

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIELA BISETTO

ANÁLISE DO PROCESSO DE CORTE ROTATIVO-LONGITUDINAL
DE MATERIAL ABRASIVO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

GABRIELA BISETTO

**ANÁLISE DO PROCESSO DE CORTE ROTATIVO-LONGITUDINAL
DE MATERIAL ABRASIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lupinacci Villanova.

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO PROCESSO DE CORTE ROTATIVO-LONGITUDINAL DE MATERIAL ABRASIVO.

por

GABRIELA BISETTO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 6 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rodrigo Lupinacci Villanova

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

Membro Titular

Profa. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin

Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares

Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho

Coordenador do Curso

“Pintou estrelas no muro e teve o céu ao
alcance das mãos”.

Helena Kolody

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à meus pais por sempre me incentivarem e por serem sempre uma referência de amor, carinho e solidariedade com o próximo.

Ao meu orientador e também aos membros da banca pelo tempo e apoio dedicado.

Aos meus colegas de trabalho que no dia-a-dia sempre me ajudaram com alegria e boa vontade.

Aos professores que fizeram parte desta longa caminhada, contribuindo grandemente para o meu crescimento como profissional e pessoa.

RESUMO

BISETTO, Gabriela. **Análise do Processo de Corte Rotativo-Longitudinal de Material Abrasivo**. 2019. 52p. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Reduzir custos é imperativo na economia atual. Logo, conhecer o processo e aumentar a vida útil dos itens consumíveis, como as ferramentas de corte é cada vez mais importante. Este trabalho visa identificar possibilidades de melhoria no processo de corte-longitudinal na *slitter* sobre um material abrasivo, analisando as características físicas e químicas da ferramenta, bem como parâmetros de corte por esmagamento e, também, comparar o rendimento entre dois fornecedores em condições reais de operação. Para atingir os resultados esperados, foram usadas ferramentas de caracterização de material, como: espectrometria de emissão ótica, microdureza e microscopia eletrônica de varredura para investigar os fenômenos que atuam na faca durante o processo de desgaste.

Palavras-chave: *Slitter*. Faca circular. Abrasivo. Esmagamento. Vida útil.

ABSTRACT

BISETTO, Gabriela. **Analysis of a Rotative Cutting Process of Abrasive Material**. 2019. 52p. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2019.

Cost saving is essential in nowadays economy. Therefore, to know the productive process and increase the lifespan of consumable items, such as cutting tools is becoming more and more important. This dissertation aims to identify process improvement possibilities in score cutting of abrasive materials, by analyzing the chemical and physical characteristics of the circular blade, as well as the process parameters for score cutting. It also aims to compare the yield of the knives from two different suppliers in real operational conditions. In order to achieve this goals, material characterization tools were used to investigate the phenomenon that act on the blade during the wear process, such as optical emission spectrometry, microhardness and scanning electron microscopy.

Keywords: Slitter. Circular blade. Abrasive. Score cutting. Lifespan.

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
BS	Banda Segmentada
FNR	Fornecedor
PF	Pressão da Faca
TD	Taxa de Desgaste

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
B	Boro
C	Carbono
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Nb	Nióbio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
S	Enxofre
Si	Silício
SiC	Carbeto de Silício
Ti	Titânio
V	Vanádio
W	Tungstênio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo.	16
Figura 2: Representação simplificada do processo de fabricação de uma BS.....	17
Figura 3: Estrutura de uma lixa abrasiva.	18
Figura 4: Máquina para corte de rolos - Slitter	19
Figura 5: Exemplos de razor cutting;	21
Figura 6: Detalhe da ferramenta centralizada no sulco.	22
Figura 7: Wrap Slitting - Malha envolve faca feminina.	23
Figura 8: Arco de contato entre a faca fêmea e a faca macho.	23
Figura 9: Representação esquemática de um processo kiss slitting;	24
Figura 10: Comparação entre uma faca afiada e uma faca com perfil arredondado.	25
Figura 11: Sistema pneumático de corte da Slitter.....	27
Figura 12: Espectrômetro de Emissão Ótica	29
Figura 13: Microdurômetro Digital Shimadzu Modelo 819 HMV 20G.	30
Figura 14: Microscópio Eletrônico de Varredura – Tescan VEGA3.....	31
Figura 15: Composição química do aço K100.....	34
Figura 16: Desempenho das facas ao final do experimento em termos de metros percorridos.	36
Figura 17: Comparativo entre processos relativo ao uso da pressão atuante nas facas.	
37	
Figura 18: Defeito originado pela má qualidade de cortes.	38
Figura 19: Comparação de rendimento entre fornecedores e taxa de desgaste para o grão 60.	38
Figura 20: Comparação de rendimento entre fornecedores e taxa de desgaste para o grão 80.	39
Figura 21: Força atuante no corte.	40

Figura 22: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 60.	40
Figura 23: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 80.	40
Figura 24: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 180.	41
Figura 25: Medição do raio de afiação – SEM MAG 100x.	42
Figura 26: Medição da aresta do perfil de afiação – SEM MAG 35X.	42
Figura 27: Medição da região desgastada mesh 50 – 100x.	43
Figura 28: Medição da região desgastada mesh 50 – 180x.	44
Figura 29: Medição da região de afiação FNR 2 – 60X.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da banda de acordo com sua largura.....	13
Tabela 2: Grau de Dureza e Friabilidade de diferentes tipos de grão	19
Tabela 3: Granulometria estudada	31
Tabela 4: Percentual de cada elemento químico na composição da liga estudada ..	34
Tabela 5: Valores medidos em Vickers e Rockwell C	35
Tabela 6: Condição de fim de vida ao final dos testes para cada grão estudado	35
Tabela 7: Comparativo de Rendimento para o Grão 60 entre FNC 1 e FNC 2	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 BANDA SEGMENTADA (BS)	15
2.1.1 <i>Lixa Abrasiva</i>	17
2.2 PROCESSO DE CONVERSÃO DA BANDA	19
2.3 PROCESSO DE CORTE NA <i>SLITTER</i>	20
2.3.1 <i>Corte com Lâmina Afiada (razor blade)</i>	20
2.3.2 <i>Corte por Cisalhamento (shear slitting)</i>	22
2.3.3 <i>Corte por Esmagamento (score cutting)</i>	24
2.4 AÇOS FERRAMENTA	26
2.5 DESGASTE ABRASIVO	26
2.5.1 <i>Critério de Fim de Vida</i>	27
3. MATERIAS E MÉTODOS.....	29
3.1 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	29
3.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	29
3.3 TESTE IN LOCO.....	31
3.3.1 <i>Especificações da Slitter</i>	32
3.3.2 <i>Obtenção de Dados</i>	32
3.3.3 <i>Taxa de Desgaste (TD)</i>	33
3.4 ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	34
4.2 RENDIMENTO DAS FACAS.....	35
4.3 INFLUÊNCIA DA PRESSÃO	36
4.4 INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DA FACA.....	39
4.5 INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE AFIAÇÃO	41
5. CONCLUSÃO.....	45
6. TRABALHOS FUTUROS	46

REFERÊNCIAS.....47

1. INTRODUÇÃO

Continuamente a indústria se vê pressionada pelos seus clientes a entregar produtos de menor preço e com maior qualidade. É neste último que os materiais abrasivos exercem sua maior influência, sendo utilizados nos mais diversos setores da indústria e nas mais diversas aplicações, pois como afirmam Assami e Santorelli “produtos abrasivos são capazes de cortar, assim como moer, uma grande variedade de materiais, desde metais à materiais orgânicos e inorgânicos”¹ (Assami e Santorelli, 2010, tradução própria).

Os abrasivos sintéticos, como o SiC, ganham cada vez mais mercado devido ao seu desempenho altamente superior em comparação com abrasivos de origem natural. De acordo com Assami e Santorelli (2010) a maioria dos grãos utilizados na indústria são fabricados sinteticamente, sendo raramente usados grãos naturais. Seguindo esta tendência, o material utilizado neste estudo é uma lixa constituída de grãos de SiC.

Por se tratar de um material com alta resistência ao desgaste, as ferramentas utilizadas para trabalhar este material também precisam apresentar elevada resistência, o que significa maiores custos de aquisição e manutenção das mesmas. Desta maneira, aumentar a vida útil do ferramental é fundamental para que o processo produtivo seja viável economicamente. Uma vez que “garantir a qualidade do produto a partir das primeiras operações é fator determinante para melhor produtividade dos processos subsequentes” (Boessio, 2013). Para Anstice, McEnaneyt e Thornton (1980) a qualidade de um processo de *slitter* pode ser definido como uma borda que seja reta, sem fibras se projetando ou outros aspectos que prejudicam a aparência do rolo ou da bobina.

A empresa estudada, chamada neste estudo de empresa A, possui sede na Suíça e atua no ramo de abrasivos há mais de 140 anos, sendo destes, 20 anos no

¹ “abrasive products are able to cut as well as grind a variety of materials ranging metals to organic materials and inorganic materials”

Brasil, com uma unidade fabril em São José dos Pinhais – PR; ao todo, são 1400 funcionários estando presente em mais de 80 países ao redor do mundo.

Sendo uma das líderes no mercado neste segmento, a empresa possui mais de 60.000 artigos abrasivos nas mais distintas formas, dimensões e especificações para todos os materiais, aplicações e solicitações, como informado no site da empresa.

Na unidade local, são fabricados 3 produtos principais: bandas largas, bandas segmentadas e cintas. Sendo a largura da banda o principal critério de diferenciação entre elas, como ilustra a tabela abaixo.

Tabela 1 - Classificação da banda de acordo com sua largura

Produto	Largura (mm)
Cinta	10 - 300
Banda Larga	301 - 1350
Banda Segmentada	1351 - 2900

Fonte: Autoria própria.

A principal matéria-prima são bobinas de material abrasivo com costado flexível, produzidas na matriz e enviadas às filiais com larguras variando de 1400mm à 1560mm e comprimentos podendo chegar à 2500m, dependendo da necessidade da planta. Segundo Assami e Santorelli (2010) o costado pode ser de papel, papel vulcanizado, pano e não-tecidos.

Neste estudo, optou-se por focar a análise na primeira etapa do processo de conversão, onde a bobina, também conhecida como jumbo, é transformada em rolos menores (jumbolino), de acordo com o planejamento de produção. Mais especificamente, o estudo se concentrou na melhoria do rendimento de corte das facas circulares, devido ao seu alto preço de aquisição e limitações de aplicação, tanto mecânicas quanto de processo, que reduzem sua vida útil. Foram feitas análises para determinar sua composição, dureza, bem como levantadas diversas características físicas e de processo.

O estudo concentrou-se no produto banda segmentada (BS), devido a mesma possuir a maior margem de lucro da unidade. Dentro dos diversos materiais utilizados para a fabricação, optou-se por uma série composta por SiC, com um costado de poliéster flexível e com uma vasta granulometria.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o processo de corte do jumbo na *slitter*, a fim de identificar oportunidades de melhoria do processo e redução de custos.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Definir as variáveis que influenciam no processo de corte de rolos (*slitter*);
- Identificar o rendimento atual das facas para cada tamanho de grão individualmente com um ângulo de corte de 30°, em seu estado de fornecimento;
- Examinar o perfil de uma faca afiada e outra sem fio;
- Comparar o rendimento de dois fornecedores distintos;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As sessões abaixo abordam todo o processo de fabricação da unidade, com destaque no processo produtivo da BS objeto de estudo, bem como as técnicas de caracterização e as variáveis de processo consideradas neste estudo.

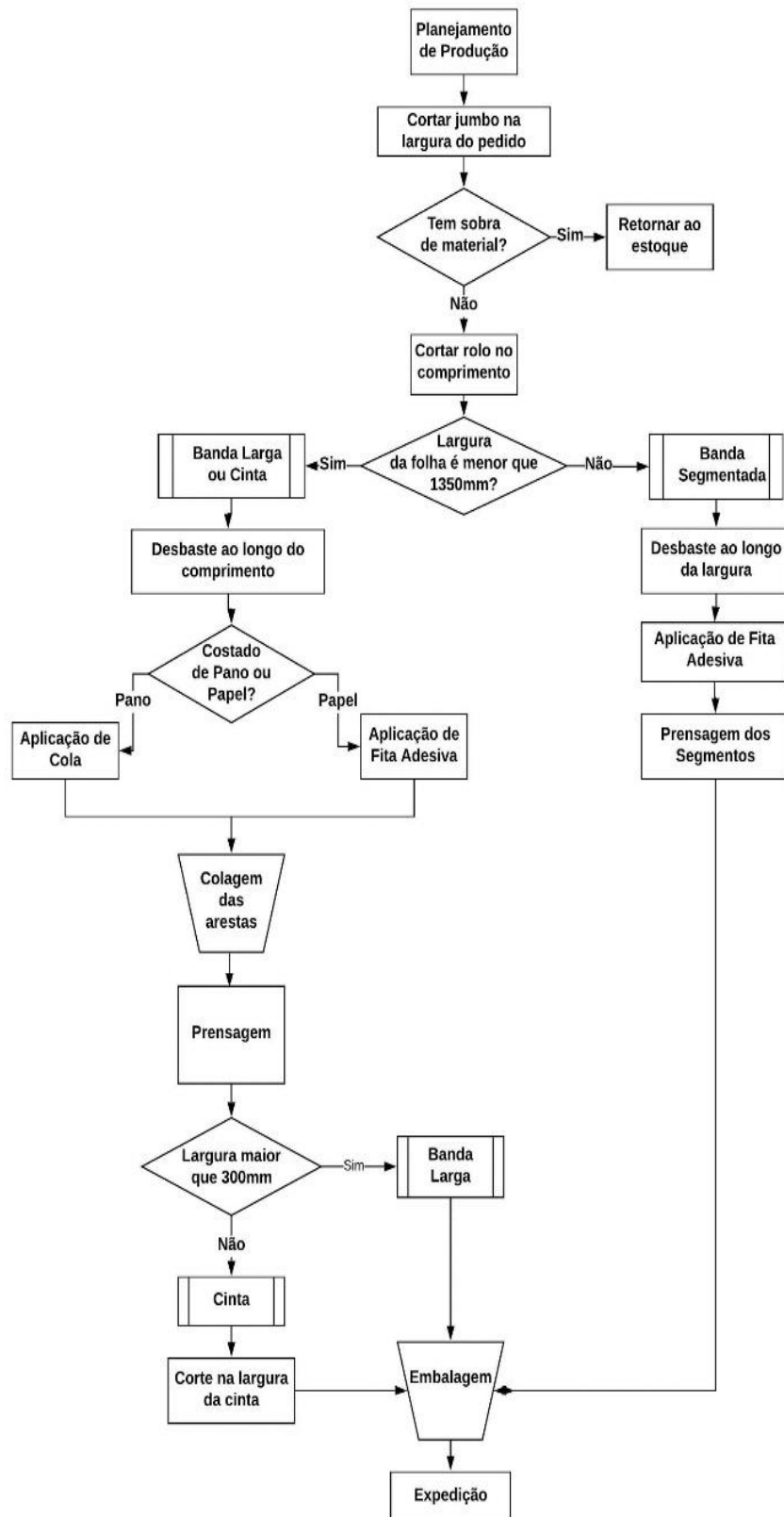
2.1 BANDA SEGMENTADA (BS)

A BS segue um processo diferente dos outros produtos fabricados pela unidade, como mostra o fluxograma (fig. 1). Isto se deve à uma limitação de fabricação, imposta pela *slitter*, que é incapaz de processar bobinas com largura superior à 1350mm.

Por esta razão, quando é solicitado pelo cliente uma banda acima deste tamanho, a largura a ser cortada na *slitter* é calculada de tal maneira que a união de 2 ou mais folhas atinja a largura planejada. Logo, o que antes era considerado a largura da folha no primeiro processo (*slitter*), passa a ser seu comprimento no processo de desbaste e posterior, montagem (fig. 2).

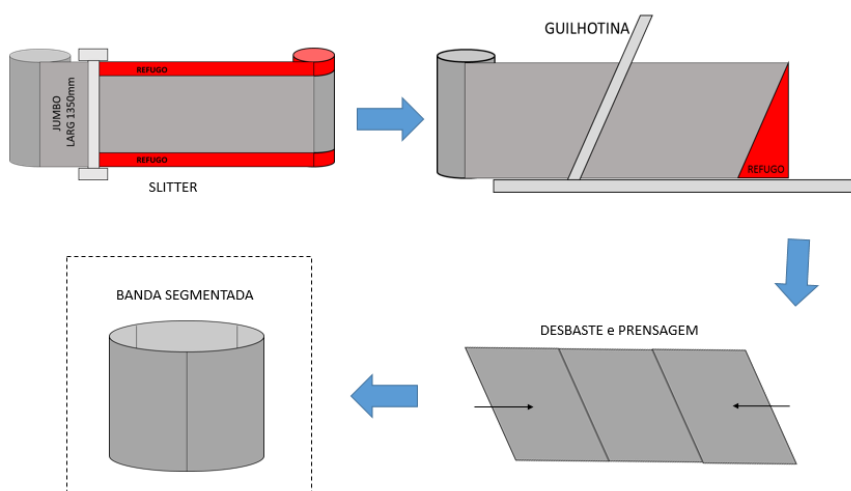
A operação de desbaste é considerada a operação mais crítica de todo o processo, pois exige tolerâncias na casa de centésimos de milímetro, a fim de evitar posterior problema no cliente na região da emenda, tais como ressaltos e acúmulo de poeira proveniente do processo de lixamento.

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Representação simplificada do processo de fabricação de uma BS.



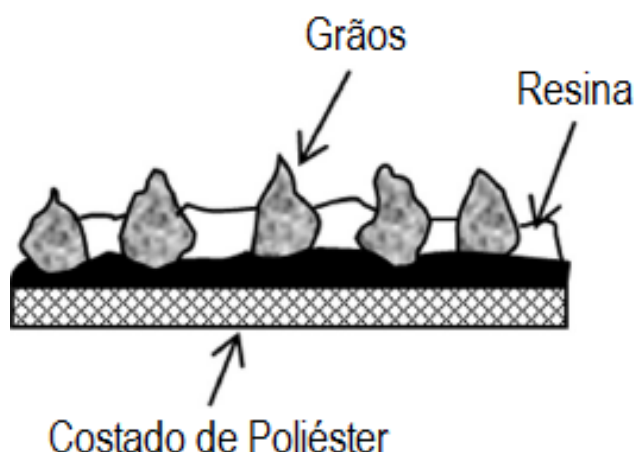
Fonte: Autoria própria.

2.1.1 Lixa Abrasiva

A série estudada possui uma grande diversidade de gramatura, variando desde um mesh 24 até 220. Atualmente, existem diversas normas internacionais para determinar o tamanho de grão, “tais como: ANSI B74.12, FEPA 42-1:2006, FEPA 61/97” (Linke, 2015, p.7).

Dentro desta série, todos os grãos de tamanho até #120 detêm uma configuração de camada aberta, ou seja, os grãos se encontram mais espaçados uns dos outros. Já para os grãos mais finos, a partir de 150 ou mais, a distribuição de camada é dita fechada. Para Assami e Santorelli (2010) um produto abrasivo é constituído de grão abrasivo, um agente ligante para unir os grãos (resina), poros para remoção de rebarbas e poeira. A ilustração a seguir (fig. 3) representa a estrutura de uma lixa com costado de pano.

Figura 3: Estrutura de uma lixa abrasiva.



Adaptado de: Khellouki, Rech e Zahouani (2013)

De acordo com Linke (2015), o formato do grão afeta o número e a forma das arestas de corte, bem como o padrão de ruptura do grão, dificultando a previsibilidade de desgaste e vida útil das ferramentas e das próprias lixas em aplicações industriais. Para Khellouki, Rech e Zahouani (2013) apesar de existir uma força macroscópica atuando na superfície de contato do abrasivo com a peça, a distribuição desta força sobre os grãos não é igualitária.

Para que um processo de lixamento ocorra, a dureza do grão deve ser maior do que o desgaste do material no processo de atrito. Analogamente, para que a ferramenta de corte consiga romper o rolo, sua resistência ao desgaste deve ser maior do que a dureza do grão. De acordo com Linke (2015) a tenacidade é definida como a capacidade que o material tem de resistir a fratura e/ou propagar uma trinca. Inversamente ao conceito de tenacidade, surgiu o termo friabilidade, ou seja, a facilidade com que um material tem de se desfazer.

A tabela 2 apresenta os valores tanto de dureza, quanto de friabilidade para os dois dos materiais mais comumente utilizados na fabricação de produtos abrasivos, AL_2O_3 e SiC.

Tabela 2: Grau de Dureza e Friabilidade de diferentes tipos de grão

Tipo de Grão		Dureza Knoop (kg/mm ²)	Índice de Friabilidade
Óxido de Alumínio (AL ₂ O ₃)	Rosa/Vermelho (3% Cr)	2,26	65
	Branco	2,12	56,6
	Cristal único	2,28	47,7
	Regular	2,04	35,6
	Microcristalino	1,95	10,9
	10% ZrO	1,96	10,9
	40% ZrO	1,46	7,9
	Sinterizado	1,37	6,5
Carbeto de Silício (SiC)	Verde	2,84	62,5
	Preto	2,68	57,2

Adaptado de: Assami e Santorelli (2010)

2.2 PROCESSO DE CONVERSÃO DA BANDA

A primeira etapa na conversão do abrasivo consiste em transformar o jumbo em rolos menores, de acordo com a necessidade do cliente. Todas as sobras retornam ao estoque para serem utilizadas em demandas posteriores. A imagem abaixo (fig. 4), retrata o corte de uma lixa abrasiva com costado de papel, para produção de uma banda larga.

Figura 4: Máquina para corte de rolos - *Slitter*



Fonte: Autoria própria

Na sequência, o material passa pela guilhotina, onde é cortado em folhas com uma angulação especificada, que tem como objetivo aumentar a resistência circunferencial (tração) no ponto mais crítico da banda, a emenda, e suavizar a tendência de formação de vinco.

Posteriormente, o material tem dois caminhos a seguir, de acordo com sua largura, como mostra o fluxograma simplificado do processo (fig.1). Tanto a máquina X quanto a máquina Y têm basicamente a mesma função, desbastar as extremidades, aplicar cola e/ou fita adesiva para junção das mesmas, dependendo da composição do costado.

2.3 PROCESSO DE CORTE NA *SLITTER*

Meehan e Burns (1997) definem o processo de corte como um misto de cisalhamento e fratura do material para criação de novas superfícies. De acordo com a empresa *Dusenbery Converting Systems*, especializada na fabricação de máquinas de corte rotativo longitudinal, existem basicamente 3 técnicas empregadas no corte *slitting*: *razor blade*, *shear slitting* e *score cut slitting*. O que determina qual a modalidade mais adequada ao processo é a espessura e a composição do material a ser cortado.

2.3.1 Corte com Lâmina Afiada (*razor blade*)

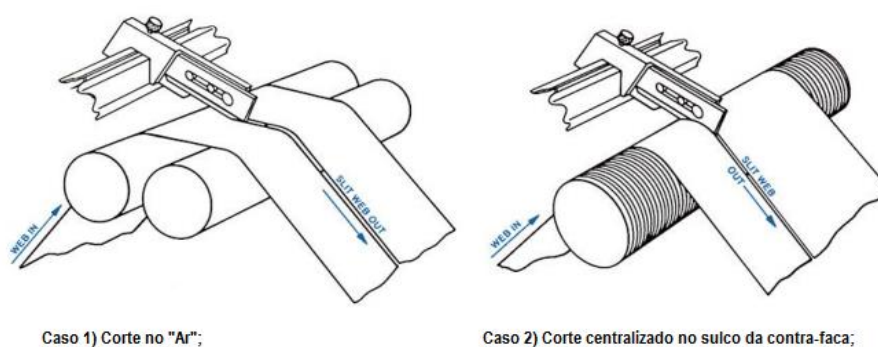
De acordo com Manual Técnico da *Dusenbery*, das 3 técnicas apresentadas, o corte com lâmina afiada, também conhecido como *razor cutting*, que apresenta melhor custo benefício, se levados em conta apenas os custo do equipamento original, da faca circular, a velocidade de processamento e o número de *set-up*'s. Porém, este método não fornece precisão dimensional no corte de materiais pesados, rígidos ou abrasivos. Para Pfeiffer (1997) a vantagem deste processo se encontra em sua simplicidade e falta de partes móveis.

Na figura 6 são evidenciadas duas possibilidades de utilização de uma lâmina com perfil retangular, primeiramente o corte no “ar”, ou seja, sem uma base para contrapor a faca; e na sequência um corte centralizado nos sulcos da contra-faca.

A existência destes sulcos auxiliam na precisão do corte, pois fornecem suporte para a malha deslizar, evitando estiramentos e movimentos indesejados. Este efeito somente pode ser observado se o contato da malha com a contra-faca for substancial, ou seja, não apenas tangencial.

Apesar de o set up do caso 1 ser mais rápido, a precisão do corte é menor. Por esta razão, o segundo método é o mais recomendado. O tempo extra no início do processo é importante, para garantir o posicionamento correto da lâmina no centro do sulco, uma vez que o contato entre eles destrói a lâmina e danifica o sulco, diminuindo a vida útil de ambos.

Figura 5: Exemplos de *razor cutting*;

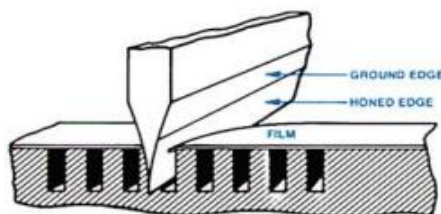


Adaptado de: Site *Parkinson Technologies Inc.*

Acesso em: 15/11/2019

A figura 6, mostra a interação entre a ferramenta e a contra-faca, na presença de sulcos.

Figura 6: Detalhe da ferramenta centralizada no sulco.



Fonte: Site Parkingson Technologies Inc.

Acesso em: 15/11/2019

Segundo Pfeiffer (1997) esta técnica exige que a malha seja de um material macio e livre de inclusões abrasivas, sendo mais usado no processamento de filmes plásticos.

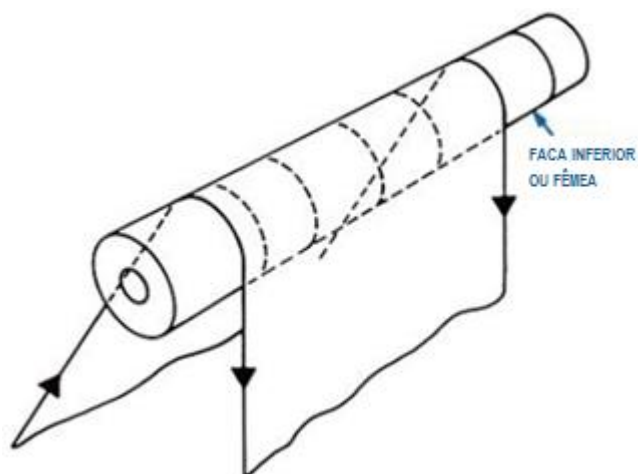
2.3.2 Corte por Cisalhamento (*shear slitting*)

No processo de corte por cisalhamento o fator mais importante é o ângulo entre as duas facas circulares, simulando o efeito de uma tesoura cortando o papel. Por conseguinte, quando a malha está mais rápida do que a faca, o efeito observado é o da faca se fechando na malha, como uma tesoura; mas se o oposto acontece, ou seja, se a faca for mais rápida do que a malha, o que se vê é o material sendo empurrado contra as tesouras.

Ainda segundo Dusembery, a influência da velocidade relativa do material e as forças de cisalhamento não estão bem definidas na literatura. Mas observa-se que a força de cisalhamento é menor quando as facas rotacionam rapidamente, pois menos material é cortado por revolução da faca.

As duas principais configurações do material a ser cortado e a ferramenta de corte, são chamados de *wrap slitting* (fig. 7) e *kiss slitting*, que é quando a ferramenta toca apenas tangencialmente na peça. Por convenção a faca de apoio é chamada de feminina e a faca superior de masculina.

Figura 7: Wrap Slitting - Malha envolve faca feminina.

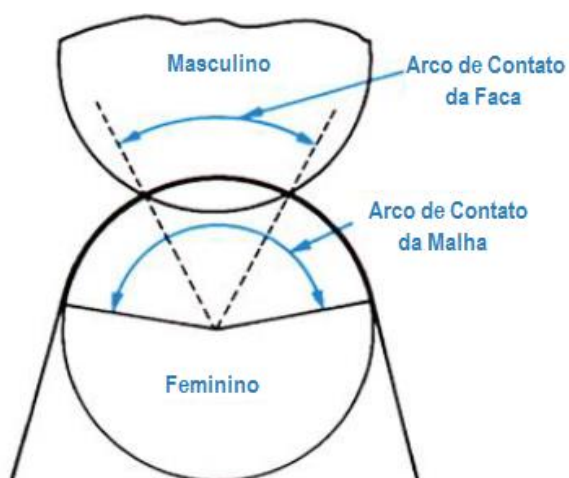


Adaptado de: *Site Parkinson Technologies Inc.*

Acesso em: 15/11/2019

Para evitar refugos devido à rasgos no material, é importante observar que o arco formado entre a superfície de contato da malha com a peça feminina seja maior do que aquele formado pelo contato da faca fêmea com a faca macho (fig. 8), do contrário a faca superior.

Figura 8: Arco de contato entre a faca fêmea e a faca macho.

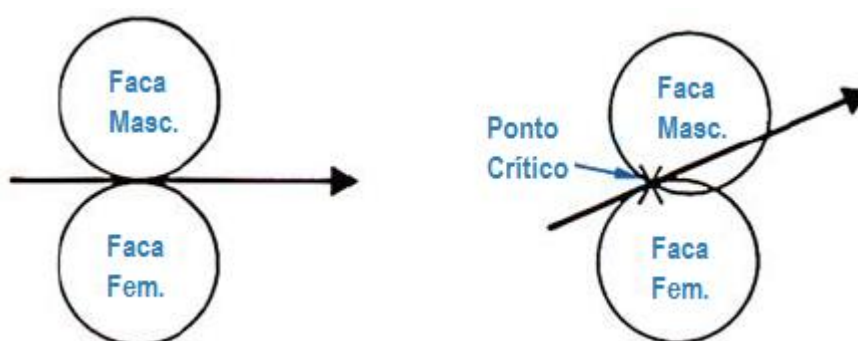


Adaptado de: *Site Parkinson Technologies Inc.*

Acesso em: 15/11/2019

No caso de uma configuração *kiss slitting* (fig. 9), o momento de contato entre a malha e as facas deve ocorrer simultaneamente, no que a empresa especializada Dusenbery chama de “ponto crítico”, para evitar a ocorrência de rupturas abruptas do material, ao invés de cortes precisos, no início do contato ou ao final dele.

Figura 9: Representação esquemática de um processo *kiss slitting*;



Adaptado de: *Site Parkinson Technologies Inc.*

Acesso em: 15/11/2019

2.3.3 Corte por Esmagamento (*score cutting*)

O corte por esmagamento, *crush cutting*, ou ainda *score cutting* como o próprio nome já sugere, se baseia na ideia de aplicar uma força suficientemente grande a ponto de causar a separação do material. Pfeiffer (1997) afirma que este processo é recomendado para o processamento de materiais extremamente duros.

De acordo com as observações da equipe da Dusenbery, a ferramenta indicada para este tipo de processo é aquela que não está, nem cega (sem fio) e nem completamente afiada, mas sim, possui um perfil arredondado na ponta, como o mostrado na imagem a seguir (fig. 10).

Para Pfeiffer (1997) determinar o design ideal da faca para que ela tenha uma maior resistência ao desgaste é variável para cada processo, pois “um raio finito deve ser incluído na ponta da faca²” (Pfeiffer, 1997, p.483, tradução própria). O propósito

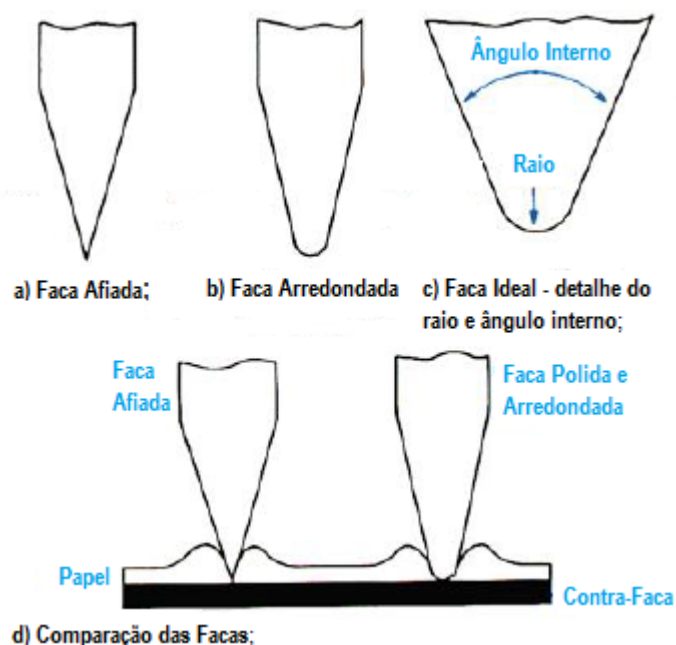
² “a finite radius must be included at the tip of the blade”.

do raio na ponta da ferramenta é justamente evitar que a mesma fique cega e/ou quebre quase que instantaneamente ao início do processo.

Ainda segundo Pfeiffer (1997):

“Se o ângulo interno entre as extremidades for muito estreito, a lamina estará sujeita à um desgaste rápido. Porém, se ele for muito obtuso, o desgaste será baixo, mas o corte sofrerá com transferência de material da malha, tanto para a faca, quanto para a contra-faca, ocasionando aderências e a possibilidade de ruptura do material”³ (Pfeiffer, 1997, p.483, tradução própria).

Figura 10: Comparação entre uma faca afiada e uma faca com perfil arredondado



Adaptado de: *Site Parkinson Technologies Inc.*

Acesso em: 15/11/2019

Obviamente, depois de algum tempo de uso é natural a contra-faca apresentar ranhuras. Segundo Pfeiffer (1997) “as facas rotativas pressionadas contra a contra-

³ “If the included angle between the edges is too narrow, the blade will be subjected to rapid wear. With a high included angle between edges, the wear rate will be low, but the cutting action will suffer, with web material transferred to both the backup and blade causing occasional sticking and the possibility of web brakes”.

faca são também muito duras, criando pressões extremas no ponto de contato”⁴ (Pfeiffer, 1997, p.483). Para que a contra-faca tenha uma maior vida útil Pfeiffer (1997) afirma que a contra-faca deve ser lisa e retificada com uma dureza de 62 HRC ou mais.

2.4 AÇOS FERRAMENTA

São chamados aços ferramentas aquelas ligas mais comumente utilizadas na fabricação de ferramentas para usinagem de componentes industriais. Sob o ponto de vista da aplicação, podem ser classificados como sendo para trabalhos à frio, trabalhos à quente, e para fabricação de moldes.

Estes aços contêm uma quantidade relativamente grande de elementos como tungstênio, vanádio, molibdênio e cromo. Tal constituição confere aos aços ferramentas características como “elevada dureza e resistência à abrasão, boa tenacidade e, em algumas ligas, a capacidade de manter as propriedades de resistência mecânica mesmo sob elevadas temperaturas” (*Site Villares Metals*; acessado em: 20/11/2019).

2.5 DESGASTE ABRASIVO

O processo de desgaste trata-se de um fenômeno que ocorre na superfície do material ocasionando uma modificação de sua dimensão ou redução da eficiência em serviço de um componente, devido ao arrancamento ou deslocamento de partículas do corpo metálico.

⁴ *the rolling blades pressed against the backup are also very hard, creating extreme pressures at the contact point*

De acordo com Stachowiak e Batchelor (1993) existem duas características de relevância para a ocorrência de desgaste e atrito. O primeiro diz respeito a efeitos observados em escala atômica numa superfície denominada plana.

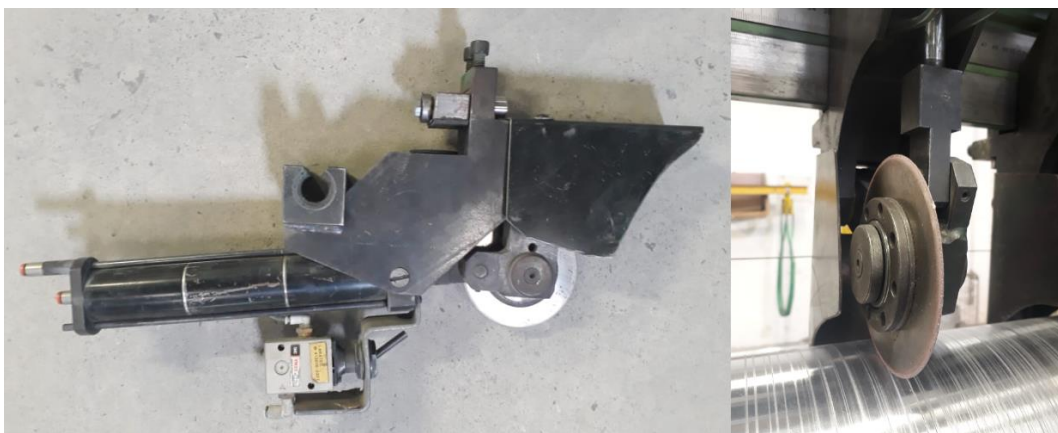
A segunda, refere-se a rugosidade superficial da peça que faz com que a área efetiva de contato seja muito menor do que aquela que pode ser observada a olho nu. Ainda segundo Stachowiak e Batchelor (1993) a rugosidade na superfície dos componentes é um fator crítico, uma vez que determina a habilidade da superfície de suportar uma carga.

2.5.1 Critério de Fim de Vida

Para Ferraresi (1970) “a vida da ferramenta é o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja um critério de fim de vida previamente estabelecido”.

No processo de corte estudado, a diminuição da pressão de contato com a perda de diâmetro da faca deve ser compensada com o aumento da força atuante nos pistões. A imagem abaixo (fig.11), apresenta o mecanismo de atuação das facas.

Figura 11: Sistema pneumático de corte da *Slitter*.



Fonte: Autoria própria.

Devido a uma limitação física do mecanismo, facas com diâmetro menor que 75mm não podem mais ser utilizadas neste processo.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Este capítulo aborda a metodologia adotada durante a etapa de testes para conhecermos a composição das facas, bem como seu rendimento.

3.1 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram avaliadas 2 facas circulares metálicas com diâmetro de 80 e 85mm de dois fornecedores diferentes, chamados neste estudo de Fornecedor 1 e 2 respectivamente. Ambas possuem espessura de 2mm e foram submetidas a um tratamento térmico de têmpera, seguido de revenimento.

3.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Uma vez que a composição das mesmas era desconhecida, foi realizado um teste de Espectrometria de Emissão Ótica, no Campus Ponta Grossa, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O equipamento utilizado foi um Espectrômetro de Emissão Ótica, modelo PDA7000 da Marca Shimadzu (fig. 12).

Figura 12: Espectrômetro de Emissão Ótica



Fonte: Site Shimadzu.

Acesso em: 20/11/2019.

Em seguida, realizou-se um ensaio de microdureza, onde não foi necessário nenhum processo de acabamento da superfície ou embutimento da amostra para a preparação das amostras, uma vez que estas já se encontram polidas em seu estado de fornecimento. O equipamento utilizado para este ensaio foi o modelo SHIMADZU 819 HMV 20G (fig. 13), localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais, de propriedade da Universidade Tecnológica do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Figura 13: Microdurômetro Digital Shimadzu Modelo 819 HMV 20G.



Fonte: Site Shimadzu.

Acesso em: 20/11/2019.

Após a realização do teste prático, as facas foram cortadas em dois locais, a fim de obter uma amostra menor para possibilitar a visualização no Microscópio Eletrônico de Varredura, da marca Tescan e modelo VEGA3 (fig. 14), também de propriedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

Figura 14: Microscópio Eletrônico de Varredura – Tescan VEGA3.



Fonte: Site Tescan

Acesso em: 29/11/2019

3.3 TESTE IN LOCO

Uma vez determinada a série a ser estudada, os testes práticos foram realizados concomitantemente à demanda de produção.

Dentro do conjunto de grãos comercializados deste material, a tabela 3 apresenta aqueles em que foi possível realizar o ensaio.

Tabela 3: Granulometria estudada

	# 24	# 36	# 40	# 50	# 60	# 80	# 100	# 120	# 150	# 180	# 220
FNC 1				X	X	X	X	X	X	X	
FNC 2			X	X	X	X	X	X		X	

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos serão apresentados na seção 4 deste trabalho.

3.3.1 Especificações da *Slitter*

A máquina utilizada é uma *Roll Slitter Mac*, da marca italiana Biko, modelo TRM 160 1650, com capacidade para acoplar até 12 facas simultaneamente, acionadas por um pistão pneumático.

3.3.2 Obtenção de Dados

Para o levantamentos de dados ambas as peças foram medidas usando um paquímetro analógico da marca *Starret*, com resolução de 0,05mm. O formulário desenvolvido se encontra no Apêndice A.

A primeira medição ocorreu antes das amostras serem acopladas na máquina, para determinar seu diâmetro inicial. A partir deste momento, as aferições ocorreram sempre ao final da metragem requerida na ordem de produção e/ou quando se fez necessário a elevação da pressão das facas.

Para simplificação do problema, variáveis como a velocidade de corte e a pressão dos cilindros superior e inferior foram desconsiderados na análise, uma vez que estes dependem diretamente de fatores como tipo de material a ser processado, granulometria, peso e comprimento do jumbolino, podendo variar consideravelmente dentro de poucos metros de corte. Esta consideração é aceitável uma vez que:

“A taxa com que o material é cortado parece ter pouca influência nos resultados obtidos na curva de corte e na sua estabilidade. A tensão na malha exerce efeitos mínimos na força de corte”⁵ (MEEHAN; BURNS, 1998, p.108).

⁵ “The rate at which the material is slit appears to have minor effects on the measured cutting-force curve and its stability. The tension in the web has minimal effects on the cutting force”

O teste foi declarado encerrado com base no critério empregado pelo operador responsável, seguindo as recomendações da empresa e também a expertise do colaborador.

Uma vez que o teste prático foi concluído, os resultados foram inseridos em uma planilha *excel* e confrontados. As conclusões serão apresentadas na sessão subsequente.

3.3.3 Taxa de Desgaste (TD)

Para possibilitar a comparação de dados entre as amostras, estabeleceu-se uma variável de comparação chamada TD, medida em mm/m (milímetros por metro linear), ou seja, o quanto a faca perdeu em diâmetro, divididos por quantos metros lineares ela foi capaz de cortar.

A TD pode ser calculada através da fórmula abaixo:

$$TD = \frac{\Delta \cdot D}{m} = \frac{D_{final} - D_{inicial}}{m}$$

3.4 ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Um ensaio no MEV foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, a fim de obter uma imagem da seção transversal e outra frontal na região de desgaste para os grãos 50, 100 e 180 de ambos os fornecedores, bem como de uma faca afiada de ambos.

Para que o ensaio fosse realizado, as facas precisaram ser cortadas no formato de um arco de 15 à 20mm de comprimento, baseando-se no raio externo. O equipamento de corte também é pertencente à Universidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta sessão apresenta os resultados obtidos com as técnicas de caracterização descritas na seção anterior, bem como os testes práticos realizados na empresa.

4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A técnica de espectrometria de emissão ótica revelou que ambas as facas possuem características muito semelhantes em termos de composição química para os fornecedores 1 e 2 (tab.4). Tais concentrações de C e Cr são característicos de um aço K10010, compatível com AIDI D3, apresentado no catálogo da Bohler (fig. 15).

Tabela 4: Percentual de cada elemento químico na composição da liga estudada

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%	Cu%	Co%	Al%	Pb%	W%	Ti%	V%	Nb%	B%	Fe%
Fornecedor 1	1,19	0,24	0,36	0,02	0,00	0,34	11,14	0,14	0,07	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,10	0,01	0,00	86,37
Fornecedor 2	1,22	0,12	0,22	0,02	0,01	0,10	10,97	0,06	0,04	0,00	0,02	0,00	0,15	0,00	0,07	0,00	0,00	87,01

Fonte: Autoria própria.

Figura 15: Composição química do aço K100

Composição Química (média %)			
Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %) / Chemical composition (average %)			
C	Si	Mn	Cr
2,00	0,25	0,35	11,50

Adaptado de: Catálogo Bohler.

Acesso em: 20/11/2019.

A dureza encontrada, em ambas as facas também possui valores muito próximos. A tabela abaixo apresenta os valores medidos em Vickers, que mais tarde foram convertidos para Rockwell C.

Tabela 5: Valores medidos em Vickers e Rockwell C.

	Vickers	Vickers (méd.)	Hockwell C
FNR 1	746	760	63
	756		
	777		
FNR 2	832	824	65
	822		
	819		

Fonte: Autoria própria.

4.2 RENDIMENTO DAS FACAS

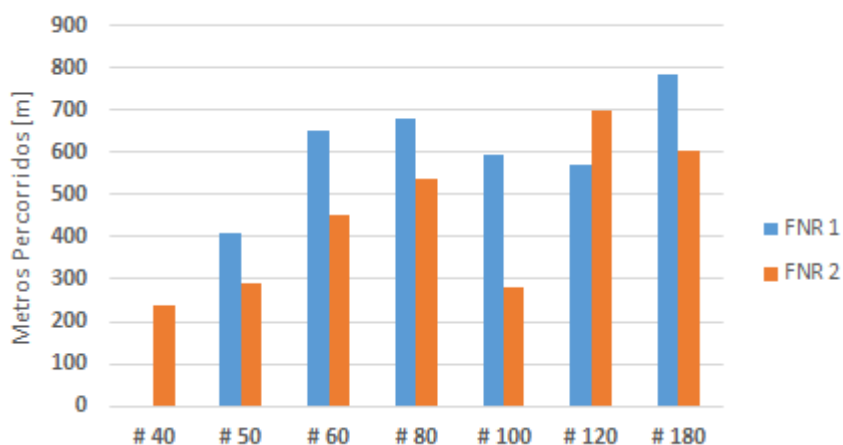
O gráfico abaixo (fig. 16) apresenta quanto metros de abrasivo foram cortados para cada granulometria. Apesar do longo período de testes, cerca de 6 meses, nem todas as amostras atingiram o fim de vida. A tabela 6, mostra em quais grãos o fim de vida foi alcançado.

Tabela 6: Condição de fim de vida ao final dos testes para cada grão estudado

	# 40	# 50	# 60	# 80	# 100	# 120	# 180
FNR 1	-	S	S	S	N	N	S
FNR 2	N	N	S	S	N	S	N

Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Desempenho das facas ao final do experimento em termos de metros percorridos.



Fonte: Autoria própria.

Considerando que apenas os testes com os tamanhos de grãos 60 e 80 puderam ser finalizados, percebe-se um rendimento superior da primeira amostra (FNR 1) de cerca de 30% e 20%, respectivamente.

Esta diferença deve-se, provavelmente ao critério empregado para alteração da pressão, como detalhado no próximo capítulo.

4.3 INFLUÊNCIA DA PRESSÃO

Tendo em vista que apenas os grãos 60 e 80 foram finalizados para ambos os fornecedores, as análises subseqüentes focam nestas 2 amostras.

A tabela 7 apresentara os dados obtidos experimentalmente para o grão 60.

Tabela 7: Comparativo de Rendimento para o Grão 60 entre FNC 1 e FNC 2

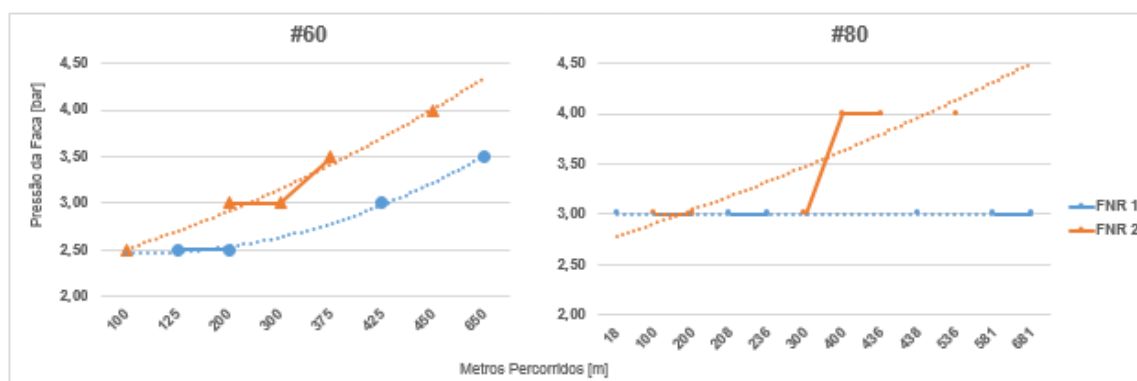
FNR	Pressão da Faca [bar]	Medida Inicial [mm]	Medida Final [mm]	Metros Percorridos [m]	Perda Diâmetro Absol.	Perda Diâmetro %	Metros Percorridos Acum [m]	Taxa de Desgaste [mm/ml]
FNR 1	2,50	80,10	79,30	125	0,8000	1,00%	125	0,0064
FNR 1	2,50	79,30	79,00	75	0,3000	0,38%	200	0,0040
FNR 1	3,00	79,00	78,50	225	0,5000	0,63%	425	0,0022
FNR 1	3,50	78,50	78,10	225	0,4000	0,51%	650	0,0018
FNR 2	2,50	85,35	84,80	100	0,5500	0,64%	100	0,0055
FNR 2	3,00	84,80	84,45	100	0,3500	0,41%	200	0,0035
FNR 2	3,00	84,45	84,30	100	0,1500	0,18%	300	0,0015
FNR 2	3,50	84,30	84,15	75	0,1500	0,18%	375	0,0020
FNR 2	4,00	84,15	83,95	75	0,2000	0,24%	450	0,0027

Fonte: Autoria Própria.

Logicamente, devido ao processo de desgaste, a faca perde diâmetro, o que acarreta em perda de pressão de contato, esta perda ser compensada com o aumento da força atuante nas facas.

A figura 17 apresenta evidência que, para cada uma das amostras, FNR 1 e FNR 2, foi utilizado um critério diferente para ajuste de máquina.

Figura 17: Comparativo entre processos relativo ao uso da pressão atuante nas facas.

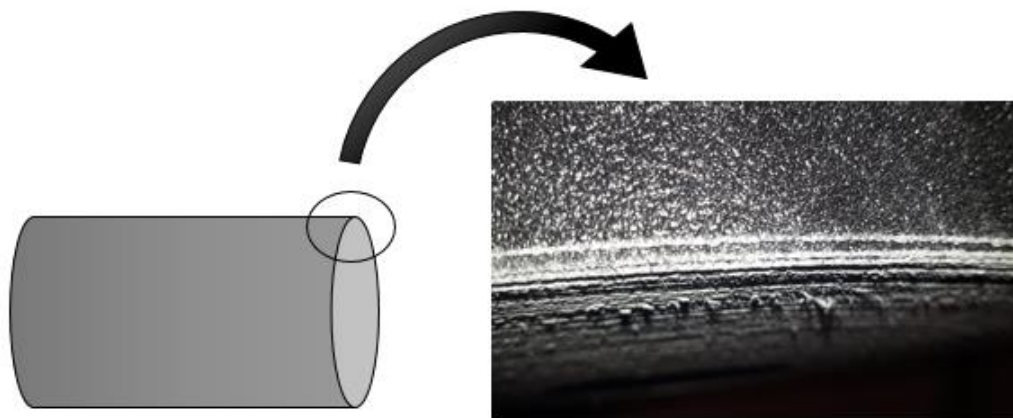


Fonte: Autoria própria.

Em resumo, pode-se concluir que não existe um consenso sobre o momento adequado para alterar a força dos pistões que atuam sobre a faca, essa compensação é feita manualmente pelo operador, dependendo exclusivamente do conhecimento do mesmo sobre as particularidades do processo. A figura 18 abaixo apresenta a borda

de um jumbo cortado com uma faca em condições abaixo do ideal, fazendo com que a trama de poliéster se desfaça (desfie).

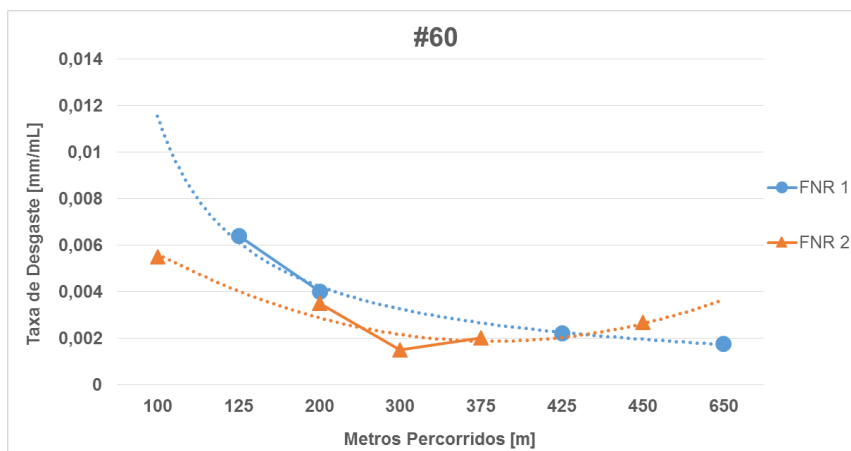
Figura 18: Defeito originado pela má qualidade de cortes.



Fonte: Autoria própria.

A figura a seguir (fig.19) apresenta o rendimento das facas em função da distância percorrida pelas mesmas. Nota-se pela tendência das curvas que no início do processo havia um elevado desgaste da faca, provavelmente em decorrência do perfil afiado (ângulo de 30°).

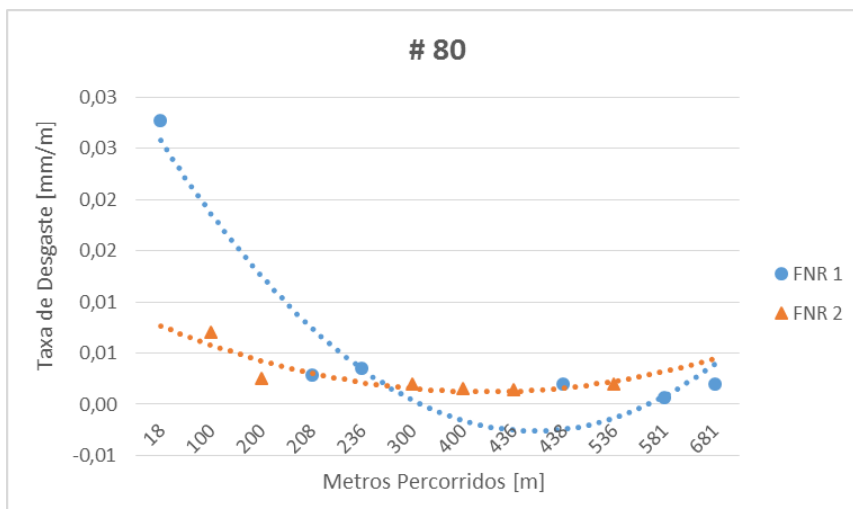
Figura 19: Comparação de rendimento entre fornecedores e taxa de desgaste para o grão 60.



Fonte: Autoria própria.

Os mesmos fenômenos podem ser observados para o grão 80, apresentados a seguir.

Figura 20: Comparação de rendimento entre fornecedores e taxa de desgaste para o grão 80.



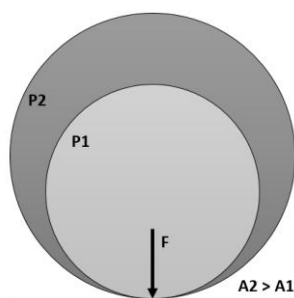
Fonte: Autoria própria.

4.4 INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DA FACA

Baseando-se nos resultados apresentados na seção 4.1, pode-se dizer que em termos práticos, a única diferença entre as duas amostras é seu diâmetro inicial, de 80 e 85mm, para FNR 1 e FNR 2 respectivamente. Sabe-se que a pressão (N/m^2) atuante nas facas pode ser definida pela relação entre a força aplicada (N) e a área de contato (m^2). Logo espera-se que a faca menor exerça uma maior pressão de contato com o material (fig. 21), tendo como resultado um desgaste mais acentuado.

Sabe-se também que a velocidade tangencial da faca sofre alteração com a mudança de diâmetro, uma vez que a faca não possui propulsão própria, ou seja, é impulsionada pelo atrito com a malha. Porém, esta variável foi desconsiderada neste estudo.

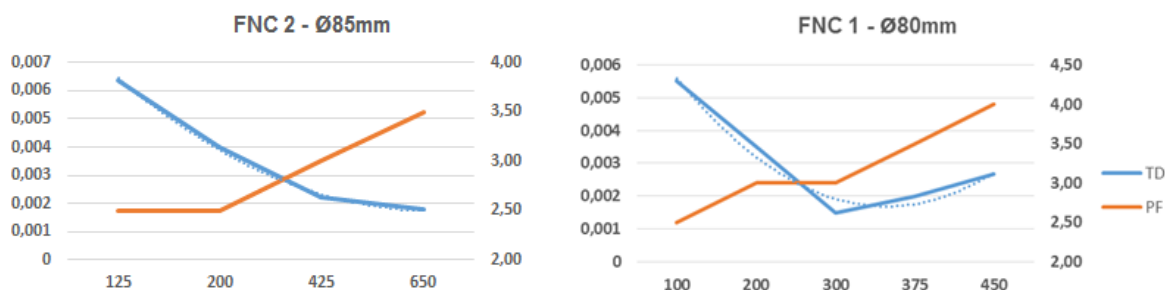
Figura 21: Força atuante no corte.



Fonte: Autoria própria.

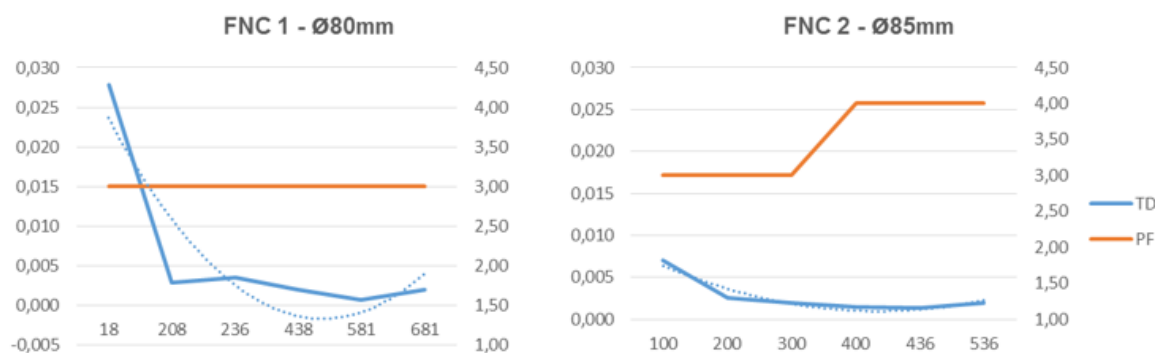
Analisando o gráfico TD x PF x D percorrida pela faca para o grão 60 (fig. 22), nota-se que a faca de 80mm obteve uma taxa de desgaste maior do que aquele alcançado pela faca maior, para uma granulometria de 60. O mesmo fenômeno pode ser observado em um grão 80 (fig. 23).

Figura 22: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 60.



Fonte: Autoria própria.

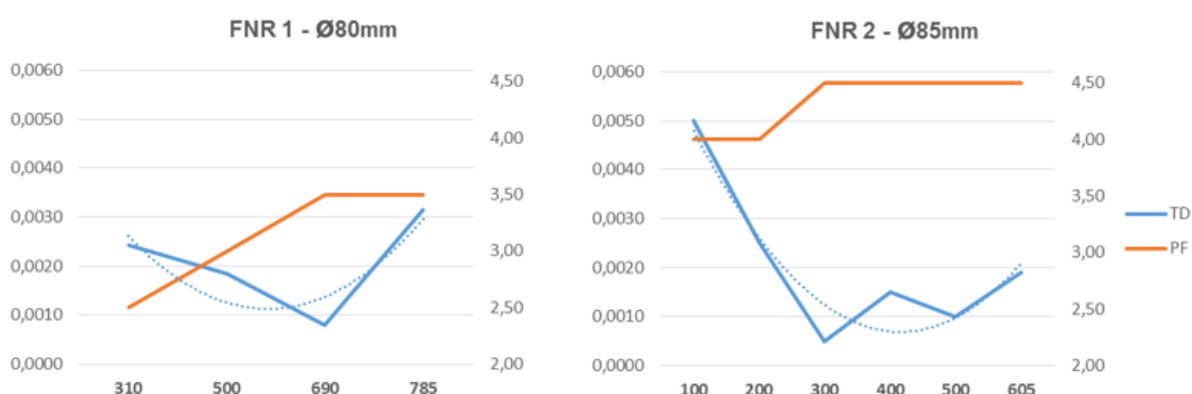
Figura 23: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 80.



Fonte: Autoria própria.

Entretanto, a metodologia de coleta de dados para o grão 180 (fig. 24), impossibilita a verificação da influência do diâmetro, uma vez que a primeira medição realizada no FNR 1 ocorreu após 300m de corte, enquanto que no FNR 2 a mesma ocorreu com 100m.

Figura 24: Gráfico comparativo entre as facas de diâmetro de 80 e 85mm para o grão 180.



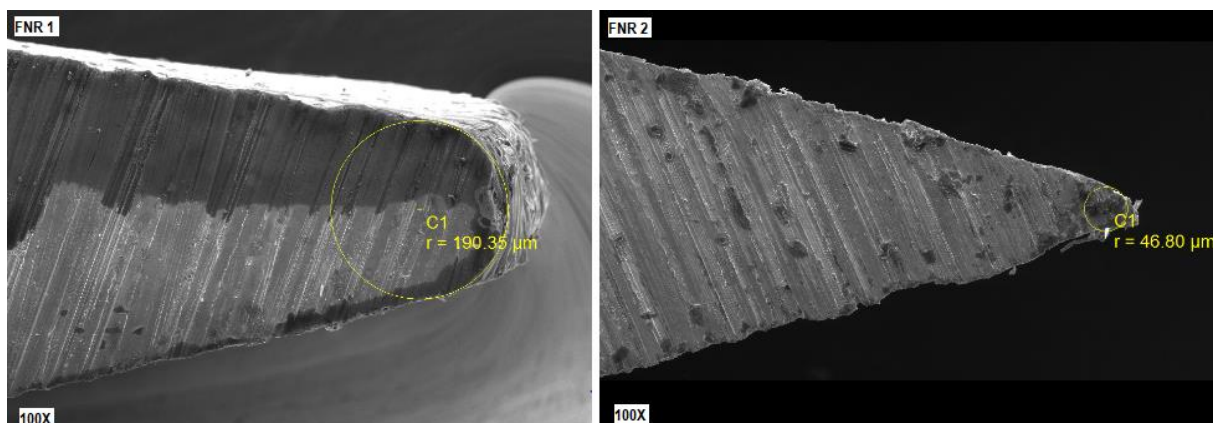
Fonte: Autoria própria.

4.5 INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE AFIAÇÃO

Como apresentado na seção 2.3, trata-se de um processo de corte por esmagamento, onde o recomendado é utilizar uma faca com ângulo obtuso e ponta arredondada (fig. 25). Muito provavelmente, as altas taxas de desgaste apresentadas no início de todos os processos também tem relação com a afiação da ferramenta.

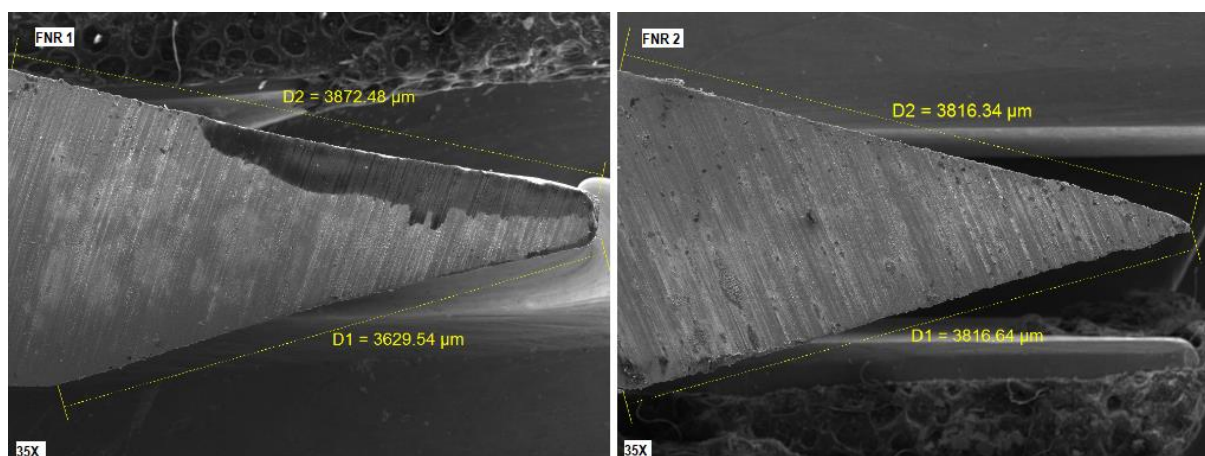
As imagens obtidas no MEV, fornecem uma vista de perfil (fig. 26) e também de topo (fig. 27) das facas de ambos os fornecedores em seu estado de fornecimento.

Figura 25: Medição do raio de afiação – SEM MAG 100x.



Fonte: Autoria própria.

Figura 26: Medição da aresta do perfil de afiação – SEM MAG 35X.



Fonte: Autoria própria.

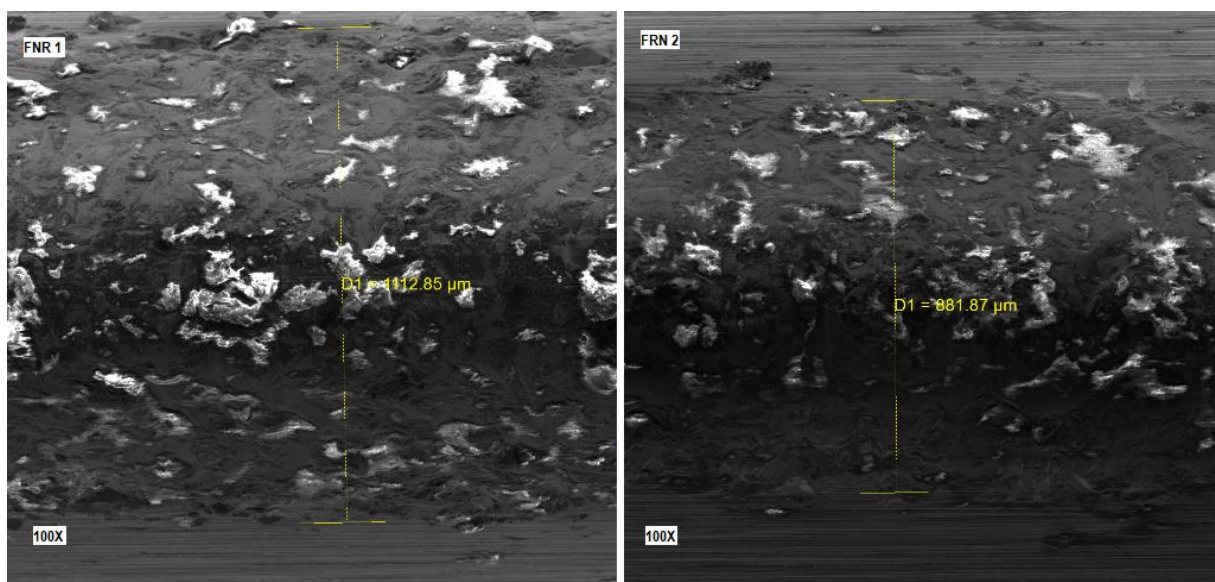
Comparando o perfil de ambas as facas, percebe-se que o FNR 2 possui um raio de afiação 4x menor que a faca do FNR 1, o que de acordo com Dusembery e Pfeiffer é prejudicial ao rendimento da faca.

Porém, também pode-se observar na figura 26 que a faca do primeiro fornecedor se encontra com a afiação fora de centro, o que por si só constitui um problema, pois altera a medida de corte e, possivelmente, pode gerar forças de corte descentralizadas.

Caracteristicamente, grãos maiores removem mais material e, por consequência, sofrem desgaste muito mais rapidamente. A imagem abaixo traz um

aumento de 100x em uma vista de topo de ambas as facas utilizadas no grão 50. Nota-se na figura 27.a) que a região afetada em FNR 1 é cerca de 20% maior que a do FNR 2, o que é condizente com a sua utilização na *slitter* que foi de cerca de 30% de metros cortados a mais.

Figura 27: Medição da região desgastada mesh 50 – 100x.



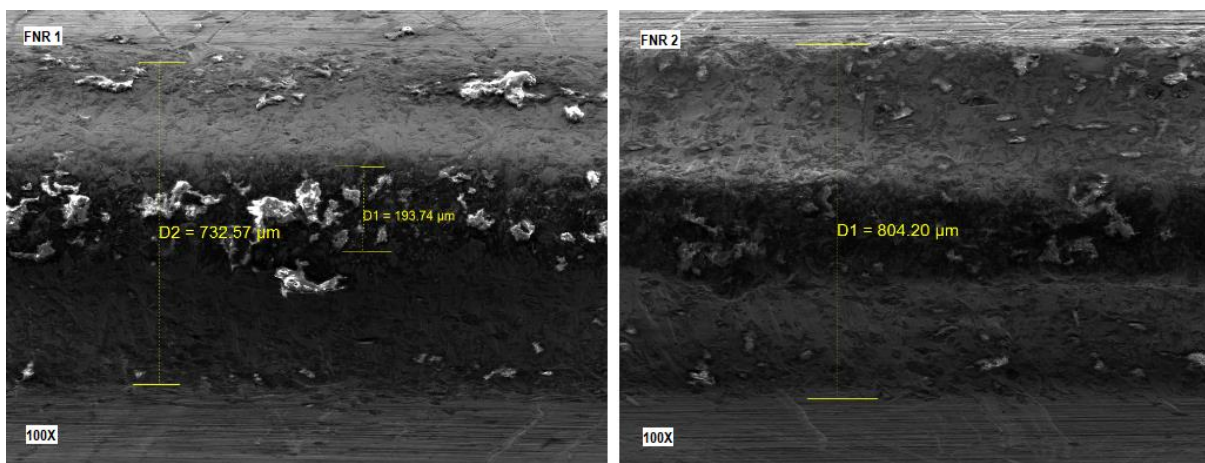
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tab. 16, o teste foi finalizado para o FRN 1 – Grão 50. Porém, a imagem do MEV, revela que ainda existe fio e a faca pode ser utilizada por mais tempo.

Percebe-se ainda, que a quantidade de inclusões decorrentes do material da lixa, é muito superior na faca 1. Muito provavelmente, isto se deve à diferença de diâmetro, que interfere na pressão de contato. O mesmo se verifica com o grão 80 (fig.28).

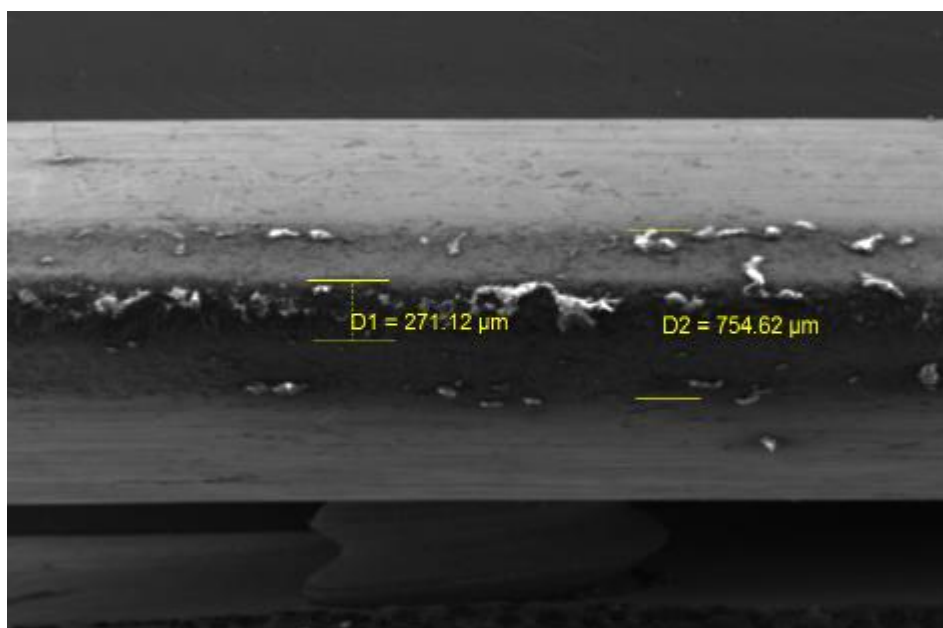
Analisando as imagens obtidas para o grão 180 (fig. 28), verifica-se que ainda existe afiação em ambas as facas e que, apesar de a faca 2 ter sido menos solicitada, apenas 605m contra 785 da faca 1, ambas tem aproximadamente a mesma área desbastada.

Figura 28: Medição da região desgastada mesh 50 – 180x.



Fonte: Autoria própria.

Figura 29: Medição da região de afiação FNR 2 – 60X.



Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho são relevantes para confirmar as informações repassadas pelos fornecedores, em termos de composição química, dureza de superfície e comportamento em serviço. Bem como aumentar os conhecimentos da empresa em relação ao processo de *slitter*.

Constatou-se, por meio da revisão literária, que o ângulo de afiação utilizado atualmente não é o mais adequado para o processo de corte por esmagamento, sendo necessário mais estudos para a determinação do mesmo.

Os ensaios realizados demonstraram que, em termos de fabricação são poucas as diferenças entre os fornecedores. Logo, a variação de rendimento pode ser atribuída à subjeção dos critérios de gerenciamento da ferramenta, sob responsabilidade do operador.

Outro fator pertinente, é a grande rotatividade sofrida no posto de operação durante o período de testes, gerando incongruências nas medições e incoerência na determinação de fim de vida da lâmina.

6. TRABALHOS FUTUROS

Considerando que muitas variáveis do processo foram desconsideradas para simplificação da análise, seguem abaixo sugestões de trabalhos futuros para aprofundar o conhecimento do processo.

- Determinação do raio de ponta e ângulo de afiação adequados ao processo;
- Influência da velocidade da malha no desgaste da ferramenta;
- Estudo de rendimento utilizando um aço 52100 para a confecção da lâmina;
- Estudo de rendimento considerando a aplicação de um revestimento PVD na contra-faca;

REFERÊNCIAS

Aços Ferramenta: O melhor desempenho para sua aplicação. Villares Metals.

Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Ferramenta>>

ANSTICE P.D.; McENANEYT B.; THORNTON P.C.; **Wear of paper slitting blades:** an examination of worn blades from paper mills. Tribology International, vol. 13, issue 6, p. 259-266, 1980.

ASAMI, M.; SANTORELLI, M. **Phenolic Resins:** A Century of Progress. Ed. Springer, Berlim, p. 307-343, 2010.

BOWMAN, T.E.; **Trimmer Knife Life**, Ed. Pulp and Paper Magazine of Canada, p.82-83, 1971.

Dusenbery Slitting Techniques Guide. Parkinson Technologies.

Disponível em: <<https://www.parkinsontechnologies.com/slitting-techniques-guide>>

Espectrometria de Emissão Ótica. PROAQT Empreendimentos Tecnológicos Ltda.

Disponível em: <<http://www.proaqt.com.br/espectrometria-emissao-otica>>

Espectrômetro de Emissão Ótica, Shimadzu, 2019.

Disponível em: <<http://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/elemental/oes/pda-7000.shtml>>

Espectrometria de Emissão Ótica: Análise Química do Aço. Aços Roman, 2019.

Disponível em: <<https://aco.com.br/aco/espectrometria-de-emissao-otica-analise-quimica-do-aco/>>

FERRARESI, D; **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.

Guide to Winding and Slitting. ASHE Converting Equipment, 2019.

Disponível em:<<https://www.ashe.co.uk/ASHE/media/Downloads/pdf/maintenance/winding.pdf>>

KHELLOUKI, A.; RECH, J.; ZAHOUANI, H. **Micro Scale Investigation on Belt Finishing Cutting Mechanisms by Scratch Tests**. Ed. Elsevier, p.12, 2013.

LINKE, B.S. **A Review on Properties of Abrasive Grits and Grit Selection**. Int. J. Abrasive Technology, p.17, 2015.

Manual de Aços. Gerdau, 2003.

Disponível

em:<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf>

MEEHAN R.R.; BURNS S.J.; **Mechanisms of Slitting and Cutting Edges**. Experimental Mechanics, vol.38, issue 2, p. 103-109, 1998.

PFEIFFER, J. D. **Principles of Web Slitting**. JDP Innovations Inc, Canada, 1997.

STACHOWIAK, G.W.; BATCHELOR, A.W.; **Engineering Tribology**. Ed. Butterworth Heinemann. p.447 – 550, 1993.

APÊNDICE A – Formulário de Coleta de Dados

Formulário de Coleta de Dados

TESTE DE RENDIMENTO # _____

Data	Faca	∅Antes	∅Depois	Metros Cortados na Slitter	Observações
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				