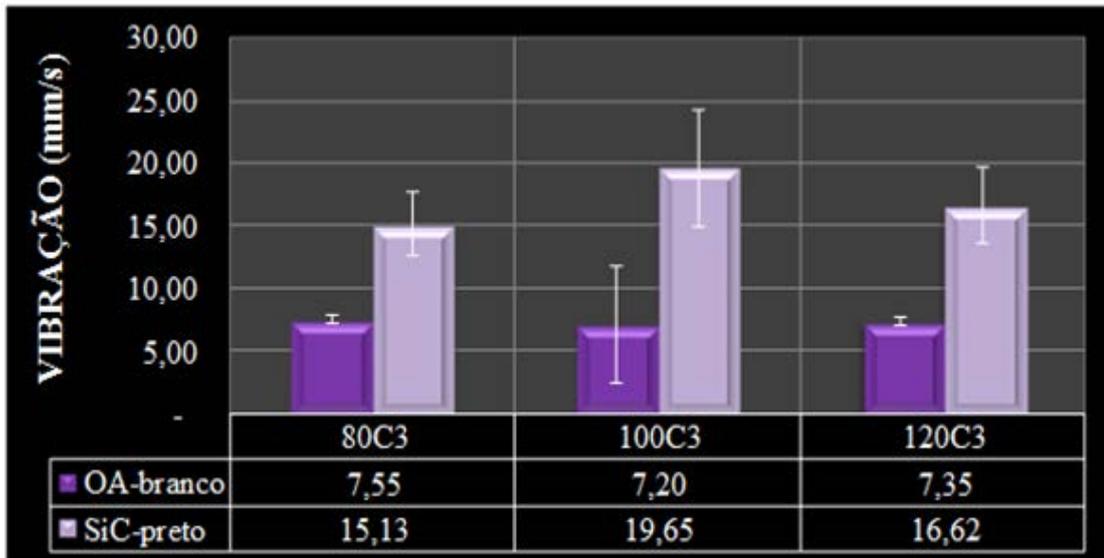


Figura 42-Gráfico comparando a vibração média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 4min (C2)

Segundo (Wolfenden, 1990), a energia adquirida pela estrutura quando provocado o impulso, é dissipada na forma de movimento vibratório cuja natureza depende da geometria, da densidade e das propriedades elásticas do material.

A explicação para este resultado baseia-se na propriedade elástica do material. Se comparar o comportamento dos grãos em relação à emissão e a vibração, nota-se que ocorreu uma inversão. Visto que para a emissão, o OA- branco tendeu a apresentar maiores valores em relação ao SiC- preto, enquanto para a vibração, ocorreu o contrário.

Pois, sendo o OA-branco um material cuja elasticidade é maior, logo absorveu maior quantidade de energia para promover a deformação, liberando menor energia para o sistema. Ato diferentemente realizado, pelos grãos de SiC- preto que devido a sua menor ductilidade, rompeu na zona elástica provocando maior oscilação no sistema.

5.5.2. Comportamento da vibração em relação ao desgaste da lixa

Comparando o comportamento de ambos os grãos (Figuras 43, 44 e 45) para a mesma granulometria, nota-se que o OA- branco não variou significativamente o valor da vibração com as condições de lixa. Enquanto, que o SiC- preto oscila os valores mostrando um acentuado declínio da vibração com a lixa na condição de desgaste C3.

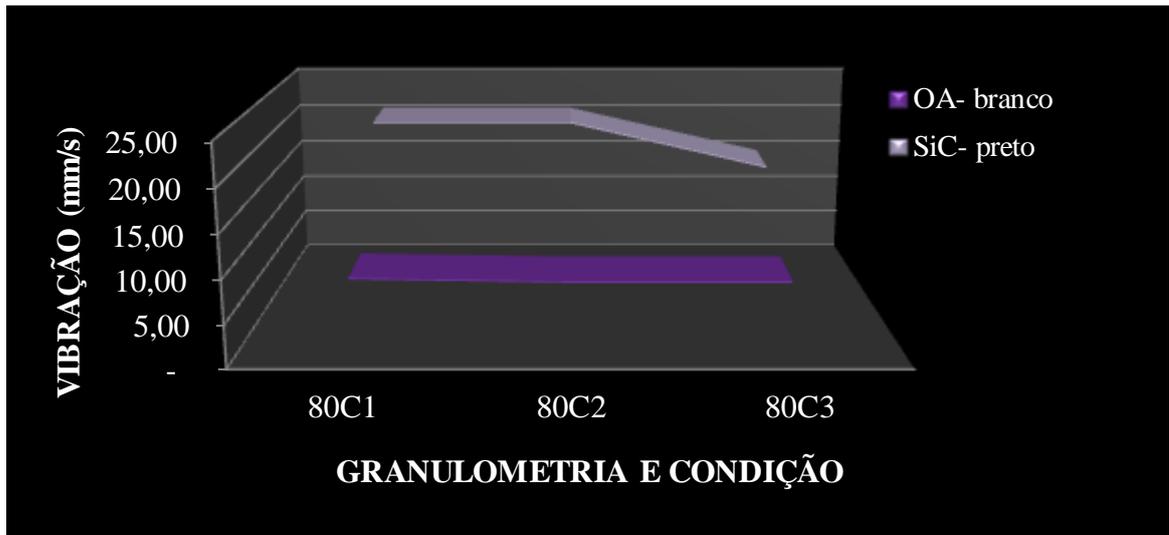


Figura 45-Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 80 mesh

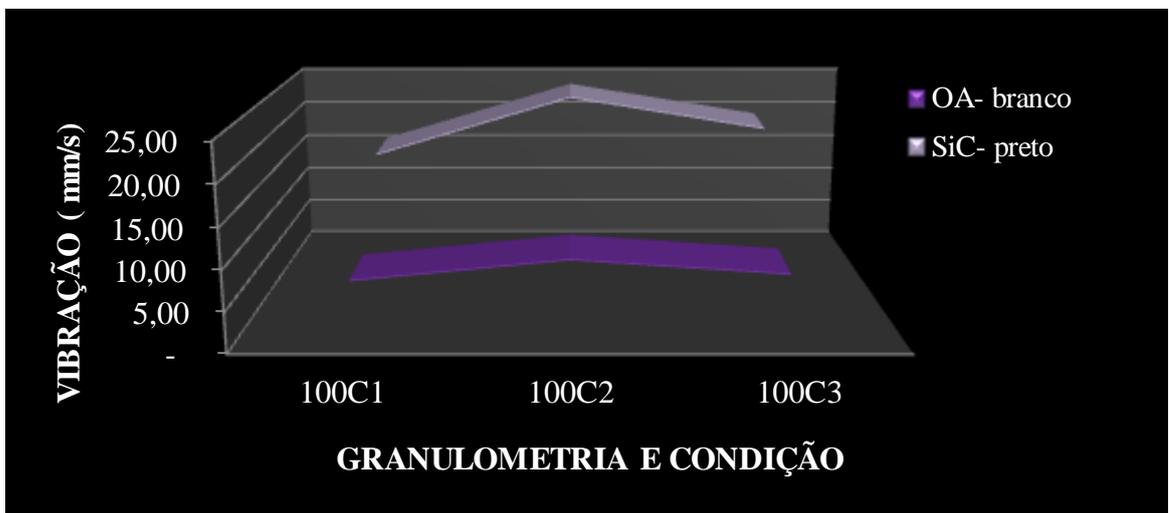


Figura 44-Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 100 mesh

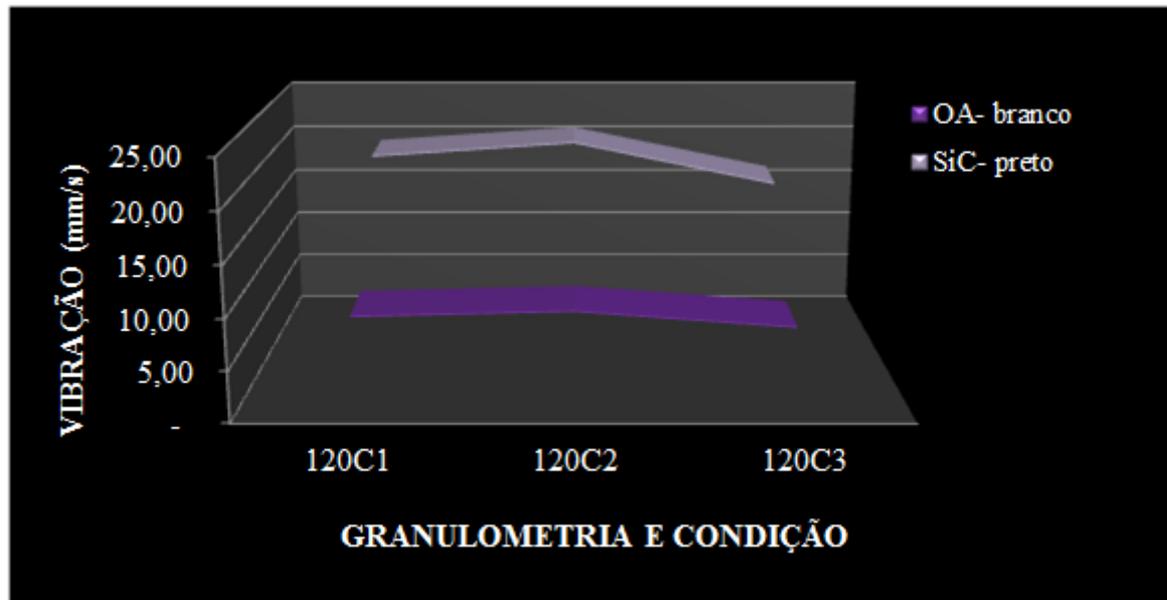


Figura 46-Gráfico relacionando a vibração de lixamento com as condições da lixa na granulometria de 120 mesh

Este resultado é consequência da durabilidade do OA- branco em relação à friabilidade do SiC- preto. Pela sua resistência ao corte, provida pela tenacidade, o grão de OA- branco conserva-se por mais tempo, revelando uma aparente constância, oscilando menos o sistema.

Enquanto, o SiC- preto devido a sua fragilidade, oscila o sistema de acordo com a ruptura dos grãos até diminuí-lo, ocasionando um declínio considerável da vibração quando os grãos se encontram em maior situação de desgaste (C3).

Contudo, nota-se um comportamento semelhante entre os grãos abrasivos ao analisar as Figuras 47 e 48. Porque se vê, que a lixa na condição nova (C1) apresentou menor vibração em relação às desgastadas (C2 e C3). E dentre as desgastadas a condição C2 tendeu apresentar maior vibração em relação a C3.

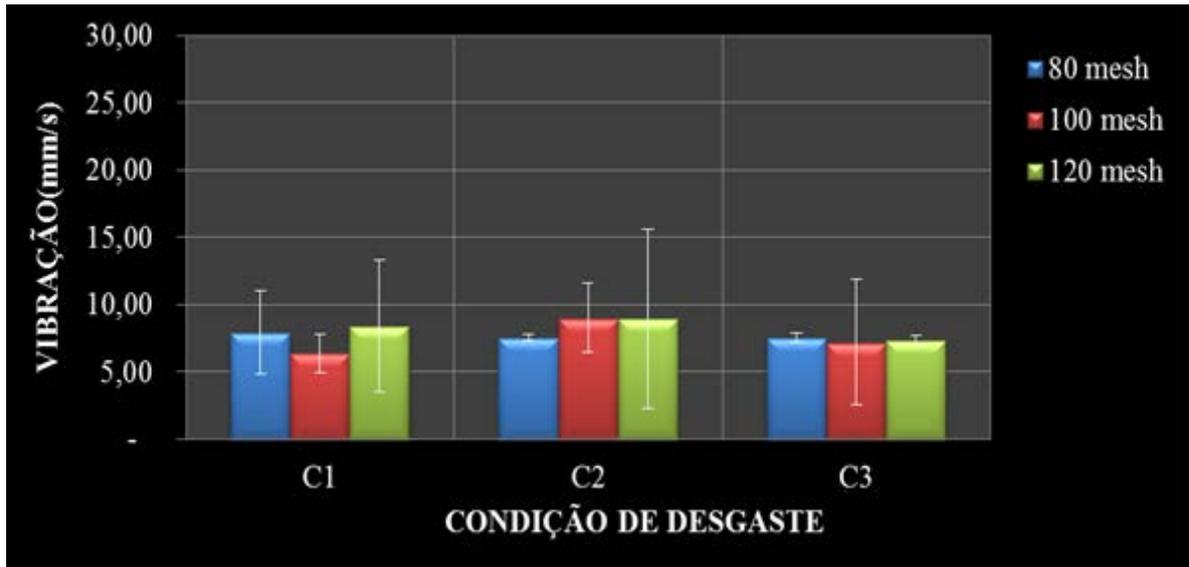


Figura 47-Gráfico comparando o comportamento da vibração em relação às condições de desgaste para a lixa de OA- branco

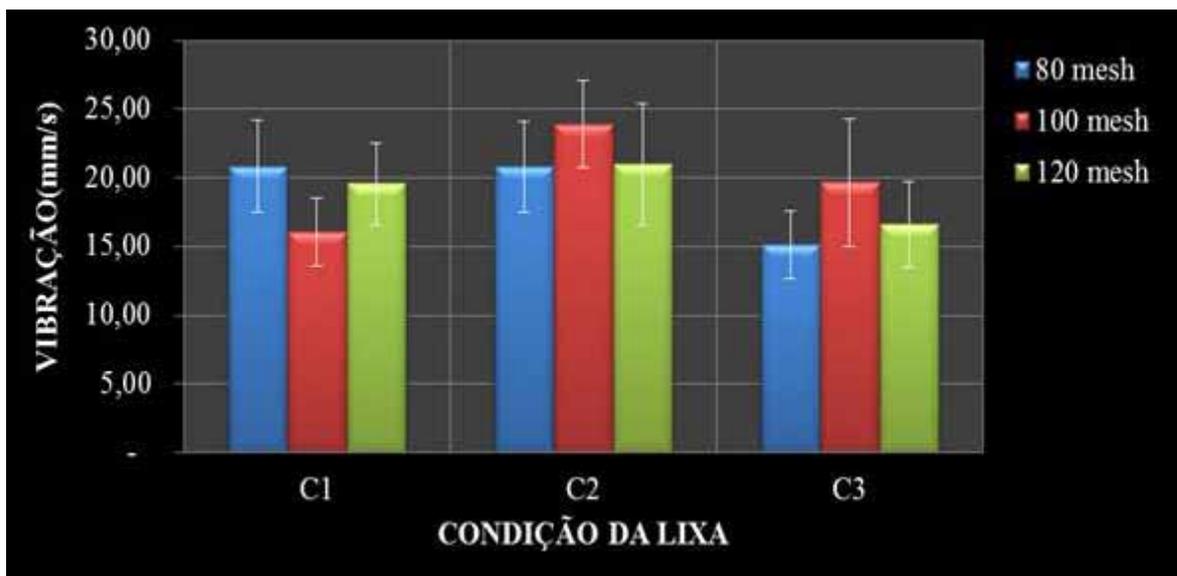


Figura 48-Gráfico comparando o comportamento da vibração em relação às condições de desgaste para a lixa de SiC- preto

Quanto maior a oscilação do sistema, maior a perda de energia. E isto é visto, em relação ao comportamento dos grãos. Enquanto a lixa se encontrava na situação nova, a energia do sistema foi usada para a deformação do grão que se encontrava em boas condições. Mas, com o aumento do desgaste, o sistema não necessitou disponibilizar maior energia para a quebra do grão, sendo então dissipada para o meio, provocando maiores oscilações do sistema e conseqüentemente maior perda de energia.

5.5.3. Comportamento da vibração em relação à granulometria

Ao comparar a vibração em relação à granulometria (Figuras 49 e 50) percebe-se que o OA- branco tendeu a aumentar a vibração em relação ao aumento da granulometria, enquanto, o grão de SiC-preto decaiu sutilmente o valor da vibração para a granulometria de 120 mesh nas condições de desgaste da lixa (C2 e C3), em relação a lixa de 100 mesh.

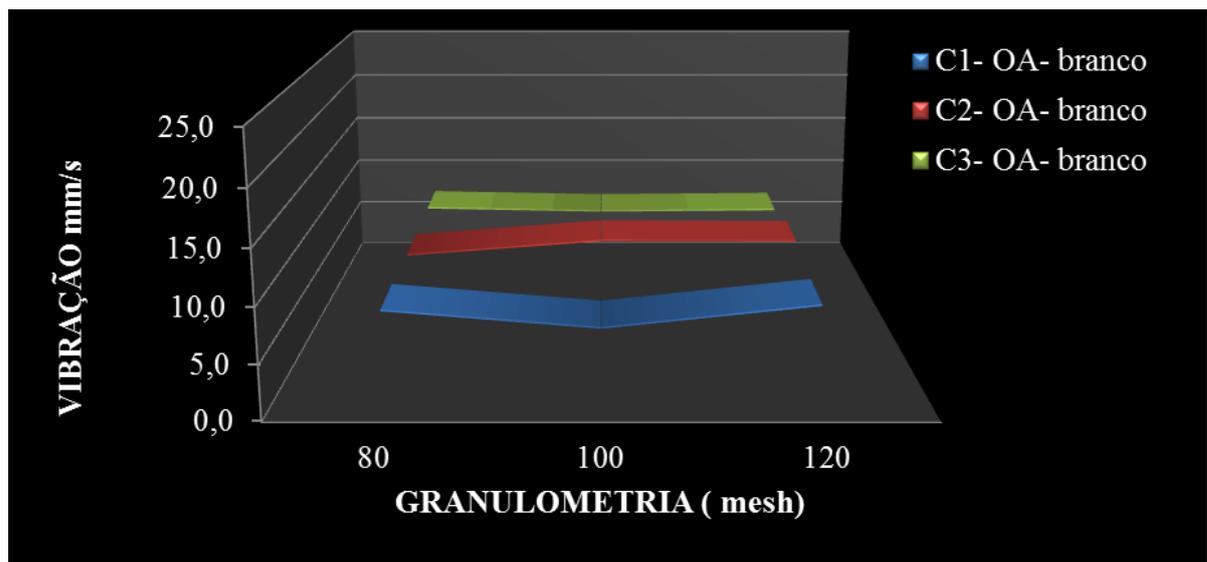


Figura 49-omportamento da vibração em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de OA-branco.

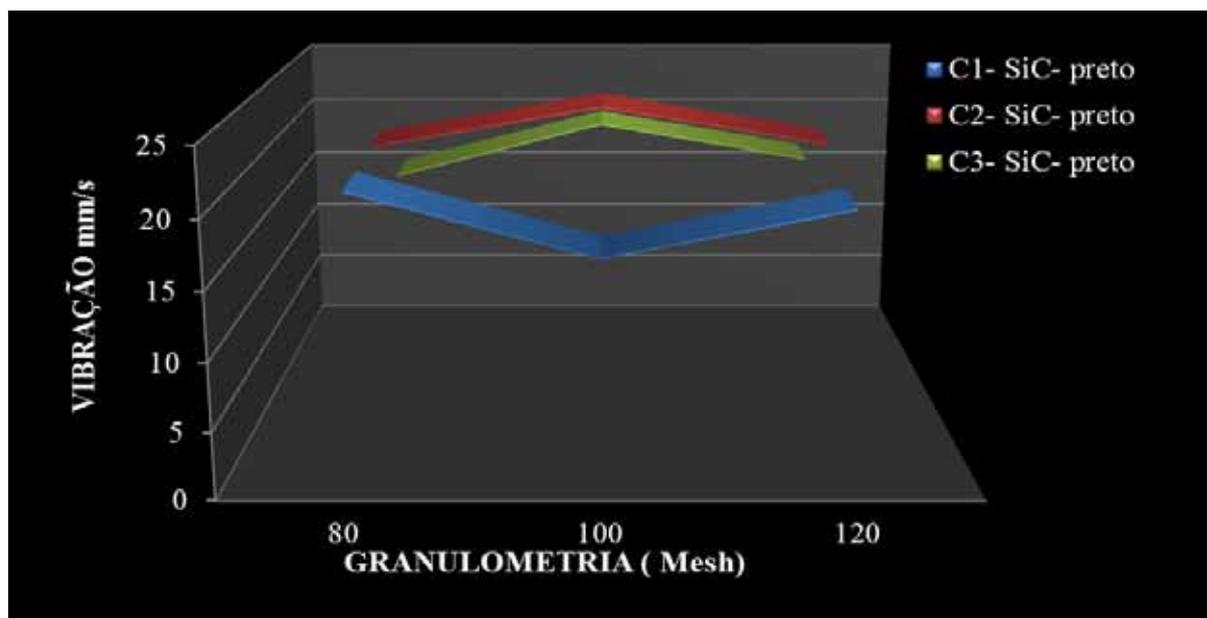


Figura 50- Comportamento da vibração em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto

O mesmo comportamento foi visto na emissão, a qual também aumentou a conforme o aumento do grão abrasivo. Visto que, quanto maior a superfície de contato entre grão e peça, maior a força resultante para o desgaste da área, gerando maiores deformações na superfície e oscilações no processo.

5.6. Rugosidade

Na tabela abaixo, estão dispostos os conjuntos que não apresentaram distribuição normal.

Tabela 17-Conjuntos que não apresentaram distribuição normal

Condições	Granulometria (mesh)	Tipo de grão
C1	80 e 100	OA- branco
C2	80	OA-branco

Realizando o test-t de Student, verificou-se que as médias da rugosidade diferiram-se apenas, para as seguintes condições: 80C1, 100 C1, 120 C1, C2 e C3. Ressaltando que o teste foi realizado entre os grãos de OA- branco e SiC- preto, para a mesma granulometria e condição de desgaste.

5.6.1. Análise da rugosidade entre os grãos abrasivos

Ao analisar as Figuras (51, 52, 53 e 54), observa-se que o SiC- preto para a mesma situação que o OA-branco, apresentou maior rugosidade, exceto nas condições cuja granulometria foi de 120 mesh.

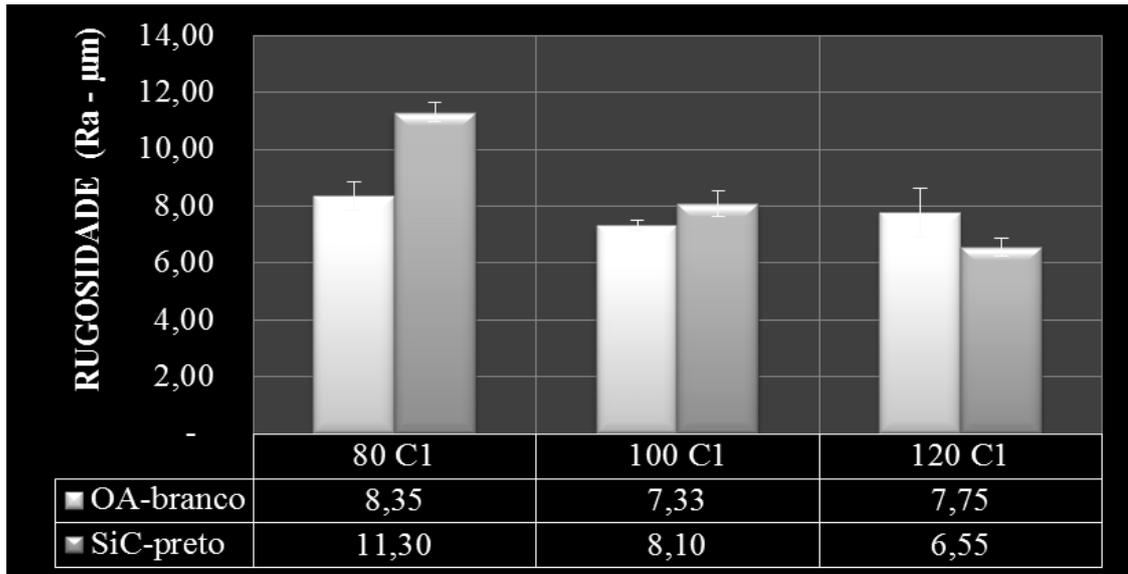


Figura 51-Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa nova (C1)

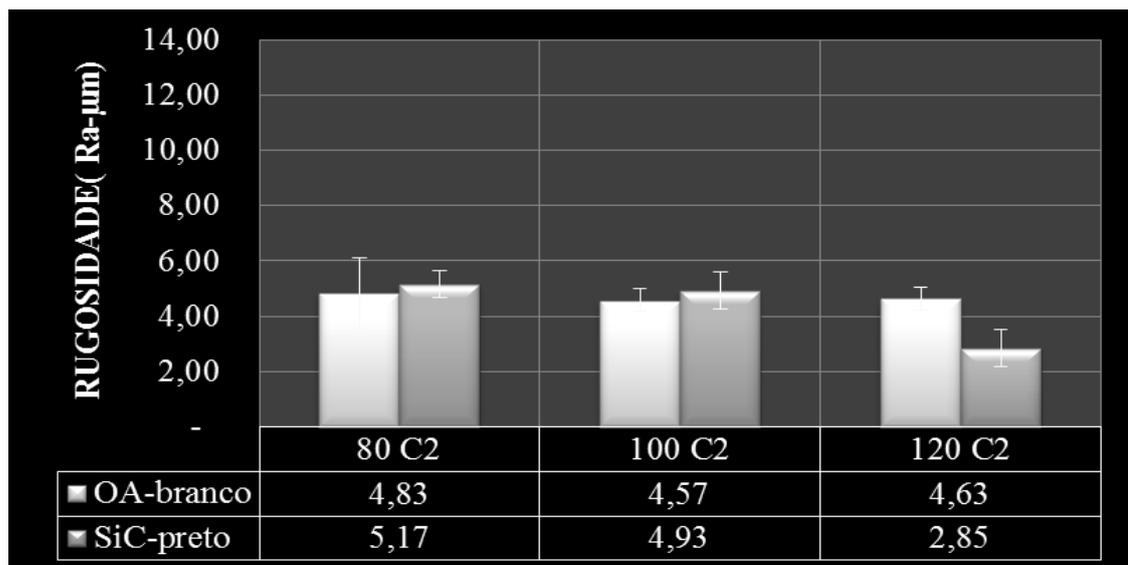


Figura 52 - Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição (C2)

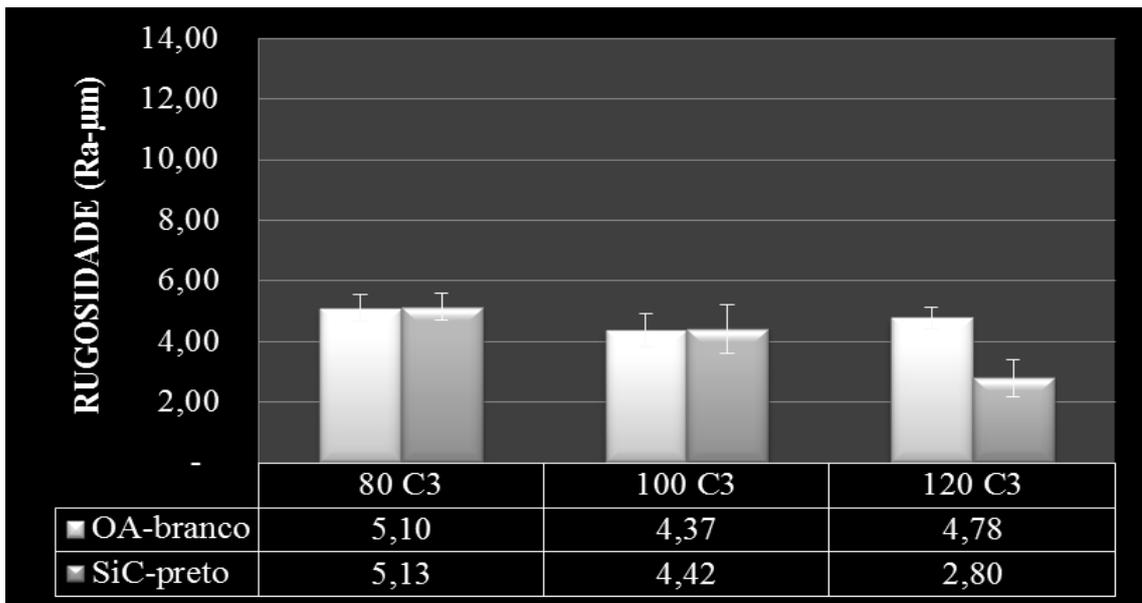


Figura 53-Gráfico comparando a rugosidade média de lixamento entre os grãos abrasivos na condição da lixa desgastada por 8min com barra de metal (C3)

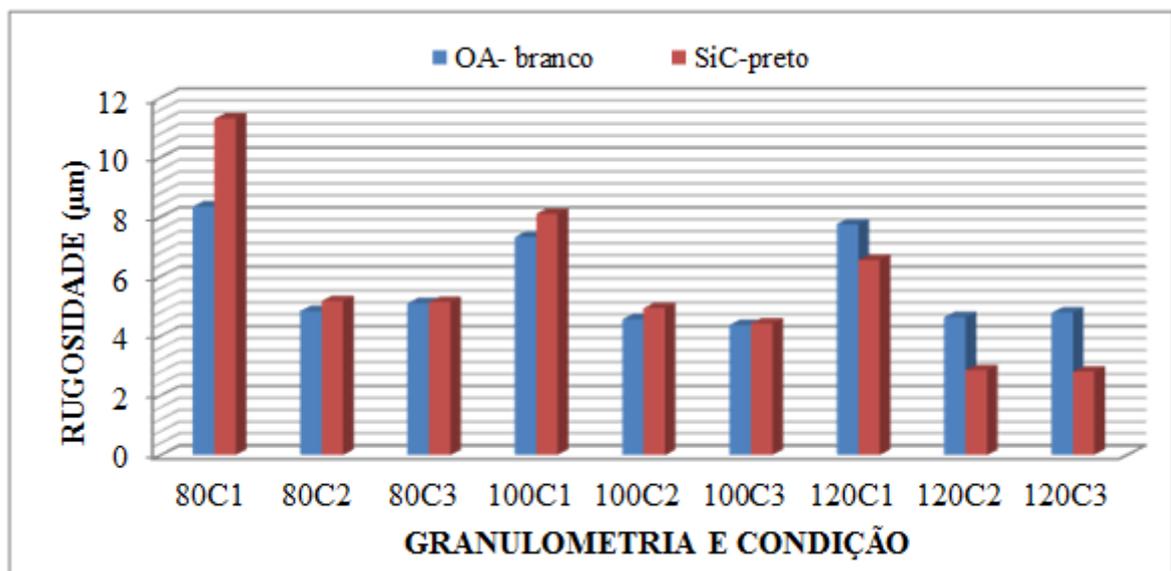


Figura 54-Comparativo da rugosidade entre os grãos abrasivos

Ao analisar os gráficos de rugosidade, levando em consideração as variáveis anteriores (potência, vibração e emissão), percebe-se que para realizar o acabamento superficial das peças, o OA- branco necessitou de maior energia, do que o SiC- preto. Sendo que as lixas na granulometria de 80 e 100 mesh nas condições de desgaste, não se diferiram em relação à média, obtendo, portanto, o mesmo acabamento.

Em relação à granulometria de 120 mesh, o SiC-preto apresentou rugosidade menor em todas as condições, com menor consumo de energia.

5.6.2. Comportamento da Rugosidade em relação ao desgaste

Ambos os grãos em condição de lixa nova, apresentaram maior rugosidade para todas as granulometrias em relação as lixas desgastadas, sendo a de 80 mesh, a que apresentou dentre as condições impostas, a maior rugosidade. Isto, era esperado, visto que as lixas na condição nova, possui maior aresta cortante proporcionando maiores deformações, e por a lixa de 80 mesh apresentar tamanhos maiores de grãos, proporcionou maior arestas demorando mais para desgastar-se.

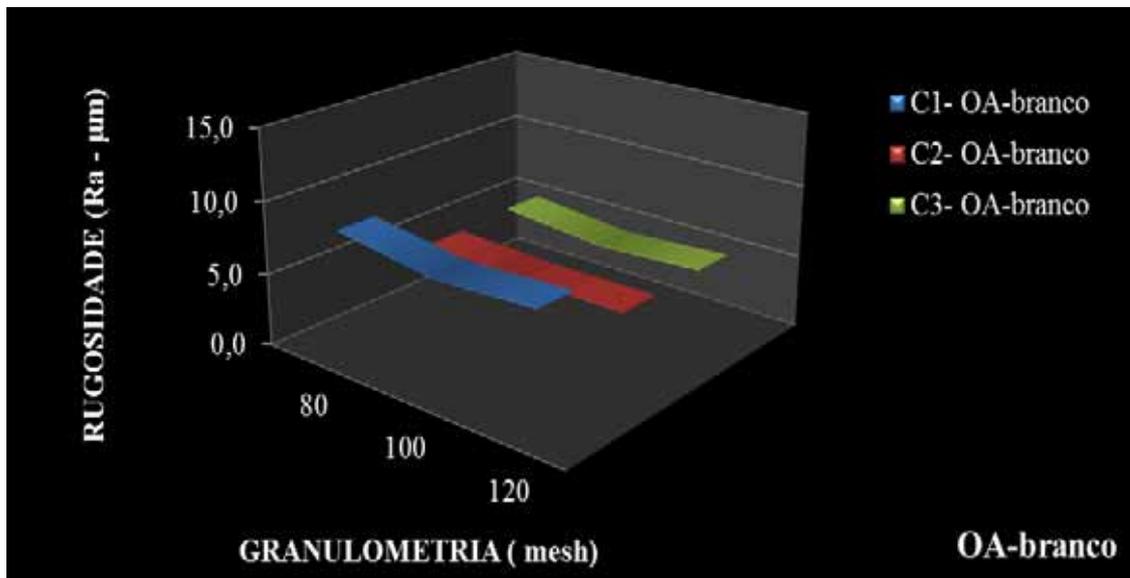


Figura 55- Comportamento da rugosidade em relação às condições de desgaste para o grão de OA-branco.

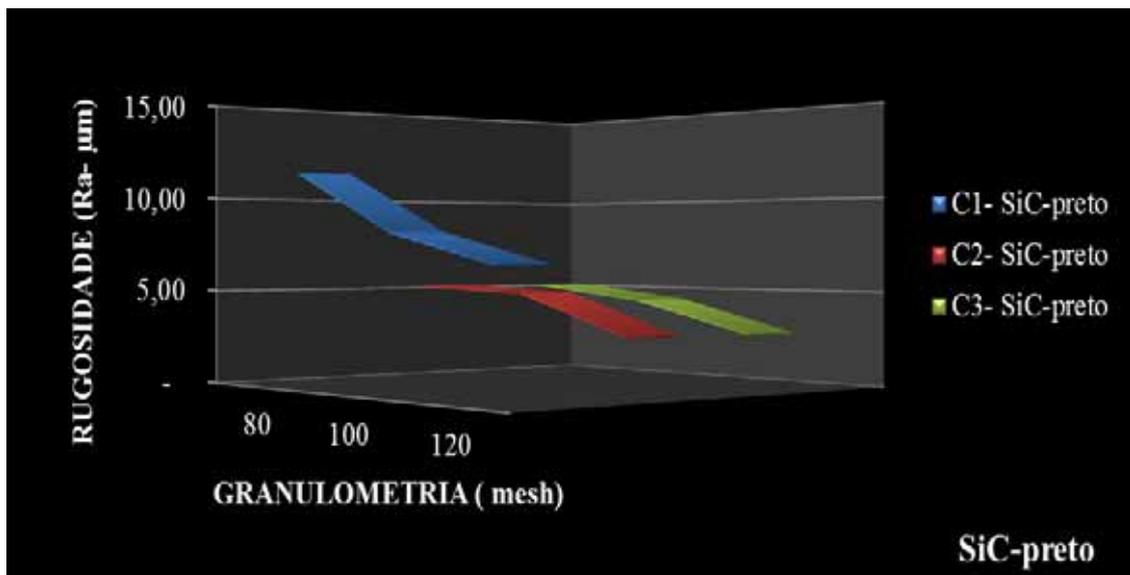


Figura 56- Comportamento da rugosidade em relação às condições de desgaste para o grão de SiC-preto

Este comportamento era esperado, visto que com o desgaste da lixa, ocorre à perda de corte do grão e até mesmo a remoção dos grãos da lixa (Figuras 57 e 58). Diminuindo então, a remoção do material e consequentemente provocando menores danificações na superfície da madeira.

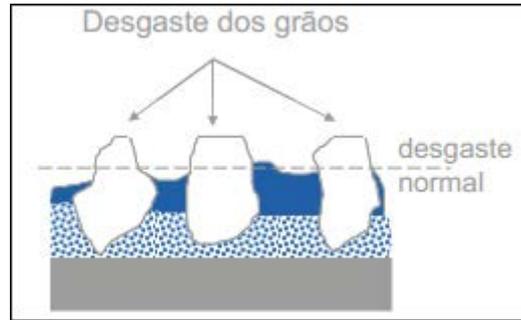


Figura 57-Perda de corte dos grãos (NORTON, 2012).

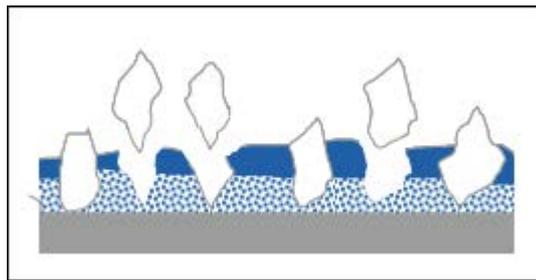


Figura 58- Perda de corte dos grãos (NORTON, 2012).

5.6.3. Comportamento da rugosidade em relação à granulometria

Por meio da Figura 59, pode-se observar que a lixa de OA-branco, aumentou a rugosidade com o aumento da granulometria. Enquanto, na Figura 60 observa-se que o SiC-preto, não tendeu a ter o mesmo comportamento, pois a lixa de 120 mesh, apresentou uma diminuição da rugosidade em relação a lixa de 100 mesh.

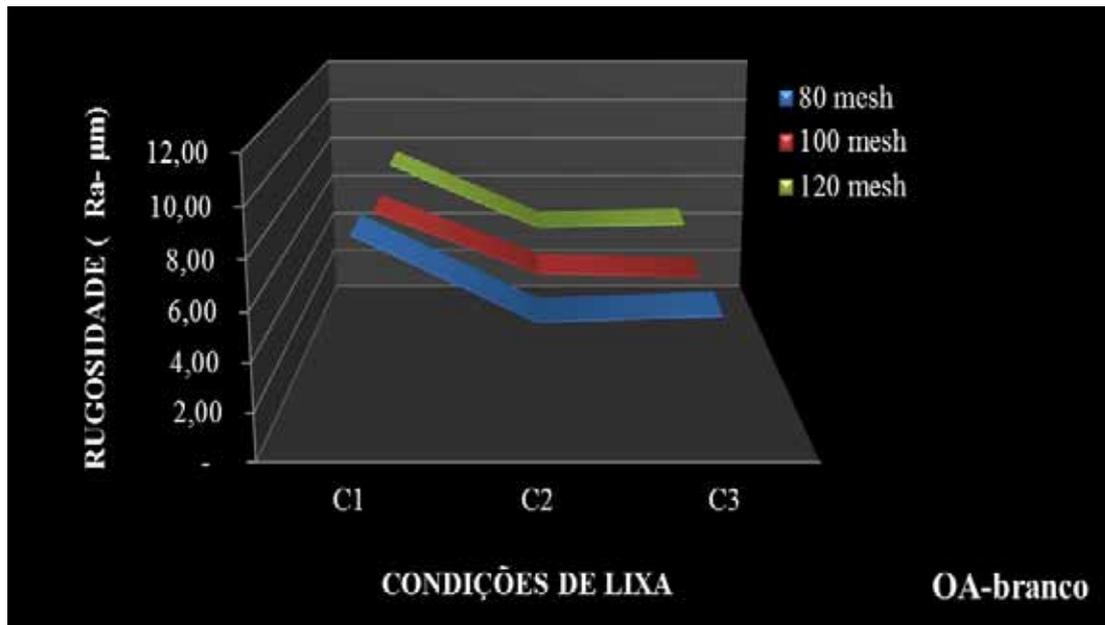


Figura 59-Comportamento da rugosidade em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de AO-branco

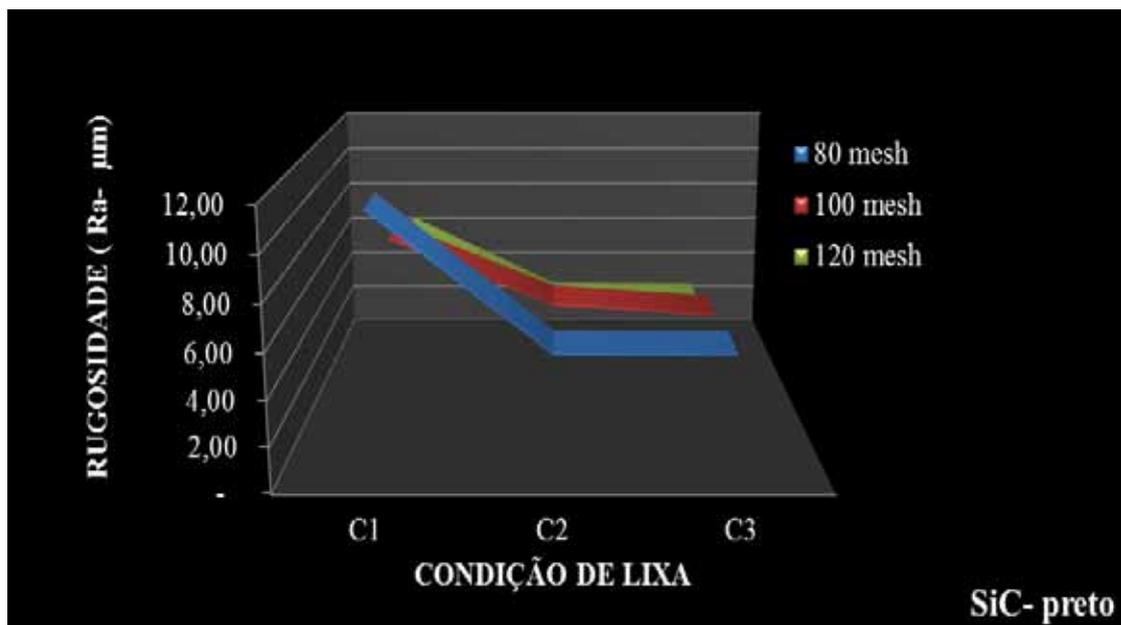


Figura 60-Comportamento da rugosidade em relação às granulometrias de 80, 100 e 120 mesh para a lixa de SiC-preto.

Até recentemente, o óxido de alumínio, foi considerado como o melhor abrasivo para polimento de madeira, devido à sua elevada durabilidade e capacidade de polimento. No entanto, estudos recentes mostram que o carboneto de silício, quando usado em baixas pressões, pode produzir superfícies com menor rugosidade (Taylor et al. 1999).

Em seu trabalho, Moura (2006), lixou a madeira maple, com dois tipos de grãos, carbeto de silício e óxido de alumínio, com quatro velocidades de alimentação diferentes 8, 10, 12 e 14 m/min e três etapas da granulometria 100 -, 100-120 - e 100-120-150- mesh. Constatou-se que para todas as etapas, a lixa de óxido de alumínio produziu danos mais profundos nas superfícies da madeira do que o carboneto de silício. Sendo que as superfícies lixadas com o carboneto de silício eram ligeiramente mais suaves do que os obtidos com o óxido de alumínio. O resultado do experimento revelou que o carboneto de silício, obteve a média Ra em direção perpendicular e paralelamente às fibras respectivamente 4, 3 e 2,4 μm ; e o óxido de alumínio 4,7 e 2,5 μm , isto em relação à granulometria e velocidades de alimentação (Figura 61). E neste trabalho, pode-se observar as deformações ocasionadas pelos grãos, como mostram as Figuras 62.

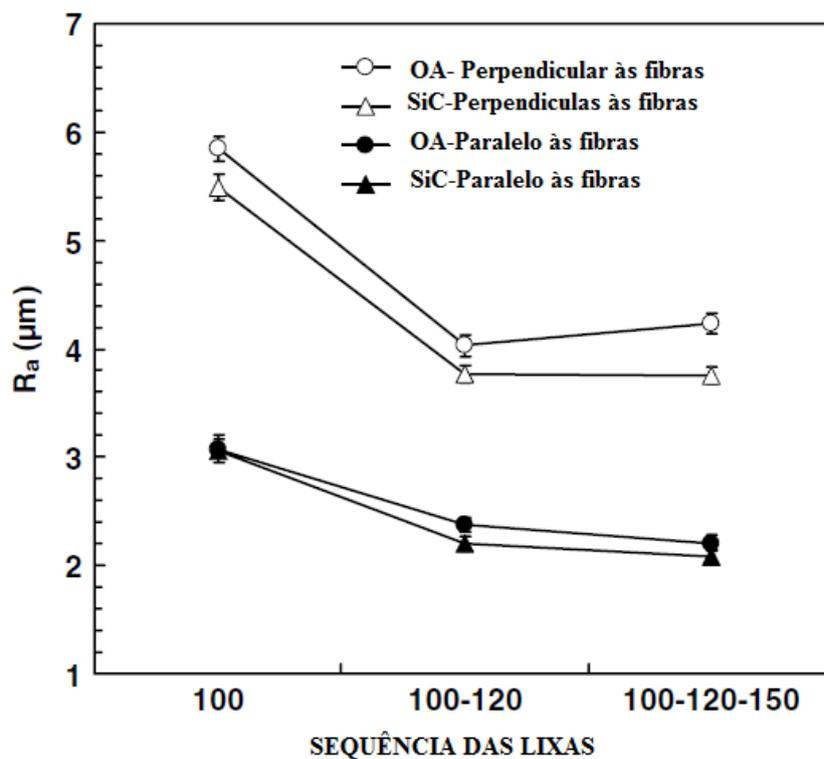


Figura 61-Comportamento da rugosidade dos abrasivos do carbeto de silício e óxido de alumínio na direção perpendicular e paralela as fibras. MOURA (2006)

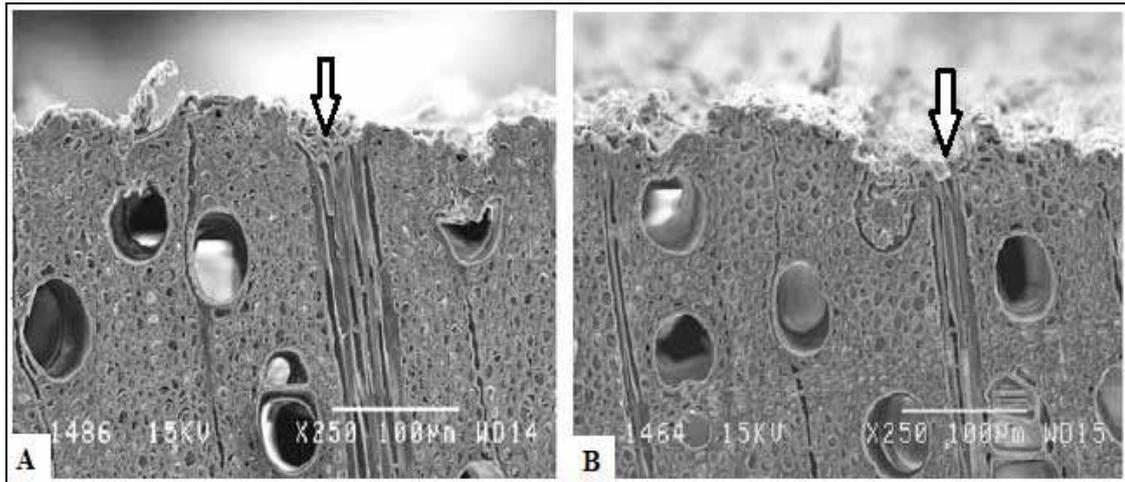


Figura 62-Visão transversal da madeira maple lixada na granulometria de 100 mesh na velocidade de 8m/min (a) óxido de alumínio (b) carbeto de silício. (MOURA, 2006).

Os autores concluíram por meio de imagens formadas em um microscópio eletrônico, que a lixa de óxido de alumínio provocou maior esmagamento das fibras, do que o seu efetivo retiro. Enquanto, que arranhões abrasivos eram menos visíveis, conforme o aumento da granulometria e em menores velocidades de alimentações, para o carbeto de silício.

Levando em consideração somente as lixas na condição nova, o comportamento do grão de SiC-preto diminuiu a rugosidade com o aumento da granulometria. E devido a esta diminuição, apresentou melhor acabamento superficial para as lixas na condição de 120 mesh.

Entretanto, o SiC-preto obteve maior rugosidade na lixa de 100 mesh, em relação ao OA-branco, diferenciando o comportamento dos experimentos. Porém, ressalta-se que foram usadas madeiras distintas, o que afeta na avaliação final da rugosidade. Afinal, a condição de uma superfície usinada é o resultado de um processo que envolve deformações plásticas, ruptura, recuperação elástica, geração de calor, vibração, tensões residuais e às vezes reações químicas (Machado e Silva, 2004).

6. CONCLUSÕES

Conclusões para o comportamento de cada variável de saída:

Potência

- Para ambos os grãos abrasivos as lixas na condição de desgaste tenderam a consumir maior potência em relação à lixa nova para a mesma granulometria
- O grão abrasivo de SiC- preto consumiu maior potência com a lixa nova, em relação ao OA- branco
- O grão abrasivo de OA-branco para as condições de lixa desgastada apresentou maior potência em relação ao SiC- preto para a mesma granulometria.
- Para todas as condições de lixa na granulometria de 120 mesh, o OA- branco apresentou maior potência de lixamento.

Emissão

- A lixa de OA- branco apresentou maior valor da emissão em relação ao SiC- preto para a mesma granulometria e condição de lixa.
- Ambos os grãos apresentaram maior emissão para as lixas na condição de desgaste em relação à lixa nova
- Para todas as condições da lixa de OA- branco nas granulometrias de 100 e 120 mesh houve maior emissão em relação ao SiC- preto.
- A lixa de OA-branco tendeu a aumentar o valor da emissão conforme o aumento do desgaste da lixa.
- A lixa na condição C2 obteve maior emissão para todas as granulometrias em relação à lixa na condição C3
- O grão de OA-branco apresentou maior conservação dos grãos durante o desgaste, em relação ao SiC-preto.

Vibração

- A lixa de SiC- preto apresentou maior valor de vibração em relação ao OA-branco para todas as condições e granulometrias.
- Para ambos os grãos, as lixas na condição nova (C1), apresentou menor valor da emissão em relação às desgastadas. Sendo que quanto maior o desgaste da lixa, maior a vibração.
- Os grãos de OA- branco conservam-se por mais tempo durante o processo de lixamento do que o SiC- preto.
- Para a lixa nova a granulometria de 80 mesh apresentou maior vibração para ambos os grãos
- Com o aumento da granulometria houve um aumento da vibração para o OA-branco.

Rugosidade

- O SiC- preto para a mesma situação que o AO-branco, tendeu a apresentar maior rugosidade, exceto nas condições cuja granulometria foi de 120 mesh;
- Lixa na condição nova apresentou maior rugosidade do que as desgastadas para ambos os grãos abrasivos.
- Lixas de granulometria de 100 e 120 mesh apresentaram variações menores da rugosidade e comportamentos semelhantes em relação às condições da lixa.
- Com o aumento da granulometria houve o aumento da rugosidade, isto para ambos os grãos.
- A lixa de SiC- preto na granulometria de 120 mesh, apresentou os menores valores da rugosidade para todas as condições de lixa
- Para ambos os grãos, a lixa em todas as condições na granulometria de 80 mesh, apresentou maiores valores da rugosidade.

A partir do trabalho, pode-se concluir a complexidade atuante no experimento realizado, visto que cada variável analisada influencia diretamente no acabamento final da peça.

Observa-se que independente do tipo de grão e do seu formato, as lixas desgastadas apresentaram o mesmo comportamento em relação à rugosidade, nas lixas de 80 e 100 mesh. Entretanto, o OA- branco propicia pela sua tenacidade, o esmagamento das fibras do material criando uma superfície com maior umectação em relação ao SiC-preto. Portanto, a peça lixada com o OA-branco, gastará menor quantidade de materiais como: verniz, adesivos, tintas e outros, gerando economia no acabamento. Outro, contra ponto, em relação ao OA-branco, é que por sua característica tenaz, os grãos possui maior durabilidade ao longo do processo, desgastando-se menos, ou seja, maior duração da lixa em relação ao SiC-preto. Porém, para realizar o processo de lixamento, tem-se maior consumo de energia com o OA- branco do que com o SiC- preto.

Segundo algumas literaturas o SiC propicia melhor acabamento que o OA, o que pode ser visto com a lixa de 120 mesh, que apresentou rugosidades menores para a mesma condição de desgaste em relação ao grão de OA- branco.

Portanto, a aplicação da lixa no processo industrial dependerá da finalidade do processo e do tipo de acabamento que se deseja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC-Associação Brasileira de Cerâmica. Informações Técnicas. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=48>>. Acesso em :09/05/2013.

Acesso em: 09/05/2013.

AGUIAR, P. R. **Monitoramento da queima superficial em processo de usinagem por retificação usando a potência elétrica do motor de acionamento e emissão acústica.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1997.

ALVES, M. C. S., BIANCHI, E. C., AGUIAR, P. R., CATAI, R. E. **Influência na qualidade final de metais retificados através da variação da velocidade de mergulho.** REM - Revista Escola de Minas. , v.62, 2009, p.65 – 71.

ALVES, M.C.S. **Influência dos métodos de lubri-refrigeração na retificação do aço ABNT 4340 usando rebolo de CBN.** 175p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia dos Materiais - Área de Processamento de Materiais) – Faculdade de Ciências do *campus* de Bauru, UNESP, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM D1666-87:** standard methods of conducting machining tests of wood and wood-base materials. USA, 1988.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM D1666-87:** Standard methods of conducting machining tests of wood and wood-base materials. USA, 1988.

Anaheim, California. **Research.** Anaheim, California: Wood Machining Institute, 2001. p. 437 - 446.

Ascontec Ind. e Com. de Abrasivos Ltda. Disponível em: <<http://www.ascontecabrasivos.com.br/carbeto-de-silicio-preto-sed-SIC-SC.html>>. Acesso em :09/05/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6405**: rugosidade das superfícies. Rio de Janeiro-RJ. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. p.107. Rio de Janeiro-RJ. 1997.

BIANCHI, C. E., SILVA, E. J., LOVATO, M. C., FERNANDES, O. C., VALARELLI, I. D. Características e tendências do processo de abrasão. **Revista Máquinas & Metais**. Aranda Editora. Ano XXXV, nº 399. p. 238-249. Abril. 1999.

Boletim Técnico. THEIBACHER SCHLEIFMITTEL Brasil Ltda. Disponível em: <<http://www.treibacher.com.br/pdf/carbeto-silicio-preto-EC6R.pdf>>. Acesso em :09/05/2013.

Boletim/008.pdf>. Acesso em: 03/05/2013. brasivos.ind.br/downloads/carborundum.pdf >. Data de acesso: 06/05/2012.

CARPINETTI, L. C. R.; GONÇALVES FILHO, E. V.; PORTO, A. J. V.; JASINEVICIUS, R. G. **Rugosidade Superficial: Conceitos e Princípios de Medição**. São Carlos: Apostila, pp. 51, Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.

CARPINETTI, L.C.R. **Rugosidade superficial**: conceitos e princípios de medição. Apostila. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. p.51. 2000.

CASTRO, E.M.; GONÇALVES, M.T.T. Estudo do acabamento superficial em chapas MDF usinadas em processo de fresamento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. USP de São Carlos. **Anais** em CD-ROM. São Carlos-SP. 2000.

CEPRA, **2005**. Disponível em: <http://portal.iefp.pt/xeobd/attachfileu.jsp?look_parentBoui=16268500&att_display=n&att_download=y>. Acesso em :09/05/2013.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Livro. Editora Artliber. 5ª edição. São Paulo. Jan. 2006.

DORNFELD, D. A.; LEE, Y.; CHANG, A. Monitoring of ultraprecision machining processes. **International Journal of Advance Manufacturing Technology**. v. 21, p. 571–578. 2003.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. Livro. Editora Edgard Blucher LTDA. Vol. 1. São Paulo. 1977.

FU, S.; MURALIKRISHNAN, B.; RAJA, J. **Engineering surface analysis with different wavelet bases**. v. 125, p. 844-852. 2003.

GAHR, Karl-Heinz Zum. **Microestrutura and wear of materials**. Tribology series, 1976.

GARCIA, C. H.; MORA, A. L. **A cultura de eucalipto no Brasil**. São Paulo, SP. SBS. 2000.

GATEC GESTÃO INDUSTRIAL. **Projeto manutenção preditiva: Análise de vibrações**. 2009. Disponível em: <http://www.gatec.com.br/Palestras%20Evento%20Maring%20E1/Marcos%20Bonadiman%20-%20Apres%20analise%20de%20vibracoes.pdf>>. Acesso em: 25/03/2010.

GONÇALVE, F. B., SASAKI, M. Y., SALOMÃO, R. Novos desafios e oportunidades nos processos de abrasão por lixamento. Engenharia de Aplicação na Saint-Gobain Abrasivos. **Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Nanociências e Materiais Avançados da Universidade Federal do ABC-UFABC. Santo André- SP. 2007

GONÇALVES, M. T. T.; CAGNON, J. A.; TIBÚRCIO, U. F de. O.; SOUZA, A. J. D de. Consumo de potência no torneamento cilíndrico de madeiras de eucalipto. In: EBRAMEM, 10°. São Pedro, SP, 2006. **Anais**. 2006.

GONÇALVES, M.T.T. **Processamento da Madeira**. Bauru-SP: Document Center Xerox – USC. 242p., 23,5 cm. Inclui Índice. ISBN 85-901425-1-5. 2000.

GONÇALVES, M.T.T.; RUFFINO, R.T. Mecanismo de formação do cavaco na usinagem da madeira. In: EBRAMEM, 3º., São Carlos, SP, 1989. **Anais...** São Paulo, LaMEM/EESC/USP. v.4, p.163-202, 1989.

HAWKS, L. K. **Wood Finishing and Refinishing: Sanding.** 1995. Disponível em: <http://extension.usu.edu/files/publications/publication/HI_26.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2011.

INASAKI, I. **Monitoring and optimization of grinding process.** Annals of the CIRP. v.40. 1990.

Informativo Técnico-Engenharia de Aplicação. Tipos de Costados em Lixas. Agosto. 2003. Disponível em:<<http://www.unitec-am.com/manaus/conta/documentos/>

JEMIELNIAK, K. Commercial Tool Condition Monitoring Systems, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 15, p. 711-721. 1999.

Juan J (1992) Comment bien usiner le bois. Centre technique du bois et de l'ameublement (CTBA), Paris.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, v. 41, p. 1074–1078. 2006.

KIVIMAA, E.. Die schnitkraft in der holzbearbeitung. **Holz als roh und werkstoff**, v.10, n.3, p.94-108. 1952.

KOCH, P. **Wood Machining Process.** New York: Ronald Press Company, 1964. 530p.

KOCH, P., “Wood Machining Processes”, Edited by The Ronald Press Company, Nova York, USA, 1964, p. 397 – 431.

LEE, D.E.; HWANG, I.; VALENTE, C.M.O.; OLIVEIRA, J.F.G.; DORNFELD, D.A. **Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission.** International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005. P. 1-13.

LEE, D.E.; KIM, N. H. A study on the machining characteristics in the external plunge grinding using the current signal of the spindle motor. **International Journal of Machining Tools & Manufacture**, n. 41, p. 937-951. 2001.

LEMASTER, R. L. The use of an Optical Profilometer to Monitor Product Quality in Wood and Wood-Based Products. In: **SANDING AND SAWING SEMINAR**, 1995, Charlotte, North Carolina. **Research**. Charlotte, North Carolina: Conference Organizer, 1995. p. 33 - 42.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. The use of optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Journal of Forest Products**, USA, v. 46, n. 11-12, p. 73-78. 1996.

LIMA, T. C. F. ; TENÓRIO, J. A. S. Utilização de matéria-prima aglomerada na produção de carbureto de silício em escala-piloto. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade de São Paulo. **Revista Escola de Minas**. Vol.64. nº 3. Ouro Preto-MG. Jul./Set. 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/scielo.php>>. Data de acesso: 06/05/2012

LUCHE, J. R. D. , MORABITO, R. Otimização na programação da produção de grãos eletrofundidos: um estudo de caso. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/gp/v12n1/a12v12n1.pdf> >. Data de acesso: 06/05/2012.

MACHADO, A.R. and DA SILVA, M.B., 2004, “Usinagem dos Metais”, 8ª versão, Universidade Federal de Uberlândia, pp. 222-233.

MAGOSS, E.; SITKEI, G. Fundamental Relationship of Wood Surface Roughness at Milling Operations. In: **INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR**, 15., 2001.

MALDONADO, M. R. Trabajabilidad de tableros. **Maderas Cs. & Tec.**, Chile, v.1, n.1, p. 61-70. 1998.

MOREIRA, F. C.. **Aplicações de sistemas de monitoramento e supervisão de processos**. 2007. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, 2007.

MOURA, F. L.; HERNANDEZ, E. R. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. Département des Sciences du Bois et de la Forêt- Université Laval. Quebec- Canadá. **Wood Science and Technology**. v.40. n.6. p.517-530. Mar. 2006.

NORMA ABNT – “Lixas (Abrasivos revestidos) - Requisitos de segurança para seu uso”

NORTON - Site Institucional da Empresa Norton Abrasivos, Disponível em:<<http://www.norton-abrasivos.com.br/produtos>>. Acesso em: 22 mai. 2012.

Notas de aula 1- Escola Politécnica da universidade DE São Paulo. Processos de usinagem com ferramentas de geometria não definida. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/PMR2202-AULA%20RS3.pdf>>. Acesso em: 03/05/2013.

Notas de aula 2- Abrasivos. UFPR- Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/processoscorte_arquivos/Abrasivos.pdf>. Acesso em: 03/05/2013.

Notas de aula 3-Propriedades mecânicas dos materiais. UEM- Universidade estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Mecânica. Centro de Tecnológica. Disponível em:<<http://www.dem.uem.br/cleber/wpcontent/uploads/2010/03/Propriedadesmec%C3%A2nicas-dos-materiais.pdf>>.Acesso em:01/05/2013.

NUSSBAUM, G. Ch. **Rebolos & abrasivos: tecnologia básica.** Livro. Editora Ícone. São Paulo. 1986.

OLIVEIRA, J. F. G. de; BIANCHI, E. C.; SOUZA, G. F. O desempenho de rebolos pode ser controlado pela dressagem. **Máquinas e Metais**, São Paulo, Ano 27, nº 317, p. 12-28. jun. 1992.

RATNASINGAM, J.; REID, H. F., PERKINS, M. C. The abrasive sanding of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*): an industrial perspective. **Holz als Roh - und Werkstoff**. v. 60, n. 3, p. 191-196, jun. 2002.

RATNASINGAM, J.; REID, H. F., PERKINS, M. C. The productivity imperatives in coated abrasives: Application in furniture manufacturing. **Holz als Roh - und Werkstoff**. v.57, n. 2, p. 117-120, apr. 1999.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F. **Wood sanding process: An optimization perspective**. Kuala Lumpur-Malaysia. Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia, Fachberich Holztechnik, Fachhochschule Rosenheim, Germany. 115p, 2004.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F.; NATTHONDAN, V.; GRAHAM, M. Dust-generation characteristics of hardwoods during sanding processes. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 68, Jan. 2010.

Revista da Madeira. Propriedades da madeira de *Pinus elliottii*. Edição nº 89. Abril. 2005. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=735&](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=735&subject=Pinus&title=Propriedades%20da%20madeira%20de%20Pinus%20elliottii)

[subject=Pinus&title=Propriedades%20da%20madeira%20de%20Pinus%20elliottii](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=735&subject=Pinus&title=Propriedades%20da%20madeira%20de%20Pinus%20elliottii)>. Acesso em: 02/05/2013.

RIBAS, P.R.F. et al. Fatores que afetam a resistência ao desgaste de aços e ferros fundidos utilizados em componentes mecânicos que trabalham em mineração. São Paulo: **anais 57º. ABM**, 2002. p.1810-1819.

SALONI, D. E. **Process Monitoring and Control System Design, Evaluation and Implementation of Abrasive Machining Processes**. 2007. 197 p. Thesis (PhD) - Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2007.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood. **Forest Products Journal**, v.55, n. 12, p.35-52, dec.2005.

SILVA, E. J. **Análise da influência dos tipos de fluido de corte e rebolo na retificação do aço SAE HVN-3**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2000. p.35-44.

SILVA, R. P. **Estudo do processamento e microestrutura do carbetto de silício ligado por reação**. 62f. Projeto de Graduação-Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFRJ. Rio de Janeiro-RJ. 2009.

SILVA, W. M. da, MELLO, J. D. B. de. **Desgaste abrasivo via interações múltiplas**. 15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFU- Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Mecânica. Uberlândia-MG Disponível em:< <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/15/pdf/POSMEC042.pdf>>. Acesso em 16/05/2013.

SOARES, D. D., OLIVEIRA, J. F. G. Diagnóstico de processos de retificação pela análise de sinais. **Máquinas e Metais**, ano 38, n. 436, p. 140-157. maio 2002.

STEMMER, C, E. **Ferramentas de corte II**: Brocas, Alargadores, Ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos. Santa Catarina: Ed. UFSC, 1992. 314 p.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. **Forest Products Journal**. v.49, n. 5, p.41-46, 1999.

TEIXEIRA, S. C. , NUSSBAUN, G. C., J. A. BRINK JR .Disponível em:<<http://www.vega>

UNITEC ABRASIVOS TÉCNICOS- **Fábrica. São Paulo- SP**. Disponível em:<<http://www.unitec-sp.com/sp/conta/abrasivos/lixas.html>>. Acesso em: 03/05/2013.v10. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.560

SOUTO, U. B., SILVA, R. H. L. da, REIS, A. M., SILVA, M. B. da. Avaliação do perfil de rugosidade através do sinal de emissão acústica. Universidade Federal de Uberlândia-UFU.

SIQUEIRA, K. P. de et al. Principais metodologias de medição de estado de superfície. 2. ed. Curitiba: Centro de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR, 2003. 5 v.

14º POSMEC- **Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**. FEMEC/UFU. Uberlândia- MG. 2004.

VARASQUIM, F. M. F. de, ALVES, M. C. de S., SANTIAGO, L. F. F., GONÇALVES, M. T. T. Desgaste de lixas na qualidade superficial da madeira. **Revista da Madeira**. Edição nº134. Abril. 2013. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1651&subject=M%F3veis%20&%20Tecnologia&title=Desgaste%20de%20lixas%20na%20qualidade%20superficial%20da%20madeira>. Acesso em: 01/05/2013.

VEGA Ferramentas e Abrasivos indústria- Abrasivos e Abrasão. Disponível em: <<http://www.vegabrasivos.ind.br/downloads/abrasivos%20e%20abrasao.pdf>>

VITTORINO, M. A. **Manutenção preditiva**: análise de vibração. 2008. Disponível em: <<http://www.mantenimentomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Apostila.pdf>>. Acesso em: 12/05/2012.

WEBSTER, J. A.; DONG, W. P.; LINDSAY, R. Raw acoustic emission signal analysis of grinding process. In: **Annals of the CIRP**, vol. 45, n. 1, p. 335-340, 1996.

WINTER (Brasil). Catálogo produtos: Superabrasivos. Rebolos diamantados e CBN. Disponível em: <www.winter.com.br>. Acesso em: 05 abr.. 2013.

WOLFENDEN, A., “Dynamic Elastic Modulus - Measurements in Materials”, American Society for Testing and Materials, California, 1990