

## OBTENÇÃO E ESTUDO DAS PROPRIEDADES DAS EMULSÕES DE UM FLUIDO DE CORTE BIODEGRADÁVEL A BASE DO ÓLEO DE MARACUJÁ EPOXIDADO

Gabriel Silva Santos (1); Quíssila Gois Antunes (2) Luanna Souza (3); Gabriel Francisco da Silva (4); Maria Susana Silva (5)

<sup>1</sup> Universidade Federal de Sergipe (UFS) [gabriel.santos097@gmail.com](mailto:gabriel.santos097@gmail.com); <sup>2</sup>UFS, [qgantunes@hotmail.com](mailto:qgantunes@hotmail.com); <sup>3</sup> UFS, [luannasouluz@gmail.com](mailto:luannasouluz@gmail.com); <sup>4</sup> UFS [gabriel@ufs.br](mailto:gabriel@ufs.br); <sup>5</sup>UFS, [susana\\_mss@yahoo.com.br](mailto:susana_mss@yahoo.com.br).

**Resumo:** Atualmente, a utilização de produtos petroquímicos, em diversos segmentos da cadeia industrial, resulta numa série de problemas socioambientais, que permeiam desde a prospecção até a distribuição e logística do petróleo. Por este motivo, a sustentabilidade vem ganhando cada vez mais força, tornando-se um atributo não somente necessário, como indispensável na formulação de bioprodutos. Levando-se em consideração essas e outras premissas, o trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um fluido de corte biodegradável à base do óleo de maracujá epoxidado, que pudesse ser aplicado em operações de usinagem tradicional na indústria metal-mecânica. Após a extração e degomagem do óleo de maracujá, foi realizado o processo de epoxidação, sendo o mesmo misturado em diferentes concentrações de aditivos, os quais são: biocida (A), antiespumante (B), emulsificante (C) e anticorrosivo (D). A composição dos aditivos ao epóxido foi submetida a um planejamento fatorial 2<sup>4</sup> e em cada formulação foi avaliado o Índice de Acidez Total (ASTM D-974), estabilidade oxidativa (EN 14112), estudo do aparecimento de mancha (Yushiro – NY – 40), viscosidade cinemática (ASTM D – 445). Com os melhores resultados (FC EMO 1 e FC EMO 15) foram feitas emulsões O/A nos percentuais de 5%, 10% e 15%; e, uma vez selecionado o fluido com melhores propriedades físico-químicas, realizou-se um teste mecânico em um torno convencional com tarugo SAE 1020 e ferramenta de corte proveniente da classe aço rápido. A conclusão deste trabalho confirma o potencial do óleo epoxidado de maracujá como base para fluido de corte, apresentando características satisfatórias.

**Palavras-chave:** Biolubrificante, epoxidação, fluido de corte, usinagem.

### INTRODUÇÃO

A utilização de óleos vegetais para obtenção de lubrificantes biodegradáveis torna-se atraente pelo produto final dispor características físico-químicas satisfatórias, bem como mostrar-se não poluente, não tóxico, apresentar propriedades anticorrosivas, alto ponto de fulgor, baixa volatilidade etc (HONARY, 2001; ERHAN et al., 2008). O biolubrificante, proveniente do óleo epoxidado de maracujá, apresenta propriedades oxidativas e índice de acidez do óleo *in natura* melhoradas. O processo caracteriza-se pela modificação da estrutura química do óleo vegetal via rota epoxidativa,

dispensando o uso de catalisadores e temperaturas elevadas. Dessa forma, a operação torna-se economicamente mais viável.

A alta demanda do fluido de corte vem impulsionando sua crescente produção em escala industrial e o aumento de melhorias de qualidade referentes à segurança operacional e compatibilidade com o meio ambiente. A crescente modernização mecânica instigou a contínua necessidade do desenvolvimento de lubrificantes especiais que suprisse as atuais demandas. Por isso, os fluidos de corte apresentam composição química complexa, específica para a finalidade que lhes é inerente, sendo formulados a partir de água, óleo e emulsões do tipo O/A.

Óleos biolubrificantes apresentam boas propriedades de bioestabilidade, e podem ser usados como resfriadores, fluidos destinados à melhoria dos acabamentos de superfícies metálicas, à redução do desgaste de ferramentas e à proteção de peças contra corrosão (MUNIZ, 2008).

Embasado nesta perspectiva, a presente pesquisa propõe o desenvolvimento de fluidos de corte biodegradável utilizando como base o óleo de maracujá epoxidado, com o intuito de impulsionar o estudo científico desta planta no Brasil, assim como obter os melhores percentuais de aditivos a serem usados nas formulações e submetê-lo, posteriormente, a um teste mecânico em torno convencional.

## **METODOLOGIA**

**Reagentes e solventes:** óleo de maracujá (100%; Extrair óleos Naturais) Peroxido de hidrogênio p.a (35%; Dinâmica) Acido fórmico P.A (85%; Dinâmica); Álcool Isopropílico P. A (99,5%) –Dinâmica; Hidróxido de Potássio P. A (85,0%) – Synth; Fase aquosa: água destilada; Fase oleosa: óleo de maracujá epoxidado.

## Aditivos Utilizados

**Tabela 1** – Caracterização físico-química dos aditivos utilizados nas formulações

Produto	Fabricante	Propriedades físico-químicas
<b>Emulsificante</b>	Miracema	Aspecto: líquido transparente Densidade a 25°C: 0,97 – 1,05 g/cm <sup>3</sup> Viscosidade a 40°C: 500 – 600 cSt I.A: 1,0 mgKOH/g
<b>Anticorrosivo</b>	Miracema	Aspecto: líquido viscoso Densidade a 25°C: 0,99 – 1,01 g/cm <sup>3</sup> Viscosidade a 40°C: 160 – 200 cSt I.A: 25 – 34 mg KOH/g
<b>Biocida</b>	Miracema	Aspecto: líquido transparente Densidade a 25°C: 1,14 – 1,16 g/cm <sup>3</sup> Índice de refração a 25°C: 1,460 – 1,465
<b>Antiespumante</b>	Lubrizol	Aspecto: líquido opaco branco Densidade a 25°C: 1,05 g/cm

**Epoxidação do óleo de maracujá** – Em um balão de reação, sob agitação constante e à temperatura ambiente, adicionou-se o óleo de maracujá degomado, acrescido de quantidades pré-definidas de peróxido de hidrogênio, óleo de maracuja e ácido fórmico na razão de 1:1,5:1. Após três horas de agitação a 30°C, os produtos foram transferidos para um funil de separação, e a fase aquosa foi descartada como resíduo de fundo. O óleo epoxidado foi lavado com a solução de bicarbonato de sódio até o momento em que o pH do meio atingiu a marca 7,0. A umidade residual foi removida com sulfato de sódio anidro (SILVA, et al., 2015).

**Preparo das emulsões** – Neste trabalho foram investigados os comportamentos das emulsões óleo/água na concentração de 5%, 10% e 15% com dois pacotes de aditivos, ou seja, foram testados dois biolubrificantes. A quantidade de cada aditivo esta detalhada na tabela 2 a seguir.

**Tabela 2** – Aditivos (Fatores) e níveis do planejamento fatorial usados na obtenção do fluido de corte

Fatores	Códigos	BIOLUBRIFICANTES	
		E 01	E 15
Emulsificante	A	8%	8%
Anticorrosivo	B	1%	2%
Biocida	C	0,5%	1%
Antiespumante	D	0,5%	1%

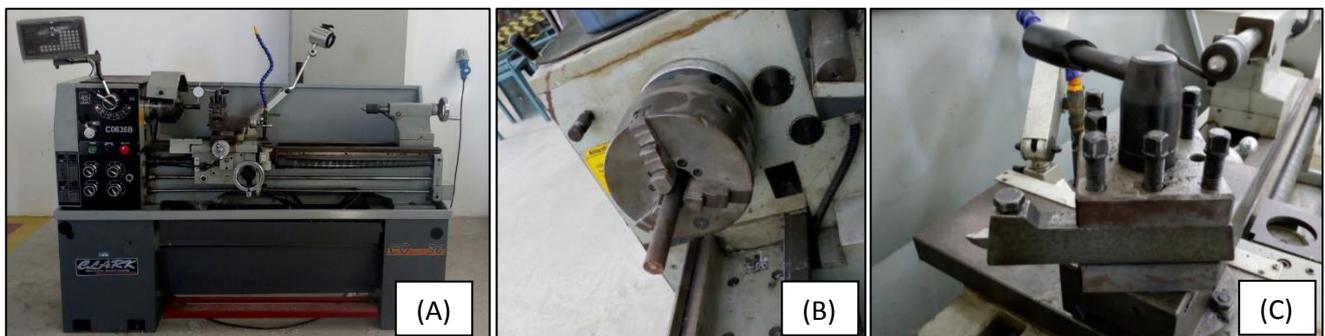
## 1. Caracterização das emulsões

**Tabela 3** – Normas técnicas das caracterizações

Propriedade físico-química	Norma
Índice de Acidez Total (I.A.T)	ASTM D-974
Estabilidade Oxidativa	EN 14112
Viscosidade cinemática a 40°C	ASTM D-445
Densidade a 20 °C	MORETTO e FETT (1998)
Resistência microbiológica	ASTM D-6304
Corrosividade ao cobre	ASTM D-130
Teste de formação de espuma (%F.E)	Selub 09 - PETROBRAS

**2. Teste mecânico em operação de torneamento** - Para a elaboração dos ensaios experimentais, foi disponibilizado pelo Departamento de Engenharia Mecânica (UFS), o Torno Universal da marca CLARK e modelo C0636B, ilustrado na Figura 1.a. Como corpo de prova, utilizou-se o aço SAE 1020 (Figura 1.b); e, como ferramenta de corte, o aço rápido (Figura 1.c) amolado manualmente, com constituintes definidos na Tabela 4.

**Figura 1** – Ilustrações do teste mecânico realizado em um torno mecânico convencional



**Tabela 4 - Constituintes da ferramenta de corte (aço rápido)**

<b>C (%)</b>	<b>Co (%)</b>	<b>Cr (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>Mo (%)</b>	<b>W (%)</b>	<b>V (%)</b>
0,67 – 1,3	5 – 12	3,75 – 4,5	0,3	4 – 9	2 – 20	1 – 5

FONTE: Santos (2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Petrobras e a maioria dos fornecedores de fluidos industriais aconselham o preparo de emulsões na proporção 20:1 de água/ óleo (básico) em operações de torneamento com aço-carbono. Contudo, a viscosidade do óleo de maracujá epoxidado é superior à do óleo mineral (MUNIZ, 2005) e o desenvolvimento de emulsões a 20% apresentaria efeito lubrificante maior do que o requerido. Além disso, à medida que a temperatura do sistema se aproxima de 100°C, boa parte da água dispersa na emulsão se evapora, deixando o fluido ainda mais concentrado. Diante desse contexto, optou-se por fazer testes com 5%, 10% e 15% de óleo emulsionado nas formulações E 01 e E 15.

A Tabela 5 apresenta as caracterizações realizadas nos ensaios. Inicialmente, em todos os ensaios observou-se que o aspecto visual das emulsões era leitoso e não houve formação de manchas em materiais constituídos por alumínio. Esta última característica é vantajosa porque propicia boa usinabilidade visual do tarugo, sem comprometê-lo quanto ao aspecto qualitativo.

**Tabela 5 - Propriedades físico-químicas das emulsões formuladas**

<b>Ensaio</b>	<b>Corrosividade ao cobre</b>	<b>Estabilidade oxidativa (h)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Viscosidade (cp)</b>	<b>% F.E</b>
E 01 - 5%	1B	20,54	1,09	1,39	0
E 01 - 10%	1B	9,61	1,09	1,49	0
E 01 - 15%	1B	12,58	1,15	1,62	0
E 15 - 5%	1A	13,94	1,13	2,09	0
E 15 - 10%	1A	11,60	1,16	2,27	0
E 15 - 15%	1B	11,60	1,14	2,63	0

O aumento da viscosidade dos ensaios é proporcional ao percentual da emulsão e regride à medida que a quantidade de água cresce, o que já era esperado em teoria. Assim, quanto menor a porcentagem de óleo em água, maior a tendência do fluido ser aplicado em operações com alta velocidade e grande avanço de corte, caso a utilização de óleos emulsionáveis seja viável.

A melhora da estabilidade oxidativa em relação às formulações concentradas comprova que a sinergia dos aditivos se altera positivamente para esta resposta de interesse em meio aquoso. E este resultado é bastante satisfatório na indústria, uma vez que a tendência do fluido é ser reutilizado no reservatório da máquina operatriz em quantas aplicações forem possíveis. Em geral, a reciclagem do fluido de corte ameniza não somente tempo e custos de aquisição de uma nova emulsão, como também o destino final para estes produtos.

Os demais parâmetros mostraram-se regulares, mantendo estreita relação com os lubrificantes de base parafínica e naftênica (MUNIZ, 2005). Além das propriedades anteriores, o fluido deve apresentar boas características microbiológicas. Uma formulação é considerada microbiologicamente estável se mantiver o seu pH em intervalos alcalinos até 6,0, onde o crescimento de microorganismos indesejáveis é menos evidente. Esta medida é feita em função do tempo, em número de dias, como apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6** – Estudo da resistência microbiológica das emulsões

Amostra	Concentração	pH 0	pH	pH	pH	pH
			1° dia	2° dia	3° dia	4° dia
E 01	5%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	10%	5,5	5	5	4,5	4,5
	15%	4,5	4,5	4,5	4	4,5
E 15	5%	5	4,5	4,5	4,5	4,5
	10%	5,5	4,5	4,5	4	4,5
	15%	5	5	4,5	4	4,5

Diante de todas as abordagens discutidas neste item, o fluido mais propício para aplicação em tornos mecânicos operando com aço-carbono é o E 01 – 5 %, devido aos seguintes motivos: alto

poder refrigerante em virtude da quantidade de água dispersa na emulsão; lubrificação teoricamente satisfatória, proporcionada pela espessura da camada limite fluida em temperaturas mais elevadas; viscosidade cinemática e densidade toleráveis; boa capacidade de umectação, sendo “molhável” ao aço-carbono para fornecer um bom contato térmico; e, principalmente, melhor estabilidade oxidativa quanto às demais emulsões, característica preponderante por se tratar de um produto com origem biodegradável.

### **Estudo do comportamento mecânico do fluido de corte em serviços de torneamento com aço SAE 1020**

As análises foram apenas visuais, corroborando com os resultados de laboratório e extrapolando os dados obtidos em condições ideais para um cenário mais realístico (industrial). Ao ser feita a inspeção qualitativa, pode ser constatado que um tarugo de pequeno diâmetro (3/4”) é benéficamente afetado pela emulsão formulada, onde a remoção material de 2 cm<sup>3</sup> contribui para um bom acabamento da superfície usinada. Já na operação à seco, observou-se que o torneamento do SAE 1020 não foi tão prejudicado como previsto anteriormente, o que pode ser explicado pelas circunstâncias dos parâmetros de corte (pequeno avanço e baixa velocidade).

### **CONCLUSÃO**

A utilização dos aditivos e posterior emulsão das formulações apresentaram características físico-químicas melhores que o óleo de maracujá *in natura* e o óleo de maracujá epoxidado, tornando-se procedimentos necessários para o desenvolvimento de fluido de corte na usinagem de metais;

As emulsões formuladas apresentaram estabilidades oxidativas superiores (E.O) a 11 horas, quando expostas a um fluxo de ar atmosférico de 10 L/h e aquecimento de 110 °C. Portanto, a durabilidade das amostras após o processo de usinagem limita-se aos seus respectivos valores E.O., os quais são maiores que o óleo de maracujá epoxidados.

A ausência da formação de espuma das formulações emulsionadas indica a boa capacidade refrigerante dos ensaios, o que é bom para processos com elevada velocidade de corte (torneamento).

A emulsão E 01 – 5 % foi o melhor ensaio, devido ao alto poder refrigerante (consequência da elevada quantidade de água dispersa na emulsão), viscosidade cinemática e densidade toleráveis.

boa capacidade de umectação; e, principalmente, melhor estabilidade oxidativa quanto às demais emulsões.

O fluido de corte E 01 – 5% pode ser considerado satisfatório para os parâmetros de usinagem utilizados no teste, tendo como corpo de prova SAE 1020 e como ferramenta de corte, aço rápido. Porém, para processos de torneamento que tenham parâmetros diferentes daqueles utilizados no presente teste, os resultados obtidos nesta pesquisa são inconclusivos.

## REFERÊNCIAS

ASTM D 445-17a, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM D974-14e2, Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

EN 14112 - Fat and oil derivatives. Fatty acid methyl esters (FAME). Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test). 13 de maio, 2003.

ERHAN, S.Z, SHARMA, B.K., LIU, Z., Adhvaryu, A. Lubricant Base Stock Potential of Chemically Modified Vegetal Oils. J. Agric. Food Chem. v.19, p. 8919-8925, 2008.

HONARY, L. Biodegradable/Biobased Lubricants and Greases. Mach. Lubr.Mag. Issue Number: 200109, Canadá, 2009.

MORETTO, E.; FETT, R. **Definição de óleos e Gorduras tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.** São Paulo. Varela, p.144,1998.

MUNIZ, C.A.S.. **Novas formulações de fluido de corte: Otimização, propriedades e recuperação do óleo usado.** 177 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SANTOS, S. C. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais.** São Paulo: Artliber Editora Ltda, 246 p. 2007

SILVA, M. S.; FOLETTO, E. L. ; ALVES, S. M. ; DANTAS, T. N. C. ; DANTAS NETO, A. A. . New hydraulic biolubricants based on passion fruit and moringa oils and their epoxy. Industrial Crops and Products (Print), v. 69, p. 362-370, 2015.