

PROPOSTA DE SISTEMA PARA O TRATAMENTO NO DESCARTE DOS FLUIDOS DE CORTE DA PEQUENA E MÉDIA EMPRESA (PME)

Tobias Heymeyer, th@sc.usp.br¹
Elias Paulo Tessaro, eliaestessaro@gmail.com²
Fabiane Capraro Fogo, fabicfogo@hotmail.com²
Leny Borghesan Albertini, leny@sc.usp.br³
Maria Olimpia de O. Rezende, mrezende@iqsc.usp.br²

¹Escola de Engenharia de São Carlos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

²Instituto de Química de São Carlos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

³Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

Resumo: *Importantes para a manutenção da produtividade do processo, os fluidos de corte devem receber tratamento adequado na fase de descarte. A contaminação com os metais usinados além dos óleos e graxas tornam-no um resíduo perigoso, implicando em procedimentos que oneram a produção e devem ser acessíveis à pequena e média empresa (PME). Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade de um tratamento dos fluidos de corte em pequena escala proporcionando a sua disposição adequada. Os processos de tratamento propostos compreendem hidrólise ácida e Processo Oxidativos Avançado (POA), mais especificamente, “Sistema Fenton”, além de propor um tratamento baseado na fotodegradação. O sistema consiste na geração de radical hidroxila a partir de uma mistura de peróxido de hidrogênio e sais ferrosos. No processo foto-Fenton os radicais hidroxilas são formados pela reação de oxidação e redução dos sais ferrosos na presença de peróxido de hidrogênio e radiação UV. Os resultados obtidos conduzem à instalação, em uma próxima etapa, de sistema piloto dentro da empresa.*

Palavras-chave: *usinagem, fluidos de corte, processo oxidativo avançado (POA), pequena e média empresa (PME).*

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento tecnológico dos processos de manufatura a busca por produtividade, qualidade e eficiência econômica, conduziu à geração de resíduos indesejáveis que, por seu potencial poluente devem receber tratamento adequado. O fluido de corte proporciona desempenho aos processos de usinagem, porém seu gerenciamento e descarte torna-se mais complicado, uma vez que a cada nova linha de fluidos fabricados novos compostos são utilizados e em muitos casos se desconhecem as interações do fluido de corte com o ambiente; essa falta de informação pode levar a contaminação da água, solo, além de ser prejudicial à saúde do trabalhador (Dias et al 2006 e Nebel 1996).

As peças e principalmente cavacos impregnados pelos fluidos de corte são possível fonte de contaminação do solo, lençol freático e rede de coleta de esgoto, através do derramamento durante a armazenagem e o transporte dos mesmos. Quando o depósito é feito em locais sem cobertura, a água das chuvas, arrasta para o solo, sistemas de água pluvial e subterrâneos diversos contaminantes e compostos químicos, ocasionando danos ambientais graves e também custos elevados de tratamento e disposição final induzem os seus usuários a procedimentos inadequados (Dias et al 2006).

Dentre os diversos tipos de poluentes presentes nos fluidos de corte, encontram-se os óleos e graxas, que apresentam alta toxicidade e não são degradados por processos microbiológicos. O uso de processos físico-químicos como floculação, adsorção, stripping, coagulação eletroquímica e filtração não são destrutivos; embora minimizem os efeitos danosos da poluição, redução do volume da amostra, o problema da disposição final permanece (Silva 2002).

O emprego de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metal-mecânica um potencial agressor do ambiente. Os problemas vão desde a geração de efeitos nocivos ao trabalhador a poluição de águas e solo, os impactos ambientais são regulamentados por legislação federal, através da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. A legislação determina que se o crime tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana, devido ao lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, a pena é a reclusão de um a cinco anos (Brasil 1998). A Resolução CONAMA n. 357 é mais específica, pois estabelece os limites de lançamento de efluentes apenas para os recursos hídricos.

Atualmente cresce na comunidade industrial a compreensão sobre a necessidade de se considerarem os aspectos ambientais relacionados aos fluidos de corte, obtendo com isso vantagens econômicas e ecológicas. Resíduos de fluidos

de corte possuem variações incontáveis na sua composição química e toxicidade. Com um elevado potencial de poluição, mesmo em baixas concentrações, torna seu gerenciamento um dos pontos determinantes para o desenvolvimento da indústria de usinagem (Dias et al 2006). Ainda há uma carência de informações quando se trata de uma análise qualitativa e quantitativa dos impactos ocasionados pela utilização desses produtos. A obtenção de parâmetros como, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), entre outros, é importante no processo de monitoramento de efluentes industriais. A determinação dos efeitos tóxicos em organismos aquáticos causados pelo descarte de efluentes industriais é um importante parâmetro na avaliação ambiental (Dias et al 2006).

1.1. Processos Oxidativos Avançados

Os processos oxidativos avançados são aqueles em que radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$) participa como principal agente oxidante. Trata-se de uma espécie de elevado poder oxidante ($E^\circ = 2,06 \text{ V}$), que permite a completa mineralização de inúmeras espécies químicas de relevância ambiental, em tempo relativamente curto (Albertini, 2005).

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são caracterizados por sua capacidade de oxidação total ou parcial, resultando, neste último caso, em um decréscimo do material orgânico e ou aumento da biodegradabilidade (Sanz, 2003). O sistema consiste na geração de radical hidroxila a partir de uma mistura de peróxido de hidrogênio e sais ferrosos.



As limitações de pH e a formação de precipitados coloidais de hidróxido férrico representam as maiores dificuldades de aplicação do método. Devido aos radicais hidroxila serem mais seletivos que os peridróxidos com compostos orgânicos, é assumido que o radical hidroxila é o responsável pela oxidação de poluentes orgânicos, dessa forma:



Esta reação deve obedecer a alguns fatores que são determinantes para um bom rendimento ou mesmo para que a reação ocorra. Esses fatores são: pH, concentração e tipo de íons ferro, concentração de peróxido de hidrogênio, temperatura e tempo de reação.

A capacidade de degradação do processo Fenton pode ser sensivelmente aumentada quando este é fotoassistido. Esse incremento é conseguido com a aplicação de radiação tanto na região espectral que compreende o ultravioleta como o visível. A excitação proporcionada pela radiação permite a transferência de um elétron da água para o íon férrico, regenerando-o a íon ferroso, e gerando um radical hidroxila (eq. 3). Os íons ferrosos regenerados podem por sua vez reagir novamente com H_2O_2 (Tauchert, 2006).

A combinação de peróxido de hidrogênio e íons Fe^{2+} ou Fe^{3+} com radiação ultravioleta (UV), denominado processo foto-Fenton, produz mais radicais hidroxilas quando comparado ao método Fenton convencional (Fe^{2+} com H_2O_2) ou à simples fotólise, aumentando a eficiência na degradação de poluentes orgânicos, atribuída principalmente à foto-redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} (Gromboni et al 2007).



Durante a reação, ocorre também a formação de outros compostos intermediários: estados excitados da matéria orgânica dissolvida, peróxido de hidrogênio, oxigênio singlete, elétron hidratado, íons superóxidos, radicais organoperóxidos, radicais hidroxila e radicais halogênios. A formação desses radicais é o ponto chave do procedimento, melhorando a eficiência na decomposição.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O fluido de corte estudado é do tipo sintético à base de “polialquileno glicol”, fornecido pelo laboratório de Otimização dos Processos de Produção (OPF) na Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP. Neste trabalho comparou-se a eficiência dos Processos Oxidativos Fenton e foto-Fenton no tratamento químico de fluidos de corte sintéticos. A avaliação do efluente gerado após os testes foi baseada segundo o Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente (Brasil, 1976).

Inicialmente caracterizou-se a amostra de fluido de corte sintético após ser utilizado e antes de ser tratado, esta etapa é necessária para obter as características físico-químicas e avaliar as mudanças ocorridas durante o tratamento, pode-se referir à solução como resíduo de fluido de corte, pois o mesmo encontra-se em fase de descarte. Os resultados dessa análise possibilitam planejar os experimentos a fim de encontrar a relação máxima de custo-benefício do processo de descarte. Na intenção de utilizar uma amostra o mais parecido possível com a encontrada em empresas de pequeno e

médio porte a amostra utilizada foi proveniente dos descartes de fluidos de corte, sem a especificação de quais foram os materiais usinados com o fluido empregado na pesquisa.

O tratamento tem início com a separação do óleo mineral da fase aquosa. O óleo, resultado da contaminação por lubrificantes da máquina e da proteção do material antes de ser usinado pode ser reciclado retornando ao mercado.

Na fase seguinte o fluido de corte aquoso, resíduo de nosso interesse, passa por tratamento químico onde ocorre a quebra da solução e posterior precipitação dos metais. Resultantes deste processo a água passa por filtragem e é analisada para verificar se está conforme exigências dos padrões de descarte e o resíduo sólido precipitado, conforme a norma NBR 10.004, destinado a aterro industrial.

2.1. Tratamento utilizando Sistema Fenton

Em um balão de três bocas equipado com um agitador magnético, termômetro, funil de separação e um condensador com saída para gás é adicionada a amostra para oxidação juntamente com quantidade de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) p.a.. A mistura é agitada até a dissolução completa do sal. O pH da solução é ajustado para um intervalo compreendido de 3-5 com a adição de ácido sulfúrico p.a.. Após o ajuste do pH adiciona-se peróxido de hidrogênio por um período de quatro horas. A reação é controlada pela adição do peróxido de hidrogênio, nestes experimentos por 1 hora; após o término da adição neutraliza-se a solução ocorrendo a formação de precipitado de hidróxido de ferro. Para a neutralização é utilizada solução de NaOH de grau comercial (50% m/m), em seguida a solução é filtrada e os resíduos sólidos e líquidos seguem para análise e classificação.

Após a remoção da fração sólida, a água é analisada por meio de espectroscopia de absorção atômica por plasma, com a finalidade de detectar metais. Caso seja constatada a presença dos mesmos em valores acima do limite de descarte, a solução passa por processos analíticos de precipitação, sendo analisada novamente. Não havendo a presença de metais, a água pode ser descartada, ou mesmo reaproveitada, retornando ao processo na constituição de um novo fluido de corte. A determinação de metais na fração sólida é necessária para seu correto descarte.

Devido à elevada concentração de carbono orgânico total (COT) iniciaram-se os testes com altas concentrações de Reagente de Fenton, dessa forma pode-se determinar os limites mínimos de reagentes a serem utilizados para um bom desempenho da reação. Os experimentos foram realizados à temperatura de 25 a 27°C, todos os reagentes, com exceção do hidróxido de sódio, são de grau analítico. Os experimentos 05, 06 e 07 foram realizados após testes de foto-Fenton, seguindo os mesmos parâmetros, para efeito de comparação dos métodos (adição de peróxido de hidrogênio por período de 5 horas). Na Tabela 1 encontram-se as condições para os experimentos com o Reagente de Fenton.

Tabela 1: Condições experimentais utilizadas para o Processo Fenton em amostras de fluido de corte

	pH inicial	H ₂ SO ₄ conc. (mL)	pH interme-diário	[Fe+2] (mmol L ⁻¹)	[H ₂ O ₂] (mmol L ⁻¹)	NaOH saturada (mL)	pH final
Exper. 01	9,0	2,5	3,5	22,5	1100,00	5,0	7,2
Exper. 02	9,0	2,5	3,1	15,00	735,00	5,3	7,5
Exper. 03	9,0	2,5	3,3	15,00	600,00	5,2	7,0
Exper. 04	9,0	2,5	3,0	10,00	500,00	5,2	7,3
Exper. 05	9,0	2,5	3,4	5,00	400,00	5,4	7,3
Exper. 06	9,0	2,5	3,3	1,00	200,00	5,5	7,2
Exper. 07	9,0	2,5	3,0	0,05	400,00	5,4	7,0

2.2. Tratamento utilizando Sistema Foto-fenton

Para a oxidação via sistema foto-Fenton, utiliza-se um reator com um reservatório de 4,5L com um sistema de agitação, uma bomba centrífuga circula a solução do reservatório para um sistema isolado onde se encontra uma coluna de quartzo. Essa coluna possui uma cavidade na parte superior, isolada do líquido que circula por ela, onde é colocada a lâmpada de mercúrio (potência de 250W). A temperatura do reservatório é mantida constante a 23°C através da circulação de água por um compartimento externo ao reservatório de 4,5L, formando uma “camisa de água”.

A parte experimental consistiu na adição de sulfato ferroso heptahidratado ao reservatório que já se encontrava sob agitação, corrigido o pH para um intervalo de 3 a 5 com ácido sulfúrico concentrado. O processo inicia-se com o acionamento da lâmpada e a adição do peróxido de hidrogênio por 1 hora. Essa é a etapa lenta, pois o peróxido de hidrogênio é adicionado através de uma bomba peristáltica durante 5 horas. No final da reação, a solução é neutralizada e o sobrenadante e precipitado são analisados. O processo é acompanhado por análise de carbono orgânico total.

Na Tabela 2 encontram-se as condições utilizadas para cada teste de oxidação, todos os reagentes, com exceção do hidróxido de sódio, são de grau analítico.

Tabela 2: Condições experimentais utilizadas para o Processo Fenton em amostras de fluido de corte

	pH inicial	H ₂ SO ₄ conc. (mL)	pH interme-diário	[Fe ⁺²] (mmol L ⁻¹)	[H ₂ O ₂] (mmol L ⁻¹)	NaOH saturado (mL)	pH final
Exper. 08	9,0	2,5	3,2	0,05	200,00	4,5	7,3
Exper. 09	9,0	2,5	3,4	5,00	400,00	5,1	7,0
Exper. 10	9,0	2,5	3,5	1,00	400,00	4,8	7,5

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

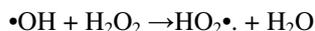
No Processo Fenton a oxidação da matéria orgânica pelos radicais hidroxila pode ser observada pela formação de precipitados na solução após o início da adição de peróxido de hidrogênio.

Devido à grande quantidade de compostos existentes no fluido e por ser um produto comercial não se tem acesso à composição. Além disso, no processo Fenton ocorre a geração de compostos intermediários como ácidos carboxílicos que interferem em certos tipos de análises. Dessa forma, a eficiência do processo é medida de acordo com a quantidade total de matéria orgânica presente na solução, ou seja, o carbono orgânico total (COT). A Tabela 3 apresenta os resultados dos experimentos 01 ao 04, nos quais se variaram as concentrações de reagentes utilizados no processo.

Tabela 3: Caracterização química do fluido de corte após Processo Fenton

	Após usinagem (mg/ l)	Exper. 01 (mg/ l)	Exper. 02 (mg/ l)	Exper. 03 (mg/ l)	Exper. 04 (mg/ l)
DBO	5000,00±0,01	108,31±0,01	87,40±0,01	101,42±0,01	96,34±0,01
DQO	17000,00±0,05	4160,00±0,05	3660,00±0,05	3993,60±0,05	3790,67±0,05
Óleos Graxas	9942,0±0,5	210,4±0,5	206,2±0,5	208,7±0,5	207,4±0,5
COT	11435,0±0,1	2790,8±0,1	3123,3±0,1	3025,3±0,1	3700,2±0,1
Sólidos Totais	11700,0±0,5	5810,0±0,5	5740,0±0,5	5600,0±0,5	5280,0±0,5
Metais					
Zn	5,680±0,001	0,430±0,001	0,760±0,001	0,900±0,001	0,980±0,001
Pb	0,110±0,001	0,090±0,001	0,070±0,001	0,120±0,001	0,030±0,001
Ni	0,220±0,001	0,180±0,001	0,210±0,001	0,070±0,001	0,120±0,001
Fe	31,400±0,001	4,220±0,001	3,520±0,001	3,470±0,001	3,020±0,001
Mn	20,080±0,001	0,090±0,001	1,250±0,001	1,480±0,001	1,120±0,001
Cu	1,750±0,001	0,210±0,001	0,380±0,001	0,270±0,001	0,290±0,001
Cr	0,240±0,001	0,090±0,001	0,170±0,001	0,140±0,001	0,120±0,001

A redução no COT para o experimento 01, 02, 03 e 04 foi de 75,6%, 72,69%, 72,68% e 67,64%, respectivamente. Os testes mostraram que o processo de oxidação pode ser utilizado com concentrações mais baixas de ferro e peróxido (Tabela 1), observa-se que devido à reação entre radicais peridróxido e radicais hidroxila um excesso da concentração de peróxido de hidrogênio diminui eficiência do processo (Sanz, 2003). Todos os testes foram conduzidos por um tempo de 4 horas.



[5]

Na redução do COT em função do tempo de reação para o experimento 01. Devido às altas concentrações de reagentes a reação é rápida resultando na degradação de uma grande quantidade de matéria orgânica nos primeiros minutos de reação. Após a primeira meia hora de reação a redução no COT é mais lenta, isso ocorre porque no início têm-se uma quantidade maior de reagentes do que de produtos, ao estabelecer o equilíbrio da reação a mesma se torna mais lenta, porém não cessa.

Os experimentos 05, 06 e 07 foram conduzidos sob as mesmas condições realizadas no Processo foto-Fenton (Tabela 1). Nesse processo utiliza-se uma menor quantidade de reagente e um tempo de reação de 5 horas. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos em cada experimento realizado. Todos os experimentos apresentados mostraram-se satisfatórios para a oxidação de fluido de corte, pois reduziram todos os parâmetros a níveis aceitáveis de descarte. O DBO apresentou uma redução de 98,84%, 98,66 e 98,76% para os experimentos 05, 06 e 07, respectivamente.

Tabela 4: Caracterização química do fluido de corte após Processo Fenton

	Após o Processo de usinagem (mg/ l)	Exper. 05 (mg/ l)	Exper. 06 (mg/ l)	Exper. 07 (mg/ l)
DBO	5000,00±0,01	58,00±0,01	67,00±0,01	62,00±0,01
DQO	17000,00±0,05	2501,25±0,05	2601,34±0,05	2590,33±0,05
Óleos e Graxas	994,0±0,5	147,2±0,5	152,2±0,5	165,7±0,5
COT	11435,0±0,1	3127,7±0,1	4097,4±0,1	4968,2±0,1
Sólidos Totais	11700,0±0,5	5020,0±0,5	4610,0±0,5	4090,0±0,5
Metais (max.)				
Zn 5,00 mg/ l	5,680±0,001	1,030±0,001	1,780±0,001	1,870±0,001
Pb 0,50 mg/ l	0,110±0,001	nd	nd	nd
Ni 2,00 mg/ l	0,220±0,001	nd	nd	nd
Fe 15,00 mg/ l	31,400±0,001	2,310±0,001	1,770±0,001	2,190±0,001
Mn 1,00 mg/ l	20,080±0,001	0,900±0,001	0,970±0,001	0,780±0,001
Cu 1,00 mg/ l	1,750±0,001	0,360±0,001	0,040±0,001	0,440±0,001
Cr 5,00 mg/ l	0,240±0,001	0,060±0,001	0,120±0,001	0,170±0,001

nd= não detectado

Obteve-se uma redução no COT de 72,65%, 64,17% e 56,55%, nos experimentos 05, 06 e 07, respectivamente. A eficiência do processo no experimento 05 mostrou-se superior em comparação com os experimentos 01 a 04, utilizando, ainda, menor quantidade de reagente (Tabela 1). Na Tabela 5, encontra-se a concentração de metais presentes no

precipitado de cada experimento, de acordo com a concentração dos metais mais significativos esses resíduos se enquadram na classe I (ABNT, 1987).

Tabela 5: Caracterização dos metais presentes no precipitado dos testes utilizando Processo Fenton

	Exper. 01 (mg/ kg)	Exper. 02 (mg/ kg)	Exper. 03 (mg/ kg)	Exper. 04 (mg/ kg)	Exper. 05 (mg/ kg)	Exper. 06 (mg/ kg)	Exper. 07 (mg/ kg)
Zn	0,65	0,64	0,72	0,69	0,71	0,65	0,75
Fe	10,31	9,87	9,92	7,03	5,61	2,04	1,21
Mn	4,47	4,31	4,27	4,35	4,21	4,33	4,23

*Todos os resultados apresentam erro de $\pm 0,01$

Assim como o sistema Fenton, o Processo foto-Fenton oxida os compostos orgânicos, contudo neste último regeneram-se os íons ferrosos que reagem novamente com o peróxido de hidrogênio formando mais radicais hidroxila.

Na Figura 1, encontra-se o equipamento utilizado nos testes de oxidação no CEPEMA, em Cubatão, SP.

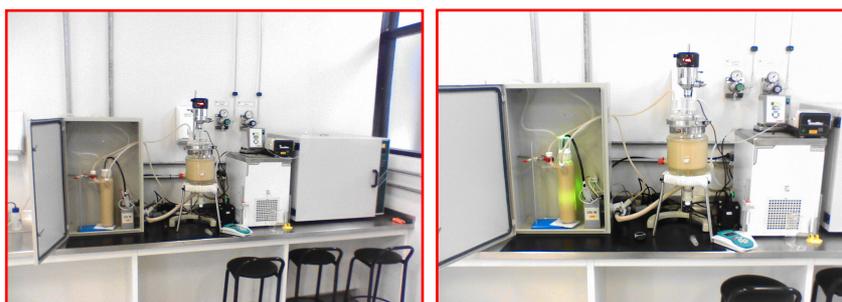


Figura 1: Equipamento usado para a foto-oxidação do resíduo de fluido de corte.

Na Tabela 6 encontram-se os resultados obtidos na oxidação dos resíduos de fluido de corte. Todos os parâmetros analisados encontram-se abaixo do limite de descarte permitido pela legislação (Brasil, 1976).

Tabela 6: Caracterização química do fluido de corte após Processo foto-Fenton

	Após o Processo de usinagem (mg/ l)	Exper. 08 (mg/ l)	Exper. 09 (mg/ l)	Exper. 10 (mg/ l)
DBO	5000,00 \pm 0,01	20,00 \pm 0,01	26,00 \pm 0,01	28,00 \pm 0,01
DQO	17000,00 \pm 0,05	2054,32 \pm 0,05	2256,70 \pm 0,05	2397,59 \pm 0,05
Óleos e Graxas	9942,0 \pm 0,5	83,2 \pm 0,5	89,4 \pm 0,5	92,2 \pm 0,5
COT	11435,0 \pm 0,1	3260,4 \pm 0,1	3058,1 \pm 0,1	2215,9 \pm 0,1
Sólidos Totais	11700,0 \pm 0,5	3060,0 \pm 0,5	3250,0 \pm 0,5	4030,0 \pm 0,5
Metais				
Zn	5,680 \pm 0,001	2,940 \pm 0,001	2,210 \pm 0,001	2,430 \pm 0,001
Pb	0,110 \pm 0,001	nd	nd	0,080 \pm 0,001
Ni	0,220 \pm 0,001	nd	nd	nd
Fe	31,400 \pm 0,001	12,900 \pm 0,001	22,180 \pm 0,001	19,950 \pm 0,001
Mn	20,080 \pm 0,001	nd	nd	nd
Cu	1,750 \pm 0,001	1,700 \pm 0,001	11,780 \pm 0,001	8,570 \pm 0,001
Cr	0,240 \pm 0,001	0,320 \pm 0,001	0,580 \pm 0,001	0,510 \pm 0,001

nd = não detectado

A DBO apresentou redução de 99,60%, 99,48% e 99,44% e o COT de 71,49%, 73,26% e 80,62%, respectivamente, para os experimentos 08, 09 e 10. Na Figura 6, encontram-se as curvas de COT em função do tempo de reação.

Todos os testes apresentaram bons resultados na oxidação, porém foi o experimento 10 que apresentou melhor eficiência. As concentrações dos metais, presentes no precipitado formado na neutralização da solução, encontram-se na Tabela 7. Esse resíduo é classificado como sendo de classe I (ABNT, 1987).

Tabela 7: Caracterização dos metais no precipitado dos testes utilizando hidrólise ácida

	Exper. 08 (mg/ kg)	Exper. 09 (mg/ kg)	Exper. 10 (mg/ kg)
Zn	0,670 \pm 0,001	0,710 \pm 0,001	0,790 \pm 0,001
Fe	1,950 \pm 0,001	3,430 \pm 0,001	2,570 \pm 0,001
Mn	4,120 \pm 0,001	4,540 \pm 0,001	3,980 \pm 0,001

A Tabela 8 apresenta os custos com o tratamento do fluido de corte pelo sistema Fenton e foto-Fenton nas melhores condições estudadas, ou seja, nos experimentos 05 e 10. O gasto de energia elétrica de 1,25kWh foi para o tratamento de 4,5l de resíduo, portanto o valor de R\$ 0,0624 está computado para o tratamento de 1l.

Tabela 8: Custo estimado para cada tratamento estudado

Custo	Experimento 05		Experimento 10		
	Consumido	Valor gasto	Consumido	Valor gasto	
H2SO4 (conc.)	R\$ 0,014/ml	2,5 ml	R\$ 0,035/ℓ	2,5 ml	R\$ 0,035/ℓ
FeSO4.7H2O (p.a.)	R\$ 0,010/g	1,4 g	R\$ 0,014/ℓ	0,278 g	R\$ 0,00278/ℓ
H2O2 (30V)	R\$ 0,005/ml	13,6 ml	R\$ 0,068/ ℓ	13,6 ml	R\$ 0,068/ℓ
NaOH (satur.)	R\$ 0,005/ml	5,4 ml	R\$ 0,027/ℓ	4,8 ml	R\$ 0,024/ℓ
Energia* Elétrica	R\$ 0,22466/kWh	-----	-----	1,25 kWh	R\$ 0,0624/ℓ
TOTAL			R\$ 0,17/ℓ		R\$ 0,19/ℓ

*Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL, média do custo da energia elétrica para empresas no período de julho de 2007.

4. CONCLUSÃO

O processo Fenton apresentou bons resultados no tratamento de fluidos de corte. Com baixas concentrações de reagentes consegue-se uma redução no carbono orgânico total COT de 72,65% (experimento 05), considerando a concentração de COT inicial. Uma das características do reagente de Fenton está no fato de que a reação não termina após 4 horas, portanto, teoricamente, esses valores de COT podem reduzir-se ainda mais, apesar de observado que a diminuição de COT é muito pequena após a primeira hora de reação.

O processo foto-Fenton apresentou melhores resultados na oxidação das amostras, resultando em uma redução de 80,62% no COT (experimento 10), porém pelo fato de ser necessária a utilização de uma lâmpada de UV-Vis, o processo torna-se mais oneroso, tanto na montagem quanto na operação do sistema.

Os valores finais de tratamento diferem em R\$ 0,02 por litro, o que para o volume de uma empresa de pequeno porte, em torno de 10.000 litros de fluido tratado representa R\$ 200,00. Melhor avaliado, o processo foto-Fenton apresenta-se como a alternativa mais interessante que o processo Fenton.

Os processos oxidativos avançados (POA) apresentam-se como alternativa ao tratamento de fluidos de corte em escala e custos compatíveis às demandas da pequena e média empresa (PME). Os resultados deste trabalho proporcionam subsídios para a regulamentação do sistema pelo órgão de controle ambiental e a instalação para avaliação de desempenho em operação dentro da empresa.

5. REFERÊNCIAS

- ALBERTINI, L.B.; REZENDE, M.O.O. 2005, "Tratamento de resíduos químicos: guia prático para solução dos resíduos químicos em instituições de ensino superior". Vol. 1. 2005, São Carlos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987. NBR 1004 - Resíduos Sólidos.
- BRASIL, 1976. "Decreto no 8.468, de 8 de Setembro de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente".
- BRASIL, 1998. "Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências".
- CAKIR, O.; YARDIMEDEN, A.; OZBEN, T.; KILICKAP, E., 2007. "Selection of Cutting Fluids in Machining Processes". Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 25(2): p. 99-102,
- DIAS, A.M.P.; BRETANO, D.M.; CARVALHO-PINTO, C.R.S.; MATIAS, W.G., 2006. "Avaliação da toxicidade aguda de fluidos de corte utilizados em processos de usinagem usando como organismo-teste Poecilia reticulada e Daphnia magna". Revista do Centro de Ciências Biológicas da UFSC, v. 19, p. 7 – 13.
- GROMBONI, C.F.; FERREIRA, A. G.; KAMOGAWA, M. Y.; NOGUEIRA, A. R. A., 2007. "Avaliação da Reação Foto-Fenton na Decomposição de Resíduos de Carrapaticida". Química Nova. 30(2): p. 264-267.
- NEBEL, B. J., 1996. "The Way the Word Works". Environmental Science: p. 345-368
- SANZ, J.; LOMBRANA, J. I.; DE LUIS, A. M.; ORTUETA, M.; VERONA, F., 2003 "Microwave and Fenton's reagent oxidation of wastewater". Environmental Chemistry: p. 45-50.
- SILVA, D.N., 2002. "Degradação Fotoquímica de Hidrocarbonetos da Gasolina em Efluentes Aquosos". 2002. Departamento de Engenharia Química.
- Runge, P.R.F.D., G. N., 1990. "Lubrificantes nas Indústrias" - Produção, manutenção e controle Triboconcept - Edições Técnicas: p. 71-171,
- TAUCHERT, E., 2006. "Degradação de Espécies Organocloradas por Processos Avançados Envolvendo Ferro Metálico". Departamento de Ciências Exatas.

PROPOSAL OF A CUTTING FLUID DISCARD TREATMENT SYSTEM FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES (SME)

Tobias Heymeyer, th@sc.usp.br¹
Elias Paulo Tessaro, eliaestessaro@gmail.com²
Fabiane Capraro Fogo, fabricfogo@hotmail.com²
Leny Borghesan Albertini, leny@sc.usp.br³
Maria Olimpia de O. Rezende, mrezende@iqsc.usp.br²

¹Escola de Engenharia de São Carlos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

²Instituto de Química de São Carlos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

³Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos, av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

Abstract: *Cutting fluids are important to increase machining process productivity, but at the discarding fase should be correctly treated. Grease, oil and metals contamination make it a class I waste (dangerous), implying in costs and proceedings that should be affordable to the small and medium-sized enterprises (SME). This work presents a study on the feasibility of a small scale treatment for proper disposal. Treatment processes include acid hydrolysis and Advanced Oxidatives Process (AOP), more specifically, "Fenton System", and also a photodegradation based treatment. The fenton system occurs by the generation of hydroxyl radical from a mixture of hydrogen peroxide and ferrous salts. Photo-Fenton process the hydroxyl radicals are formed by the reaction of oxidation and reduction of ferrous salts in the presence of hydrogen peroxide and UV radiation. All methods provided good results in the treatment of the discarded cutting fluid. The results lead to a next stage, the operation of de system in the production plant.*

Keywords: *machining, cutting fluids, advanced oxidative process (AOP), small and medium enterprises (SME).*