

AVALIAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE EXTRACLASSE ISENTO DE ÓLEO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO.

Aguiar, Fernando¹

Maia, Paulo²

Martins, Vinícius³

Schaefer, Lírío⁴

Resumo: Sendo a refrigeração um dos principais fatores que influenciam no desempenho da usinagem, esse trabalho contribui com a evolução tecnológica e o desenvolvimento sustentável no universo da usinagem. Embora haja evolução tecnológica em ferramentas de corte especiais que dispensam a refrigeração ou utilizam refrigeração a ar, o fluido de corte continua sendo muito utilizado na indústria. Contudo, guarda sérios riscos ambientais, pois é um efluente que contém óleo em sua estrutura. Grande parte das indústrias reutilizam o fluido de corte com processos de filtragem, porém o processo apenas retarda a saturação dos fluidos de corte, que após este processo, é direcionado para empresas responsáveis pelo seu tratamento adequado. O estudo mostra o desempenho de um lubrificante extraclasse isento de óleo em sua estrutura composto por matérias primas de fontes renováveis, sendo um produto sustentável, isento de vapores tóxicos e 93,3% biodegradável. Comparou-se o lubrificante extraclasse com mais dois tipos de fluido de corte, os fluidos vegetais e sintéticos em diferentes tipos de aço carbono (Aço SAE 1020, SAE 1045, SAE 5140 e DIN 20MnCr5), onde também foram comparadas as temperaturas do corte no torneamento com auxílio de câmera termográfica. O fluido extraclasse apresentou um desempenho melhor com relação a temperatura de usinagem, ficando em torno de 65°C, já os demais apresentaram desempenho semelhantes, entre 90°C.

Palavras-chave: Fluido de corte, Fluido extraclasse.

(1) *Tecnólogo Fab. Mec. Fernando Aguiar (UFGRS), Fernando.aguiar.fsa@gmail.com*

(2) *Tecnólogo Fab. Mec. Paulo Felipe da Maia, paulo.maia@gmail.com*

(3) *Prof. Dr. Vinícius Martins, (IFsul) viniciushiper@yahoo.com.br*

(4) *Prof. Dr. Ing Lírío Schaefer (UFRGS) schaefer@ufrgs.com.br*

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a responsabilidade ambiental, algumas empresas do ramo metal mecânico, direcionadas para usinagem, vem desenvolvendo meios e formas de reduzir os impactos ambientais gerados pelos seus processos. O resíduo líquido é um exemplo de contaminante que provém do processo de usinagem, na utilização do fluido de corte. Visando uma redução de contaminação algumas empresas vêm desenvolvendo produtos que agredam menos a saúde e o meio ambiente baseando-se nos três pilares da sustentabilidade, que são responsabilidade social, econômica e ambiental, sendo assim, surgiu no mercado um fluido refrigerante 100% isento de óleo com 93,3% de biodegradabilidade, no qual o mesmo garante melhor refrigeração na usinagem. A refrigeração do corte é um dos principais fatores responsáveis para um bom desempenho da usinagem. Decidiu-se então comparar o fluido extraclasse com outros dois fluidos de corte, um sintético e outro vegetal para poder verificar a capacidade de resfriamento deste novo fluido. Os três fluidos de corte utilizados neste trabalho estão disponíveis no mercado, sendo o fluido extraclasse o mais recente. Os fluidos refrigerantes têm sua contribuição quanto a garantia dimensional do produto, assim como acabamento e desempenho de usinagem devido ao atrito entre peça e ferramenta serem um grande gerador de calor. Com esse intuito, foi feito um comparativo de desempenho de usinagem, tendo em vista o conhecimento adquirido em usinagem e fabricação mecânica. Analisou-se a performance dos três fluidos de corte no processo de torneamento, visando avaliar a capacidade de resfriamento e também a variação de rugosidade deixado na superfície em cada um dos experimentos.

Aproximadamente 90% em peso dos materiais metálicos usados pelo homem são compostos de ligas ferrosas, os quais possuem uma ampla faixa de microestruturas e propriedades relacionadas. Grande parte dos projetos executados pela área de engenharia que necessitam de um aumento de sua capacidade de carga e durabilidade utilizam ligas ferrosas. Essas ligas são divididas em duas categorias gerais, que são baseadas na quantidade de carbono presente no material. O aço geralmente contém entre 0,05% e 2,0% em peso de carbono. Os ferros fundidos contêm, normalmente, entre 2,0% e 4,5% em peso de carbono. Além da liga aço carbono, também são acrescentados outros metais para dar características desejadas ao material, como Níquel, Manganês, Cromo, Fósforo, Silício, Molibdênio, entre outros.

Diniz, Marcondes e Coppini (2013), afirma ter início em 1890, o uso de fluidos de corte na usinagem dos materiais, por F. W. Taylor primeiramente com água pura, obtendo um aumento de 33% na velocidade de corte e um razoável controle na temperatura da peça e da ferramenta. Posteriormente, prosseguiu acrescentando alguns aditivos como soda ou sabão para melhorar o desempenho e proteção das peças. Com o passar do tempo, passaram a utilizar óleos emulsionáveis que, diluídos com água, tornavam os processos de usinagem cada vez mais produtivos e rentáveis.

Nos processos de usinagem o corte gera um forte atrito entre peça e ferramenta, a fim de minimizar o desgaste da ferramenta e diminuir a dilatação térmica do material a ser cortado utiliza-se fluidos refrigerantes durante a usinagem.

Conforme El Baradie (1996), os fluidos de corte são líquidos. Podem ser lubrificantes, refrigerantes ou exercer as duas funções ao mesmo tempo. Como lubrificantes, eles agem para reduzir a área de contato entre o cavaco e a ferramenta, e como refrigerantes eles diminuem a temperatura de corte, tanto pelo aumento da dissipação do calor como pela redução da geração do mesmo. A fim de cumprir seu papel, o fluido deveria penetrar na interface cavaco-ferramenta até a ponta da ferramenta. Existem várias vias de aplicação do fluido: através da superfície de saída (sobre cabeça), através da superfície de folga, na saída do cavaco (entre a superfície de saída da ferramenta e o cavaco) e diretamente da zona de aderência, injetando-se o fluido por dentro da ferramenta de corte.

Os fluidos de corte podem ser classificados em três tipos: ar, tipo aquosos e óleos. O ar geralmente age como removedor de cavaco da região de corte e como refrigerante em baixa escala, indicado para materiais que, na utilização de fluido líquido, podem danificar a máquina-ferramenta. O tipo aquoso como água, pouco usado na atualidade, é restrito à refrigeração, tem baixa viscosidade, provoca a corrosão de metais ferrosos e possui baixo poder umectante nos metais. O tipo aquoso como emulsões, provém da mistura de água com uma pequena

porcentagem de óleo emulsionável (de 1 a 20%), garantindo grande capacidade refrigerante e superando as desvantagens básicas da água. Emulsões são apropriadas para usinagens onde o requisito primordial é a refrigeração da ferramenta e/ou da peça e a retirada de material é moderada.

Os fluidos sintéticos não apresentam óleo mineral em sua composição, e sim geralmente elementos químicos lubrificantes (produtos orgânicos e inorgânicos que não contêm óleo) e inibidores de corrosão dissolvidos em água. Assim como os fluidos integrais, os sintéticos também devem ser diluídos em água. São mais indicados em trabalhos que produzem mais calor na remoção do material e exijam maiores velocidades de corte. Outras características são a transparência e a pouca formação de espuma (IOWA, 2003).

Na Tabela 1, são classificadas as vantagens e desvantagens dos fluidos sintéticos (IOWA, 2003):

Tabela 1: Classificação das vantagens e desvantagens dos fluidos sintéticos.

VANTAGEM	DESvantAGEM
• Altíssimo controle microbiótico; • Não propagante a chama; • Alto poder refrigerante; • Alta estabilidade na mistura com águas que possuem cátions cálcio, magnésio e ferro II; • Baixa formação de névoa e espuma; • Os elementos sintéticos presentes no fluido não se aderem à peça, ferramenta ou cavaco, aumentando o rendimento o rendimento.	• Baixíssima lubricidade; • Pode provocar a remoção da lubrificação de guias e mancais; • Pode ser prejudicial ao manuseio sem proteção provocando irritações da pele; • Pode ser facilmente contaminado por outros fluidos.

Conhecidos em algumas literaturas por fluidos de corte biodegradáveis, os fluidos extraclasse caracterizam-se pela facilidade de degradação após o seu uso e, em geral, não provocam riscos à saúde dos operadores. Em alguns casos, apresentam melhor rendimento comparados aos fluidos de corte convencionais (MELO, BÄTZNER E SALATI, 2010).

2 METODOLOGIA

O experimento foi feito utilizando 4 tipos de aço (AÇO SAE 1020, SAE 1045, SAE 5140 e DIN 20MnCr5), baixo e médio carbono, ligados e não ligados, com intuito de verificar a eficácia e a capacidade de resfriamento de cada um dos fluídos em diferentes aços. Os passos do experimento foram feitos conforme descrito abaixo.

- 1 Corte dos materiais
- 2 Preparar 3 corpos de prova de cada material, com comprimento de 100mm para percorrer a ferramenta
- 3 Facear, fazer furo de centro e tornear diâmetro padrão de 30,00mm nos aços SAE 1020, 1045, 5140 e DIN 20MnCr5
- 4 Preparar fluídos de corte (Vegetal, Sintético e Extraclasse. (Diluição)
- 5 Usinagem de todos os materiais utilizando o fluido Vegetal, Sintético e por último o extraclasse.
- 6 Coleta de dados (fotos câmera termográfica) no trajeto de 100mm feitos pela ferramenta
- 7 Medições das rugosidades em todas as peças
- 8 Análise dos dados (ANOVA)

Utilizando um torno convencional e ferramenta de corte de metal duro, foi utilizado uma aresta nova por ensaio, para que o desgaste da mesma não causasse impacto nos resultados finais, partindo todos os experimentos dos mesmos princípios e condições.

Usou-se os parâmetros de corte especificados para ferramentas de metal duro de desbaste:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{d \times \pi} = \frac{180 \times 1000}{30 \times 3,14} = 1910 \text{RPM e avanço conforme catálogo (0,11 a 0,23)}$$

Os fluidos de corte em questão (Figura 1) foram diluídos conforme determinado pelos fabricantes (Vegetal 10%, Sintético 20% e Extraclasse em 10%), também citado por Diniz, Marcondes e Coppini (2013) onde mencionam que a diluição deve ser feita de 1 a 20%.



Figura 1: Da esquerda para a direita: Fluidos de corte vegetal, sintético e extraclasse ainda não diluídos.

A diluição foi feita utilizando um refratômetro calibrado diluindo os fluídos conforme informação do fabricante. Fluido vegetal 1:10 (um litro de fluido para 10 litros de água), fluido sintético 1:20 e o fluido extraclasse 1:10.

2.1 Método

A orientação do fabricante é de que seja utilizado uma penetração de 0,3mm a 3,0mm no raio por passe. Utilizou-se então o valor máximo estabelecido .

Os materiais utilizados foram torneados todos com as mesmas dimensões e todos tiveram o mesmo percurso percorrido pela ferramenta (Figura 2).



Figura 2: Um dos materiais já usinados com pré-desbaste.

A coleta de dados foi feita utilizando uma câmera termográfica (Figura 4), onde a mesma indicou os pontos de maior calor gerado no corte, assim como o calor propagado na peça após a usinagem. Foram coletadas todas as medições de rugosidade utilizando um rugosímetro marca Mitutoyo SJ-201 e ambas foram submetidas a análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fluido de Corte com Base Vegetal

O fluido de corte vegetal desempenhou bem o corte, sem nenhum dano visível a superfície da peça nem da ferramenta. Como já descrito em uma de suas vantagens na fundamentação teórica, ele auxiliou bem na expulsão do cavaco, porém levantou bastante névoa durante o corte. A Figura 5 mostra a medição em um determinado momento da usinagem, onde a medição automática mostra a temperatura de 101°C.

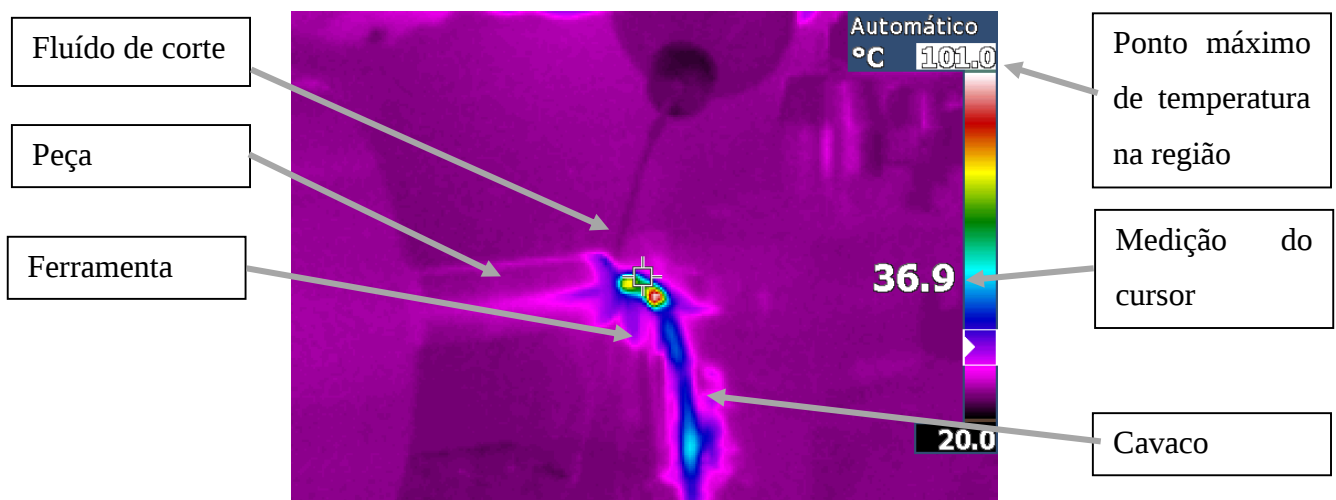


Figura 5: Medição da temperatura no aço SAE 1020 (Considerada medição automática nas estatísticas).

Após concluir o corte com o fluido vegetal a temperatura da peça foi medida, sem considerar dados estatísticos comparativos, apenas uma verificação após o corte para obter uma

noção da temperatura que a peça fica logo após o corte com o fluido vegetal (Figura 6) que, neste caso, mostra a temperatura da peça após a usinagem em 45°C.

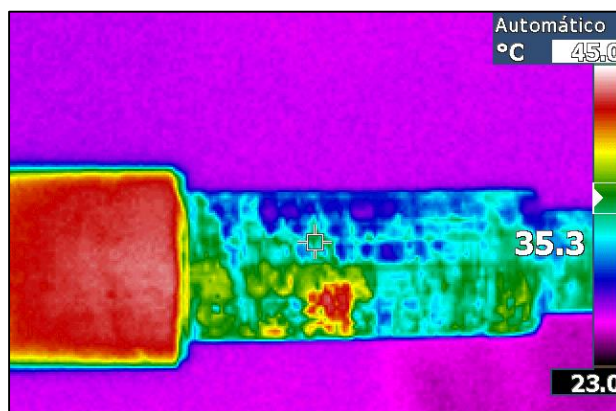


Figura 6: Medição da peça após usinagem com fluido de corte vegetal.

Conseguiu-se notar que a refrigeração foi efetiva, considerou-se as medições automáticas da câmera, pois essa medição abrange o ponto de maior emissividade de calor, diferente da medição onde o cursor fica direcionado, essa medição do cursor refere-se apenas para o ponto e não para a calor do local como todo.

3.2 Fluido de Corte Sintético

Os testes feitos com o fluido de corte sintético apresentaram também um bom desempenho, muito semelhantes ao do fluido com base vegetal (conforme ANOVA Capítulo 5.4). Teve boa refrigeração, assemelhou-se muito ao fluido vegetal, trata-se de um fluido mais fino, alta viscosidade e aparentemente com baixa lubricidade, pois o cavaco apresentava uma forma cônica helicoidal na maioria dos aços, porém a refrigeração não era prejudicada. A Figura 7 mostra a medição em um determinado momento da usinagem, onde a medição automática mostra a temperatura de 77°C.

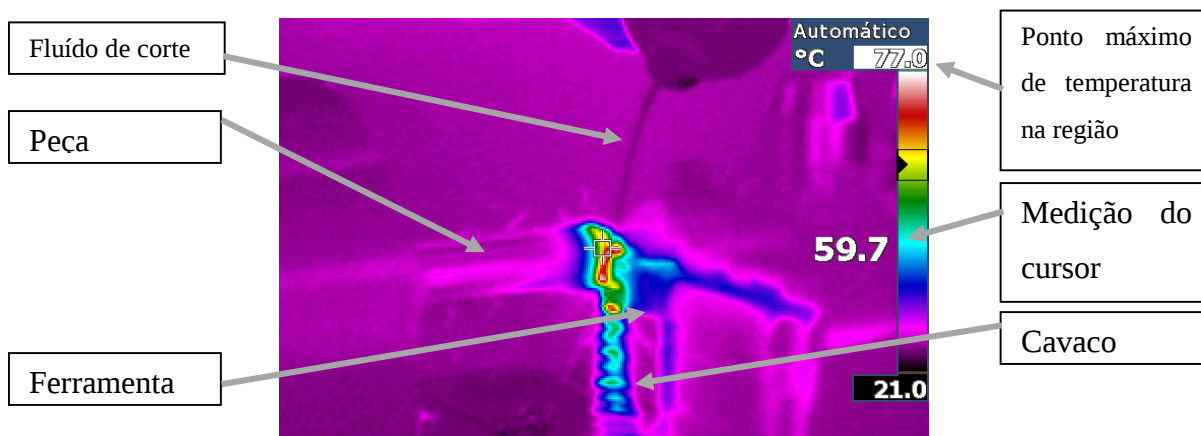


Figura 7: Medição da temperatura utilizando fluido sintético.

Após concluir o corte com o fluido sintético fez-se então a mesma medição da temperatura da peça. Mais uma vez, apenas foram coletados os dados sem comparativos, apenas para observar o comportamento da peça (Figura 8). A temperatura neste caso ficou na faixa de 42°C, não muito diferente do fluido vegetal que foi de 45°C.

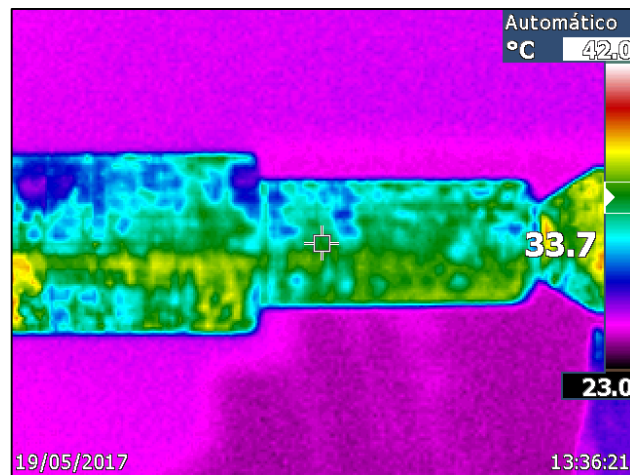


Figura 8: Medição da peça após usinagem com fluido de corte sintético.

3.3 Fluido de Corte Extraclasse

O fluido extraclasse apresentou um bom resfriamento da usinagem, foi o que apresentou menores temperaturas nos ensaios (Figura 9). A fluidez do cavaco também foi equivalente aos outros dois fluidos em teste.

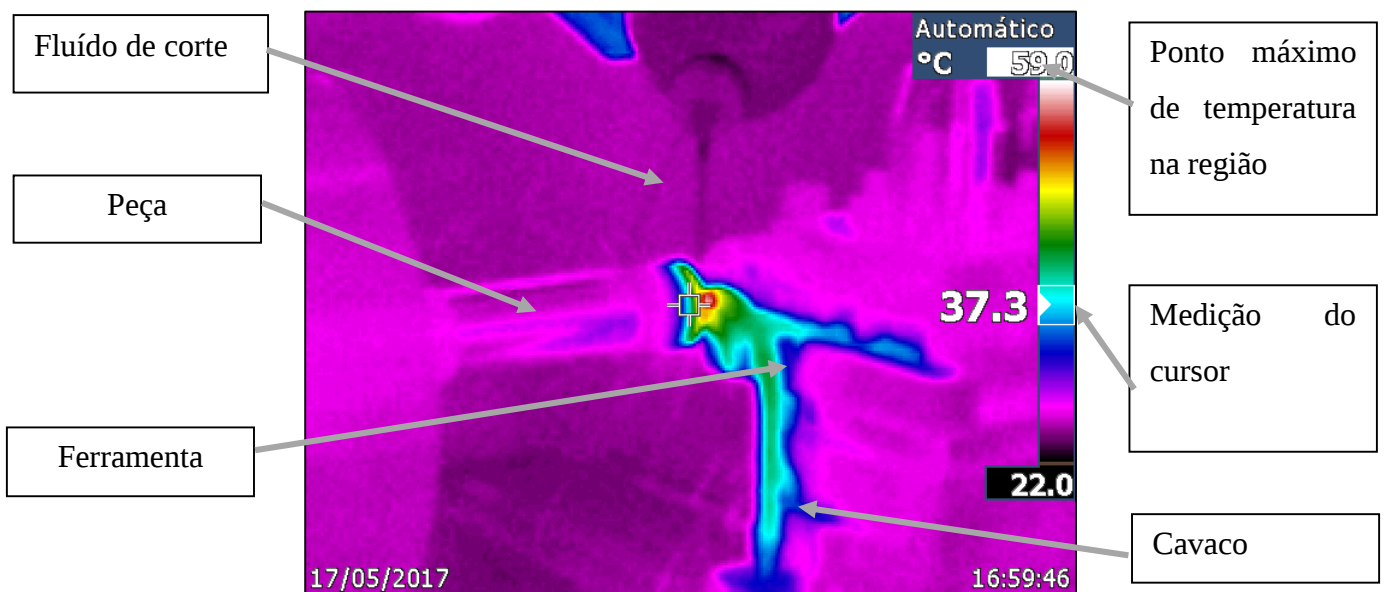


Figura 9: Medição de temperatura utilizando fluido de corte extraclasse.

O fluido extraclasse não apresentou névoa durante o corte, nem cheiro, diferente dos demais fluídos (Vegetal e Sintético). Também foi apenas observado a temperatura da peça ao término da usinagem. Na Figura 10 é possível verificar a diferença significativa encontrada em relação aos demais fluídos, que neste caso ficou na faixa de 33°C.

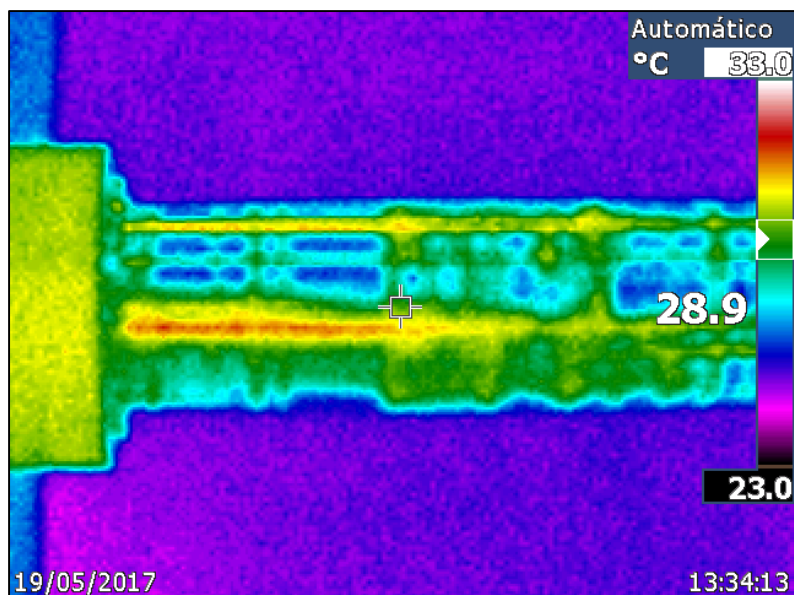


Figura 10: Medição da peça após usinagem com fluido de corte extraclasse.

3.4 Análise dos resultados

Compilando os dados em planilha, no software Excel, conseguiu-se fazer uma análise prévia baseado nas médias, conforme Tabela 1, conseguiu-se então verificar qual fluido de corte obteve um melhor desempenho.

Tabela 1: Planilha com os dados e suas respectivas médias das temperaturas em °C.

	Vegetal	Sintético	Extraclasse
1020	139	94	72
	104	127	65
	95	92	61
	112	65	71
	166	65	52
	164	135	63
MEDIA	130	96,33	64
1045	69	101	56
	77	129	66
	91	117	64
	81	87	54
	100	88	66
	137	127	57
MEDIA	92,5	108,17	60,5
20MnCr5	78	107	94
	116	104	57
	100	118	58
	70	138	86
	106	94	74
	98	125	68
MEDIA	94,67	114,33	72,83
5140	112	98	68
	95	85	59
	68	95	74
	96	80	83
	117	75	61
	114	114	79
MEDIA	100,333	91,17	70,67

Verificando apenas as médias, é possível notar de imediato que o fluido extraclasse apresenta menor aquecimento comparado aos demais, também consegue-se evidenciar que em alguns casos o fluido vegetal e o fluido sintético apresentam um melhor desempenho.

Cruzando todos os fluidos, analisando a variância e os desvios, conseguiu-se então ter uma análise adequada dos ensaios conforme Tabela 2.

Tabela 2: Planilha ANOVA aplicada no aço SAE 1020, cruzando todos os fluidos.

<u>Vegetal x Sintético x Extraclasse</u>						
Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Vegetal	6	780°	130°	951,6°		
Sintético	6	578°	96,333°	884,666°		
Extraclasse	6	384°	64°	53,6°		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	13069,777	2	6534,888	10,3735	0,00148	3,6823
Dentro dos grupos	9449,333	15	629,955			
Total	22519,1111	17				
Resultado da comparação: são diferentes f>fc						

A Tabela 2 mostra que os que todos os fluidos possuem diferença, neste exemplo utilizando o aço SAE 1020, mas todos os aços ao serem submetidos a análise ANOVA apresentaram o mesmo resultado de “diferença entre si”.

O método de análise de dados diz que sendo os fatores “F” maior que “F crítico”, significa que há uma diferença significativa. Neste caso, para descobrir qual fluido de corte apresentou melhor desempenho foi necessário comparar todos simultaneamente e confrontar os fatores “F” e “F crítico”. Após a comparação completa, constatou-se que os fluidos de corte Vegetal e Sintético apresentaram semelhança, pois conforme o método ANOVA sendo F menor que o F crítico, significa que os fluidos são semelhantes. Em todas as comparações foi aplicada a faixa de 95% de confiança.

Em todos os aços (SAE 1020, SAE 1045, DIN 20MnCr5 e SAE 5140) o fluído vegetal e sintético obtiveram F menor que F crítico, confirmando a semelhança de desempenho.

A mesma análise foi aplicada cruzando o fluído vegetal com o fluído extraclasse e cruzando o fluído sintético também com o fluído extraclasse, em ambos os casos o fluído extraclasse apresentou F maior que F crítico, onde evidencia-se o melhor desempenho comparado aos demais fluídos, isso significa que existe diferença entre os dados comparados, notou-se que a variância em todos os casos para o fluído extraclasse foi menor que o fluído vegetal.

Fazendo um encontro ao fluído extraclasse feito com o óleo de babaçu, pode-se notar pelos valores das medições feitas neste estudo, que as temperaturas de usinagem com óleo de babaçu se assemelham ao fluído sintético e ao fluído vegetal, tendo como vantagem a biodegradabilidade obviamente, porém ainda assim não possui as mesmas características de resfriamento de corte como o extraclasse deste estudo.

A análise de dados também foi aplicada para rugosidade conforme Tabela 4, onde estão descritas todas as medições feitas em cada fluído de corte

Tabela 4: Medições de rugosidades em cada um dos fluídos e aços.

	Vegetal	Sintético	Extraclasse
1045	0,31	0,34	0,4
	0,3	0,6	0,35
	0,43	0,38	0,33
	0,48	0,53	0,32
	0,45	0,43	0,31
Média	0,394	0,456	0,342
1020	0,44	0,55	0,36
	0,38	0,44	0,41
	0,37	0,45	0,45
	0,44	0,43	0,33
	0,45	0,42	0,43
Média	0,416	0,458	0,396
20MnCr5	0,4	0,35	0,41
	0,4	0,32	0,33

	0,51	0,42	0,29
	0,55	0,4	0,37
	0,52	0,35	0,34
Média	0,476	0,368	0,348
5140	0,42	0,3	0,29
	0,48	0,35	0,32
	0,36	0,39	0,29
	0,41	0,35	0,28
	0,42	0,34	0,32
Média	0,418	0,346	0,3

A Tabela 4 mostra que os fluídos tiveram pequenas diferenças com relação as suas médias, sendo conveniente então cruzar os dados pelo método ANOVA para ter-se uma precisão melhor da análise.

Tabela 5: Planilha ANOVA aplicada nas medições de rugosidade comparando os diferentes tipos de fluídos de corte.

Vegetal x Sintético x Extraclasse						
Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Vegetal	5	2,08μ	0,416μ	0,00143μ		
Sintético	5	2,29μ	0,458μ	0,00277μ		
Extraclasse	5	1,98μ	0,396μ	0,00248μ		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0100	2	0,0050	2,248	0,148	3,885
Dentro dos grupos	0,02672	12	0,0022			
Total	0,036733333	14				
Resultado da comparação: são semelhantes $f < f_c$						

A Tabela 5 mostra que o estudo de rugosidade para todos os fluídos e aços apresentaram semelhança, tendo F menor que F crítico fica evidenciada a semelhança entre os dados, nesse

caso não foi necessário cruzar todas os fluídos entre si, conforme feito nas análises de temperaturas.

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo foi baseado no desempenho do fluído de corte extraclasse, comparado aos fluídos de corte usuais (Vegetal e Sintético).

O fluído em questão apresentou um bom desempenho desde questões do ambiente de trabalho como não emulsionar névoas até uma excelente refrigeração. Todos os fluídos foram confrontados e comparados pela análise de dados ANOVA, evidenciando-se que o fluído extraclasse teve um melhor desempenho nos ensaios em que foi submetido. O resfriamento do corte foi significativamente melhor comparado aos demais fluídos.

Ao utilizar o fluído de corte sintético pode-se notar que a lubricidade não era tão eficiente quantos aos outros dois fluídos, pois o cavaco escoava com certa dificuldade, enrolando mais na peça, diferente do fluído vegetal e do fluído extraclasse.

Nas questões relacionadas à rugosidade, todos os fluídos se comportaram de maneira semelhante, sem diferenças significativas de acabamento detectado com rugosímetro.

Dada a importância ambiental e tratando-se de um fluído extraclasse, fica evidente a necessidade que o mesmo seja utilizado no universo da usinagem, pois além de apresentar um bom desempenho de corte o fluído extraclasse como o próprio nome diz é menos danoso ao meio ambiente, diferente dos demais comparados neste estudo, além de proporcionar um ambiente de trabalho mais limpo.

REFERÊNCIAS

- BONDMANN QUÍMICA. **Biolubrificante de Última Geração Desenvolvido para Usinagem e Operação de Corte**. Canoas, 2015
- BONDMANN QUÍMICA. Revolução em Usinagem. www.bondmann.com.br. Disponível em: https://www.slideshare.net/slideshow/embed_code/38611056> Acessado em: 12/062017.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- CIMM. Fluidos de corte solucionam problemas da usinagem. www.cimm.com.br. 07/04/2010. Disponível em: http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/6777-fluidos-de-corte-solucionam-problemas-da-usinagem> Acessado em: 05/04/2017.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- DINIZ, A.E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. **Tecnologia da usinagem dos Materiais**. São Paulo: Artliber, 2013.
- EL BARADIE, M. Cutting fluids: part I. Characterization. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 56, p.786-97, 1996.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.
- GONÇALVES, B. B.; YAGINUMA, G. F.; YAMAMOTO, M. K.; **Óleos de Usinagem: Tipos, Classificação e Desempenho**. 2010. 13f. Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- IOWA Waste Reduction Center. **Cutting Fluid Management for Small**
- Lazoglu, I. & Altintas, Y., “Prediction of tool and chip temperatura in continuous and interrupted machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42, 2002.
- MACHADO, Á. R.; DA SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1999.
- MACHADO, A.R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R.T. & DA SILVA, M.B. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.
- MELO, D. S.; BÄTZNER, L. N.; SALATI, M. R.; **Fluidos de Corte**. 2010. 51f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- MOTTA, M. F.; MACHADO, A. R. Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção. *Revista Máquinas e Metais*, p. 44-56, 1995.
- RUNGE, P. R. F., DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas Indústrias – Produção, Manutenção e Controle**. Rio de Janeiro: Triboconcept, 1990.
- SCANDIFFIO, I. **Uma Contribuição ao Estudo do Corte a Seco e ao Corte com Mínima Quantidade de Lubrificante em Torneamento de Aço**. 2010. 63f. Dissertação (Metrado em

Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. São Paulo: Pearson, 2008.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de Regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. TQC - Gestão pela Qualidade Total: Série Ferramentas da Qualidade**. Belo Horizonte: QFCO, 1996.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e Análise de experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.